

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта
имени академика В. Лазаряна

ТЕЛИЧКО ИГОРЬ БОРИСОВИЧ



УДК 625.28.282: 62-758.2

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КАБИНЫ МАШИНИСТА
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЛОКОМОТИВА
ПРИ СТОЛКНОВЕНИЯХ**

05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск – 2015

Диссертацией является рукопись.

Работа выполнена в Институте технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины

Научный руководитель:

доктор технических наук, член-корреспондент НАН Украины, профессор **УШКАЛОВ Виктор Федорович**, Институт технической механики Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины, заведующий отделом “Статистическая динамика механических систем”.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор **МАСЛИЕВ Вячеслав Георгиевич**, Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, профессор кафедры “Электрический транспорт и тепловозостроение”;

кандидат технических наук, доцент **КОСТРИЦА Сергей Анатольевич** Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, заведующий кафедрой “Строительная механика”.

Защита состоится “12” февраля 2015 года в 14⁰⁰ часов на заседании специализированного ученого совета Д 08.820.02 при Днепропетровском национальном университете железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна по адресу: 49010, г. Днепропетровск, ул. Лазаряна, 2, ауд. 314.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна по адресу: 49010, г. Днепропетровск, ул. Лазаряна, 2, ауд. 314.

Автореферат разослан

“12” января 2015 г.

Ученый секретарь
специализированного ученого совета
д.т.н., профессор



И. В. Жуковский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одним из главных направлений развития железнодорожного транспорта в Украине является внедрение скоростного пассажирского движения и обеспечение безопасности пассажиров и поездной бригады при аварийном столкновении поезда с преградой. Для этого в Украине принята “Комплексная программа обновления железнодорожного подвижного состава Украины на 2008 – 2020 годы”, согласно которой должен быть полностью заменен подвижной состав, в частности существующий парк локомотивов. Локомотив нового поколения должен иметь эффективные средства активной защиты для предотвращения аварийных столкновений и систему пассивной безопасности (СПБ), которая в случае аварийного столкновения позволит уменьшить тяжесть последствий аварии, сохранить жизни пассажиров и персонала поезда. СПБ локомотива это совокупность технических решений в его конструкции и устройств поглощения энергии (УПЭ), предназначенных для снижения продольных сил и ускорений в результате контролируемого пластического деформирования и разрушения специальных жертвенных элементов и жертвенных зон в концевых частях локомотива. Конструкция локомотива с СПБ должна отвечать не только нормативным требованиям по ее прочности при эксплуатации, но и требованиям по пассивной безопасности, в которых определяются тестовые расчетные сценарии столкновений. У европейских пассажирских локомотивов обязательное наличие СПБ регламентируется стандартом EN 15227. Аналогичный стандарт разрабатывается и для подвижного состава железных дорог с шириной колеи 1520 мм. Разработка концевых частей отечественного локомотива с СПБ, в частности каркаса кабины машиниста и УПЭ, должна опираться на технические решения, научно обоснованные исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов конструкции локомотива при штатных нагрузках и сверхнормативных ударах, характеризующие тестовые сценарии аварийных столкновений на железных дорогах колеи 1520 мм. В настоящее время в странах СНГ отсутствуют методики, позволяющие путем математического моделирования оценить НДС элементов конструкции локомотива с учетом специфики пластического деформирования элементов СПБ при сверхнормативных динамических нагрузках. Поэтому актуальной проблемой является определение основных требований по пассивной безопасности локомотива при аварийных столкновениях, разработка научно-методического обеспечения и математических моделей для анализа деформирования конструкции каркаса кабины машиниста локомотива с СПБ при сверхнормативных ударах, проведение соответствующих исследований и создание на основе полученных результатов принципиально новой кабины машиниста с жертвенной зоной, зоной безопасности и УПЭ.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Проведенные в диссертационной работе исследования выполнялись в соответствии с планом научно-исследовательской работы Национальной академии наук Украины на 2008-2012 гг. по теме № III-51-08 “Математическое моделирование и исследование динамики железнодорожных экипажей с учетом особенностей работы средств их защиты при ударных нагрузках” (регистрационный № 0100U001240).

Цель и задачи исследований. Цель работы – повышение пассивной безопасности локомотива при аварийных столкновениях путем создания кабины машиниста с жертвенной зоной, зоной безопасности и устройствами поглощения энергии.

Задачи исследования:

- провести анализ современных мировых тенденций и существующих подходов к решению проблемы пассивной защиты локомотивов при аварийных столкновениях;
- разработать основные требования по пассивной безопасности локомотива при тестовых сценариях аварийных столкновений с препятствием на колее 1520 мм;
- разработать конструктивно-компоновочную схему кабины машиниста локомотива с интегрированными элементами СПБ;
- разработать научно-методическое обеспечение и конечно-элементные модели для исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов конструкции каркаса кабины при сверхнормативных ударах;
- разработать конечно-элементные модели для исследования НДС элементов конструкций каркаса кабины при статических продольных нагрузках на лобовую стенку;
- провести исследования пластического деформирования элементов проектируемой конструкции каркаса кабины машиниста без учета и с учетом УПЭ при сверхнормативных ударах согласно тестовым сценариям столкновений и определить параметры базовой конструкции каркаса;
- провести исследования НДС элементов конструкции каркаса кабины с жертвенной зоной и зоной безопасности при статическом продольном нагрузке на элементы лобовой стенки и доработать базовую конструкцию каркаса в соответствии с требованиями нормативных документов по ее прочности;
- выполнить проверку соответствия доработанной конструкции каркаса кабины с пультом управления и УПЭ принятым требованиям по пассивной безопасности локомотива;
- на основе результатов выполненных исследований разработать модульную кабину машиниста локомотива нового поколения с СПБ.

Объект исследований – поглощение энергии аварийного столкновения локомотива с препятствием в результате пластической деформации элементов жертвенной зоны каркаса кабины машиниста и УПЭ.

Предмет исследований – конструкция кабины машиниста пассажирского локомотива нового поколения с элементами СПБ.

Методы исследований. Для исследования НДС элементов конструкции кабины машиниста локомотива с СПБ использованы методы конечных элементов (МКЭ), линейной алгебры и численного интегрирования. Для проверки достоверности научно-методического обеспечения и математических моделей пластического деформирования конструкций при сжимающих нагрузках использованы экспериментальные методы.

Достоверность и обоснованность результатов. Адекватность разработанных конечно-элементных моделей и достоверность полученных результатов численного моделирования подтверждаются: корректностью выбора расчетных схем; достаточной степенью детализации геометрических моделей рассматриваемых

конструкций; тестированием разработанных конечно-элементных моделей; использованием для решения нелинейных динамических контактных задач специализированного пакета программ, имеющего международный сертификат качества; хорошим согласованием результатов теоретических исследований с данными исследовательских испытаний и натурного краш теста для УПЭ.

Научная новизна полученных результатов:

- впервые разработаны нелинейные математические модели для анализа НДС элементов конструкций каркаса кабины машиниста локомотива с СПБ, предназначенного для эксплуатации на дорогах с шириной колеи 1520 мм, при сверхнормативных ударах с учетом переменного динамического контактного взаимодействия, пластических деформаций, зависимости физико-механических свойств материала от скорости деформации;

- впервые получены временные зависимости контактного усилия и энергии, поглощаемой в процессе деформирования элементов СПБ локомотива при ударах согласно тестовым сценариям столкновений на железных дорогах колеи 1520 мм;

- впервые определены параметры конструкции кабины машиниста локомотива с элементами СПБ, которые при тестовых сценариях столкновений на колеи 1520 мм обеспечивают поглощение энергии 2 МДж без превышения допустимого уровня продольного ускорения в зоне безопасности и сохранения пространства не менее 750 мм для выживания и эвакуации локомотивной бригады;

- получило дальнейшее развитие научно-методическое обеспечение, основанное на синтезе автоматизированного геометрического конструирования и конечно-элементного моделирования НДС элементов конструкции железнодорожного экипажа при нормативных нагрузках, в части применения для исследования деформирования элементов конструкций каркаса кабины машиниста локомотива с СПБ при статических нагрузках и при сверхнормативных ударах.

Практическая ценность диссертации состоит в разработке:

- основных требований по пассивной безопасности локомотива нового поколения при тестовых сценариях аварийных столкновений на колее 1520 мм;

- методического обеспечения для исследования НДС элементов конструкций каркасов кабин машинистов локомотивов с СПБ и без при сверхнормативных ударах;

- конструкции модульной кабины машиниста скоростного пассажирского локомотива с элементами СПБ.

В результате выполненных исследований разработана, изготовлена и внедрена в производство на ОАО “Производственное объединение Новочеркасский электровазостроительный завод” (ОАО “ПО НЭВЗ”) конструкция модульной кабины машиниста электровоза ЭП20 с элементами СПБ. Первый электровоз ЭП20 запущен в эксплуатацию в 2012. На настоящее время в эксплуатации находятся 42 электровоза серии ЭП20 с элементами СПБ.

Личный вклад соискателя. Основные положения и результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно. Личный вклад соискателя заключается в планировании и выполнении теоретических исследований, анализе полученных результатов, разработке научных положений и выводов. Диссертан-

том проведен анализ нормативной базы, регламентирующей пассивную безопасность локомотивов в странах ЕС и СНГ, анализ существующих вариантов СПБ локомотивов, разработаны основные требования по пассивной безопасности локомотива при аварийных столкновениях на колее с шириной 1520 мм. При участии соискателя согласно определенным требованиям разработана конструктивно-компоновочная схема каркаса кабины машиниста локомотива с СПБ; выполнено математическое моделирование НДС элементов конструкции каркаса кабины при статических нагрузках и динамических воздействиях, характеризующих тестовые сценарии столкновения; выполнен крэш тест УПЭ. Под руководством диссертанта на основе анализа полученных результатов разработана, изготовлена и внедрена в производство модульная кабина машиниста электровоза ЭП20 с СПБ.

В написанных в соавторстве публикациях [1 – 8, 9, 11, 12, 14, 15], отражающих основные результаты диссертации, автору принадлежат: в [1] – результаты анализа современных мировых тенденций в решении проблемы пассивной безопасности локомотивов; в [2] – основные требования к разработке УПЭ; в [3] – методика и анализ результатов математического моделирования НДС элементов конструкции силового пояса каркаса кабины без СПБ при ударах; в [4, 8] – основные требования по пассивной безопасности электровоза, разработанная конструкция модульной кабины машиниста электровоза ЭП20 с СПБ; в [5, 7, 14] – реализация разработанных технических решений; в [6, 12] – анализ результатов НДС элементов конструкции кабины машиниста при столкновении электровоза с мобильным транспортным средством; в [10] – п. 5 формулы изобретения; в [11] – результаты анализа НДС элементов конструкции кабины машиниста электровоза ЭП1М при ударах; в [15] – рекомендации в проект Межгосударственного стандарта.

Апробация результатов диссертации. Основные идеи, положения и результаты диссертационной работы представлены и обсуждены на 8 международных научных и научно-практических конференциях: 70 и 73 Международных научно-практических конференциях “Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта” (2010 и 2013 г.) [11, 15]; юбилейной XX Международной научно-технической конференции “Проблемы развития рельсового транспорта” (2010 г.) [4]; V Международной научно-практической конференции “Проблемы и перспективы развития транспортных систем в условиях реформирования железнодорожного транспорта: управление, экономика и технологии” (2011 г.) [12]; II Международной партнерской конференции EuroTrain “Проблемы подвижного состава: пути решения через взаимодействие государственного и частного секторов” (2011 г.) [13]; XXI Международной научно-технической конференции “Проблемы развития рельсового транспорта” (2011 г.) [7]; XIII Международной научно-технической конференции “Проблемы механики железнодорожного транспорта” (2012 г.) [14]; 9 Международном Симпозиуме “Пассивная безопасность 2013 - Пассивная безопасность железнодорожных экипажей и безопасные интерьеры” (2013, г. Берлин) [8]. В полном объеме диссертационная работа рассмотрена на заседаниях объединенного семинара отделов 7 и 14 ИТМ НАНУ и ГКАУ, на Ученом Совете ИТМ НАНУ и ГКАУ, межкафедральном научном семинаре ДНУЖТа.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 научных работ (из них 2 работы без соавторов), в том числе 8 статей в специализированных научных изданиях, входящих в Перечень профессиональных изданий Украины, 1 статья в издании Технического Университета Берлина (Германия), 5 тезисов докладов на международных научных конференциях, 1 патент Украины на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованных источников и 3 приложений. Основной текст диссертации изложен на 134 страницах, включая 2 таблицы, 1 из которых размещена на отдельной странице, 73 рисунка, из которых 46 рисунков размещено на 30 отдельных страницах. Список использованных источников включает 114 публикаций на 15 страницах, 3 приложения – на 16 страницах. Полный объем диссертации – 165 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, их связь с научными программами, указаны методы исследований, достоверность полученных результатов, определены научная новизна диссертации, практическое значение и личный вклад автора, приведены данные об апробации результатов работы и публикациях.

В первом разделе приведены результаты анализа нормативной базы, регламентирующей пассивную безопасность локомотивов в странах ЕС и СНГ. Пассивная безопасность европейских пассажирских локомотивов с 2008 г. регламентируется стандартом EN 15227. В Украине нормативная база по пассивной защите пассажирских локомотивов пока отсутствует, но в настоящее время разработка основных требований к их пассивной безопасности с определением тестовых расчетных сценариев столкновений и соответствующих препятствий является актуальной и общей проблемой на пространстве железных дорог с шириной колеи 1520 мм. В Российской Федерации, ориентируясь на стандарт EN 15227, разработаны и введены в действие “Технические требования к системе пассивной безопасности подвижного состава для пассажирских перевозок по железным дорогам колеи 1520 мм” (первая редакция в 2010 г., вторая – в 2011 г.), а также разрабатывается межгосударственный стандарт “Крэш-системы аварийные железнодорожного подвижного состава для пассажирских перевозок. Технические требования и методы контроля”, в котором предполагается учесть существенные различия в существующих нормативных требованиях к разработке конструкций локомотивов, в ударно-тяговом оборудовании и в статистике аварийных столкновений на железных дорогах стран СНГ и ЕС.

На основе проведенного патентно-библиографического поиска дан обзор существующих технических решений по пассивной защите локомотивов при аварийных столкновениях с препятствием. Установлено, что пассивная защита пассажирского локомотива, оборудованного отдельными тягово-сцепными и ударными устройствами, организована так, что основная часть энергии аварийного

столкновения с железнодорожным подвижным составом поглощают крэш буфера и расположенные за ними жертвенные элементы, закрепленные в концевых частях рамы локомотива. Конструкция каркаса кабины машиниста, как правило, имеет усиленную лобовую стенку, жертвенную зону и зону безопасности. Пассивная защита локомотива с объединенными ударно-тяговыми приборами предусматривает наличие автосцепных устройств, которые сдвигаются назад (push-back coupler), многоуровневой системы УПЭ, жертвенной зоны и зоны безопасности в конструкции каркаса кабины машиниста. На основе результатов проведенного анализа обоснована необходимость разработки локомотивов нового поколения для железных дорог колеи 1520 мм с эффективными системами активной и пассивной безопасности. Специфика таких локомотивов определяется наличием: автосцепных и противоподъемных устройств, обеспечивающих работу СПБ при аварийных столкновениях; жертвенных элементов и жертвенных зон для поглощения энергии столкновения; зоны безопасности для выживания и эвакуации локомотивной бригады. Обоснована целесообразность разработки с использованием современных технологий математического моделирования принципиально новой модульной кабины машиниста скоростного пассажирского локомотива с СПБ. Для этого проведен анализ основных подходов к исследованию динамики и НДС элементов конструкций железнодорожных экипажей при штатных и нештатных нагрузках. В настоящее время накоплен большой опыт, создана научная база и разработаны достаточно эффективные методы для исследования динамической нагруженности и прочности конструкций подвижного состава железных дорог при эксплуатационных воздействиях. Значительный вклад в создание научно-методического обеспечения и решение указанных задач внесли работы ученых ДНУЖТа, ИТМ НАНУ и ГКАУ, ВУНУ, ГП “УкрНИИВ”, ДЭТУТа, ГП “ГНИЦЖТУ”, УкрГАЗТ, ДонИЖТ, а также БГТУ, ВНИИЖТа, МГУПСа, МИИТа, ПГУПСа, РГУПСа, ОАО “ВНИКТИ”, РВНИИВа, РИИЖТа. Основы современных методов расчета, проектирования и испытаний железнодорожных экипажей заложены Е.П. Блохиным, Г. И. Богомазом, Б. Е. Боднарем, Ю. П. Бороненко, М.Ф. Вериго, С.В. Вершинским, В. Д. Дановичем, А. В. Донченко, О. Л. Голубенко, Ю. В. Деминым, А.А. Камаевым, Б. Г. Кеглиным, М. Б. Кельрихом, М.Л. Коротенко, В. С. Коссовым, С. А. Кострицей, В.Н. Котурановым, В.А. Лазаряном, Л. А. Манашкиным, С. В. Мямлиным, Н. Е. Науменко, Н. М. Найшем, Л. Н. Никольским, Э. С. Оганьяном, Д. Ю. Погореловым, В. А. Симоновым, М. Б. Соболевской, И. Ю. Хижой, В. Ф. Ушкаловым, И. И. Челноковым, Ю. М. Черкашиным и другими. Вопросы исследования НДС элементов конструкций железнодорожных экипажей с СПБ при сверхнормативных ударных нагрузках в странах постсоветского пространства только начинают рассматриваться, хотя в зарубежных странах теоретические и экспериментальные исследования по пассивной защите подвижного состава железных дорог с другой шириной колеи активно проводятся с начала 90-х годов прошлого века. Существенный вклад в решение проблемы пассивной защиты железнодорожных экипажей внесли специалисты компаний Alstom, Bombardier Transportation, Dellner,

Siemens, Voith Turbo, Amtrak, PESA и ряда других научных и производственных организаций. Однако, не смотря на достаточно большой опыт проведения научных исследований в области динамики подвижного состава, работающего в эксплуатационных условиях, в странах СНГ практически отсутствуют методики, позволяющие путем математического моделирования оценить НДС элементов конструкции локомотива с СПБ, учитывая специфику упругопластического деформирования жертвенных элементов при сверхнормативных ударных нагрузках. Опираясь на мировой опыт, обоснована актуальность и целесообразность разработки научно-методического обеспечения и конечно-элементных математических моделей для исследования НДС элементов конструкции каркаса кабины машиниста локомотива с СПБ при статических нормативных нагрузках и при сверхнормативных ударах, характеризующих тестовые сценарии аварийных столкновений на железных дорогах колеи 1520 мм.

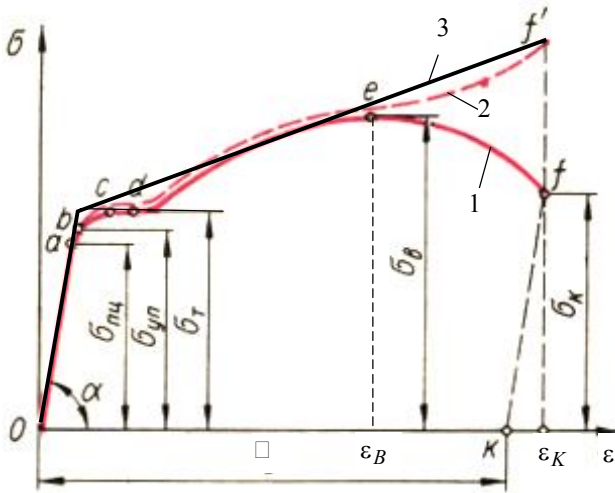
Во втором разделе приведено разработанное научно-методическое обеспечение для исследования НДС элементов конструкций каркаса кабины машиниста локомотива с СПБ при статических и ударных нагрузках, которое включает создание с помощью средств автоматизированного конструирования трехмерной геометрической модели с необходимым уровнем детализации исследуемой конструкции; импортирования геометрической модели в программу, представляющую собой многоцелевой пакет для решения с помощью МКЭ сложных задач механики деформируемого тела; создание конечно-элементной математической модели; решение поставленной задачи статики или динамики; анализ результатов и проверка их достоверности. Оценка НДС элементов исследуемых конструкций при сверхнормативных ударах осуществляется в результате решения задачи теории пластичности при заданных начальных и граничных условиях с учетом нелинейных соотношений между деформациями и перемещениями (геометрической нелинейности), между напряжениями и деформациями (физической нелинейности), нелинейной зависимости предела текучести стали от скорости деформации, переменного контактного взаимодействия между элементами рассматриваемой механической системы соударяющихся тел.

В общем виде НДС элементов конструкции при ударе описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений

$$M\ddot{U} + D(\sigma, U) = Q, \quad (1)$$

где M – согласованная матрица масс; D – функция, зависящая от тензора напряжений σ и вектора перемещений U ; Q – вектор обобщенных сил в узлах, обусловленный поверхностными контактными силами, характеризующими действие одного тела на другое, то есть это дискретный эквивалент контактных сил.

Для определения начала появления пластических деформаций использован критерий Мизеса. Для описания упругопластических свойств материала при ударных воздействиях использована инкрементальная модель пластичности в формулировке Крива и Кея, основанная на билинейной аппроксимации истинной диаграммы растяжения с учетом кинематической упрочнения (рис. 1).



σ – условное напряжение;
 ε – относительное удлинение;
 $\sigma_{пц}$ – предел пропорциональности;
 $\sigma_{уп}$ – предел упругости;
 σ_T – предел текучести;
 σ_B – предел прочности;
 σ_K – условное напряжение в момент разрыва образца;
 $\varepsilon_B, \varepsilon_K$ – относительные удлинения, соответствующие σ_B, σ_K ;
 δ – относительное удлинение после разрыва;
 $\operatorname{tg}(\alpha) = E_e$ – модуль Юнга.

1 – условная диаграмма; 2 – истинная диаграмма;
 3 – билинейная аппроксимация истинной диаграммы

Рисунок 1 – Типичные диаграммы растяжения малоуглеродистой стали

Точка перелома такой двухзвеньевой кусочно-линейной кривой соответствует динамическому пределу текучести, который зависит от скорости деформации. Моделирование нелинейной характеристики материала основано на использовании истинной диаграммы растяжения. Исходя из гипотезы о неизменности объема при пластической деформации, истинное напряжение и истинное относительное удлинение определяются по формулам

$$s = \frac{F_e}{A} = \sigma \cdot (1 + \varepsilon); \quad e = \int_{l_0}^{l_0 + \Delta l} \frac{dl}{l} = \ln \frac{l_0 + \Delta l}{l_0} = \ln(1 + \varepsilon); \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}, \quad (2)$$

где F_e – растягивающее усилие; A – площадь поперечного сечения образца в текущий момент испытаний; Δl – приращение длины образца в процессе растяжения; l_0 – начальная длина образца.

Согласно инкрементальной модели пластичности Крига и Кея

$$s = s_d + E_{pl} e_{pl}; \quad e_{pl} = \int de_{pl}; \quad de_{pl} = de - de_y; \quad (3)$$

$$E_{pl} = \frac{E_e \cdot E_T}{E_e - E_T}; \quad E_T = \frac{E_h \cdot E_e}{E_h + E_e}; \quad E_h = \frac{s_B - s_T}{e_B - \frac{s_T}{E_e}}; \quad (4)$$

$$e_B = \ln(1 + \varepsilon_B); \quad s_T \approx \sigma_T; \quad s_B = \sigma_B \cdot (1 + \varepsilon_B), \quad (5)$$

где s_d – истинный динамический предел текучести, который определяется с учетом влияния скорости деформации на механические свойства материала конструкции при ударе, E_e – модуль Юнга; E_{pl} – модуль упрочнения; e_{pl} – истинная пластическая деформация; e_y – истинная упругая деформация.

Для определения s_d используется зависимость Саймондса-Купера

$$s_d = s_T \left(1 + \left(\frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{\frac{1}{P}} \right) = k s_T; \quad k = 1 + \left(\frac{\dot{\epsilon}}{C} \right)^{\frac{1}{P}}, \quad (6)$$

где C и P – коэффициенты упрочнения стали; $\dot{\epsilon}$ – скорость деформации при динамической нагрузке; k – динамический коэффициент упрочнения стали.

При разработке конечно-элементной модели для анализа нелинейного деформирования элементов конструкции каркаса кабины с СПБ при ударе использованы элементы пластин с 3 или 4 узлами, каждый из которых имеет по 3 линейных и угловых перемещения, скорости и ускорения относительно осей узловой системы координат. Эти элементы позволяют учитывать мембранные и изгибные пластические деформации. Схема контактного взаимодействия между соприкасающимися поверхностями принята в форме “поверхность в поверхность”.

Решение данной задачи сводится к численному интегрированию системы дифференциальных уравнений движения (1) при заданных начальных и граничных условиях. При решении задачи рассматриваются линеаризованные формы этих уравнений относительно малых приращений, наложенных на текущее равновесное состояние. Уравнения движения в приращение имеют вид

$$M\Delta\ddot{U} + (K_c + G(\sigma) + R(\sigma))\Delta U = \Delta Q, \quad (7)$$

где K_c – матрица жесткости; $G(\sigma)$ – матрица геометрической жесткости; $R(\sigma)$ – матрица пластической жесткости; ΔU – вектор приращения перемещений; ΔQ – вектор приращения нагрузок.

Полученная система дифференциальных уравнений движения большой размерности решается с помощью метода последовательных нагружений, основанного на сочетании численного интегрирования с итерационной корректировкой результатов после каждого шага по времени. Для снижения невязок в уравнениях равновесия узлов до допустимых величин используется итерационная процедура метода Ньютона-Рафсона. В результате решения задачи определяется НДС элементов дискретной системы в каждый момент времени.

Адекватность и достоверность результатов, полученных с использованием разработанного научно-методического обеспечения, подтверждены путем удовлетворительного согласования результатов расчета деформирования жертвенных элементов в виде перфорированных трубчатых конструкций при продольных ударах с малой скоростью (0,01 м/с) с экспериментальными данными по статическому сжатию соответствующих опытных образцов (рис. 2 – 3).

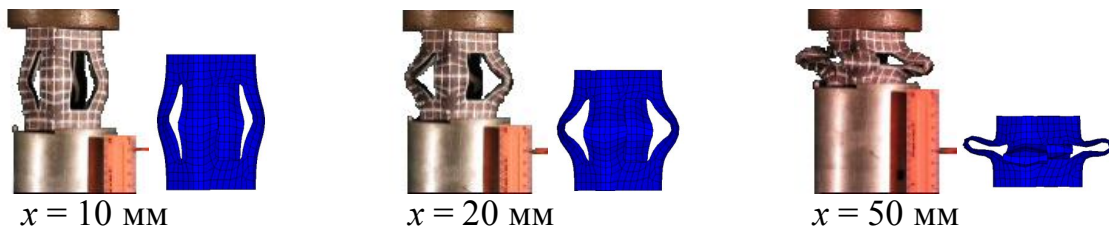


Рисунок 2 – Сравнение экспериментальных данных и результатов расчета процесса деформирования перфорированной трубы при сжатии

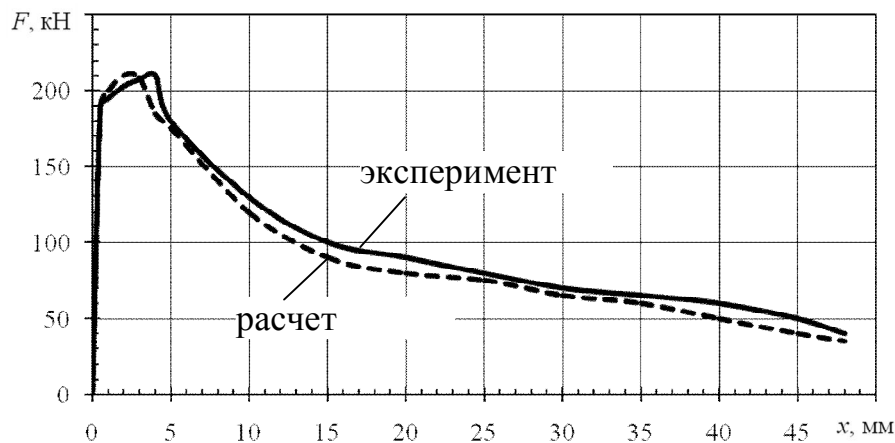


Рисунок 3 – Диаграммы деформирования перфорированной трубы при сжатии

В третьем разделе приведены результаты математического моделирования НДС элементов конструкции силового пояса каркаса кабины машиниста локомотива без СПБ при ударах различной интенсивности с помощью описанного в разделе 2 научно-методического обеспечения. Установлено, что для пассивной защиты локомотива при аварийном столкновении с препятствием необходимы существенные изменения традиционной силовой схемы каркаса кабины машиниста.

Используя успешный опыт создания локомотивов семейства TRAXX компанией Bombardier Transportation, разработаны требования по пассивной безопасности скоростного пассажирского локомотива для железных дорог колеи 1520 мм:

- локомотив должен быть оборудован ударно-тяговыми устройствами, которые не препятствуют работе СПБ при аварийных столкновениях;
- конструкция рамы кузова локомотива должна без потери ее общей несущей способности обеспечить эффективную работу СПБ при тестовых сценариях столкновений;
- основное поглощение энергии удара должно происходить за счет пластической деформации УПЭ в концевых частях рамы кузова;
- принципиально новая конструкция каркаса кабины машиниста должна включать такие элементы СПБ, как усиленная антипроникающая лобовая стенка, специальная жертвенная зона и зона безопасности;
- при аварийном столкновении в первую очередь должны разрушаться УПЭ и жертвенная зона кабины;
- за счет работы СПБ должно быть обеспечено поглощение 2 МДж кинетической энергии удара без превышения допустимого уровня 5g продольного ускорения в зоне безопасности с сохранением пространства длиной не менее 750 мм для выживания локомотивной бригады.

Согласно вышеуказанных требований по пассивной безопасности локомотива разработана конструктивно-компоновочная схема кабины с элементами СПБ, в состав которой входят два УПЭ в концевой части рамы кузова; жесткая антипроникающая лобовая стенка, жертвенная зона в передней части кабины, зона безопасности в задней части кабины (рис. 4).

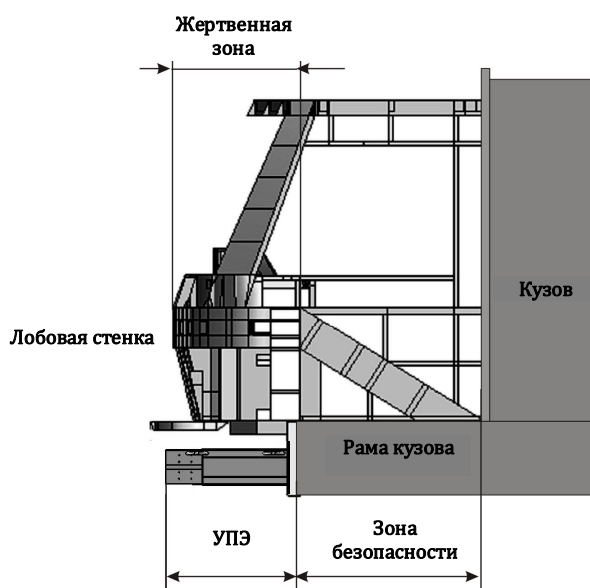


Рисунок 4 – Конструктивно-компоновочная схема кабины с СПБ

Построены концептуальные диаграммы деформирования элементов СПБ при ударе. Определены требования к УПЭ. В результате комплекса проведенных теоретических исследований с использованием научно-методического обеспечения, описанного в разделе 2, разработана и запатентована конструкция УПЭ коробчатого типа, содержащая сотовые пакеты (рис. 5).

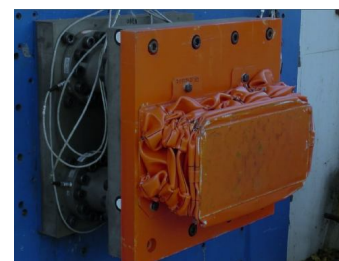
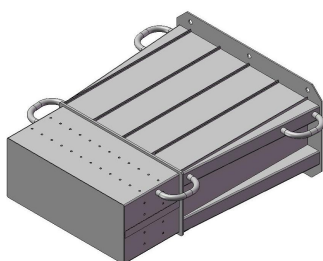


Рисунок 5 – Разработанный УПЭ

Рисунок 6 – Результаты краш теста УПЭ

Определены параметры УПЭ, при которых энергоемкость одного устройства равна 1,1 МДж при деформации 0,8 м. На испытательном полигоне в г. Герлиц (Германия) выполнен краш тест экспериментального образца УПЭ (рис. 6) и показано, что результаты краш теста хорошо согласуются с результатами моделирования работы этого образца УПЭ при ударе (расхождение составляет около 5%). Результаты краш теста ППЭ представлены на выставке ИнноТранс 2014 в Берлине.

В четвертом разделе приведены разработанные конечно-элементные модели для оценки прочности конструкций каркаса кабины с СПБ при статической продольной нагрузке на лобовую стенку, а также для анализа нелинейного деформирования конструкций каркаса при ударах, соответствующих тестовым сценариям столкновений. Столкновение локомотива с препятствием рассматривается как случай неупругого столкновения двух тел, при котором часть энергии удара расходуется на деформирование соударяющихся тел, а оставшаяся часть энергии переходит в кинетическую энергию их совместного движения с общей скоростью. Для опре-

деления энергии, затраченной на пластическую деформацию тел, рассматривается удар телом (бойком), характеризующим препятствие, в неподвижную конструкцию кабины локомотива с СПБ.

Согласно “Техническим требованиям к системе пассивной безопасности ...” рассмотрены следующие тестовые сценарии:

– сценарий 1: столкновение на переезде со скоростью 72 км/ч локомотива с мобильным транспортным средством (МТС) в виде крупногабаритного недеформированного препятствия массой 10 т (цилиндр диаметром 3 м и длиной 4 м, расположенный на уровне 0,5 м над уровнем головки рельса или вертикальная стенка $2,2 \times 4$ м);

– сценарий 2: столкновение локомотива со скоростью 36 км/ч с грузовым вагоном массой 80 т (вагон в виде недеформированной стенки 4×4 м).

Схемы взаимодействия каркаса кабины и УПЭ с бойком при ударах согласно рассмотренным тестовым сценариям столкновений приведены на рис. 7 – 8.

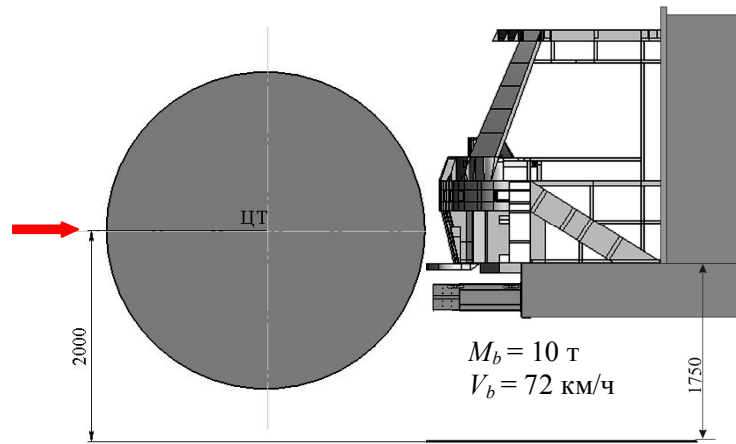


Рисунок 7 – Схема взаимодействия каркаса кабины и УПЭ с бойком при тестовом сценарии 1 (препятствие в виде цилиндра)

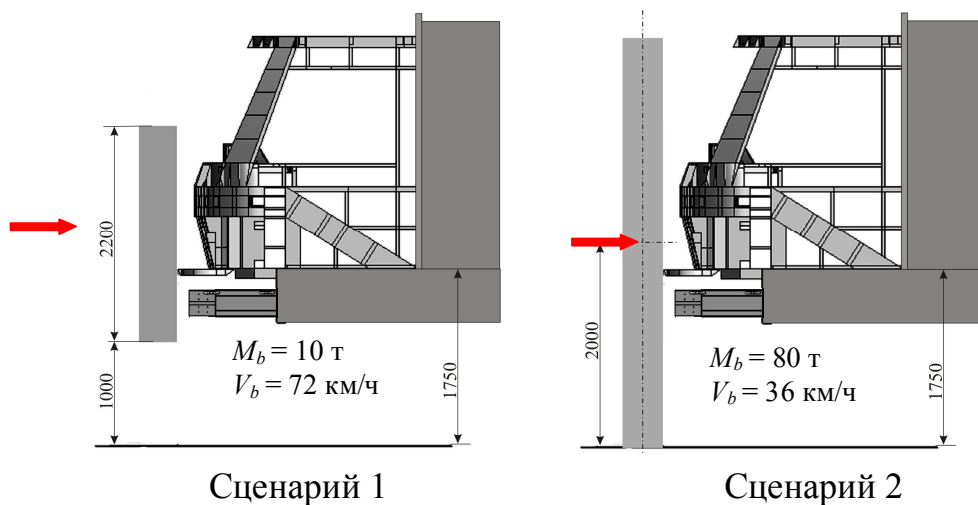


Рисунок 8 – Схема взаимодействия каркаса кабины и УПЭ с бойком при тестовых сценариях столкновений (препятствие в виде стенки)

Конечно-элементные схемы для анализа нелинейного деформирования базовой и доработанной конструкций каркаса кабины при сверхнормативных ударах, а также для оценки прочности конструкций каркаса кабины при статической продольной нагрузке на элементы лобовой стенки приведены на рис. 9.

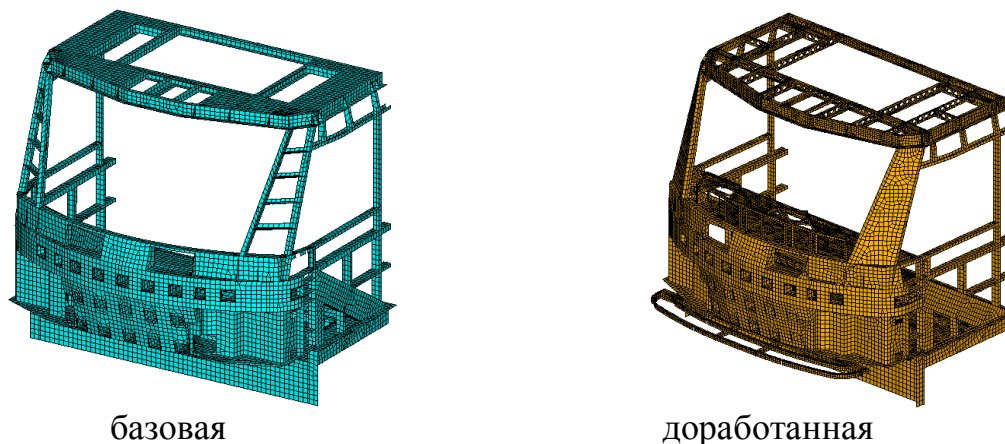


Рисунок 9 – Конечно-элементные схемы конструкций каркаса кабины

В пятом разделе приведены результаты исследования НДС элементов базовой конструкции каркаса кабины, в том числе с учетом УПЭ, при ударах согласно сценарию 1 (столкновение с МТС в виде недеформированного цилиндра) и сценарию 2 (столкновение с грузовым вагоном в виде недеформированной стенки). Показано, что только при ударе согласно сценарию 2 базовая конструкция каркаса соответствует требованиям по пассивной безопасности скоростного пассажирского локомотива (см. раздел 3). Выполненные исследования послужили основанием для обоснованного введения изменений в “Технические требования к системе пассивной безопасности ...” 2010 г. с целью замены модели МТС на недеформируемую стенку в новой редакции “Технических требований ...” 2011 г.

Проведена доработка базовой конструкции каркаса кабины с целью снижения ее веса и обеспечения прочности согласно нормативным требованиям. Результаты расчетов НДС элементов доработанной конструкции каркаса кабины и УПЭ при ударе согласно сценарию 1 показаны на рис. 10 – 12.

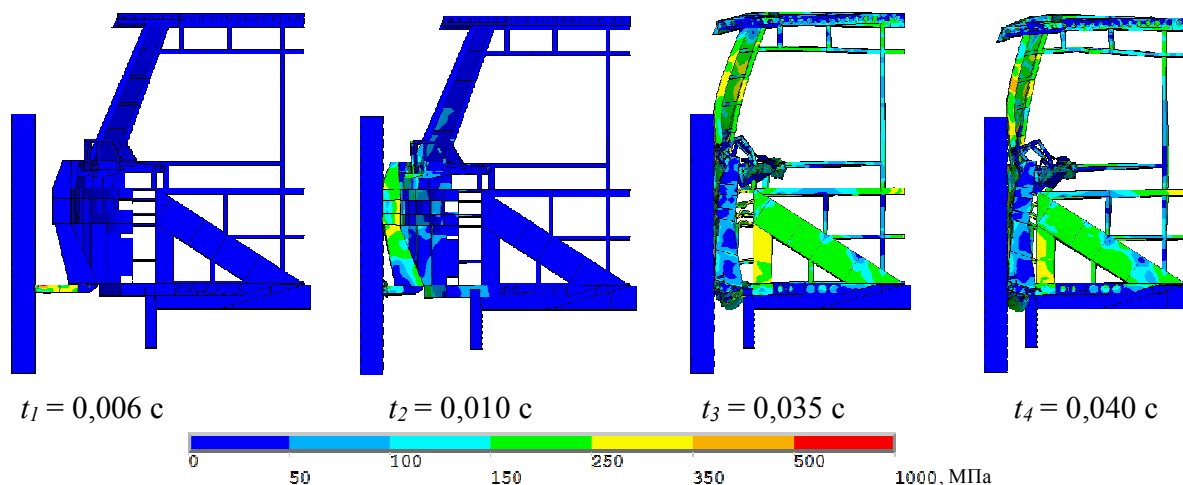


Рисунок 10 – НДС конструкции каркаса в разные моменты времени (сценарий 1)

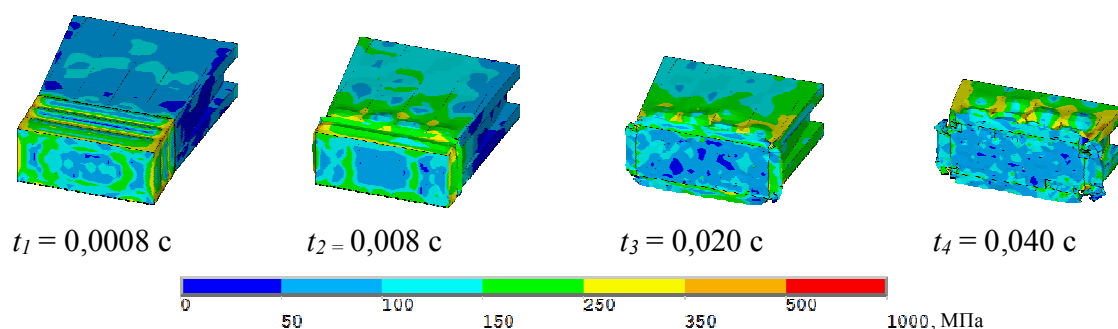


Рисунок 11 – НДС конструкции УПЭ в разные моменты времени (сценарий 1)

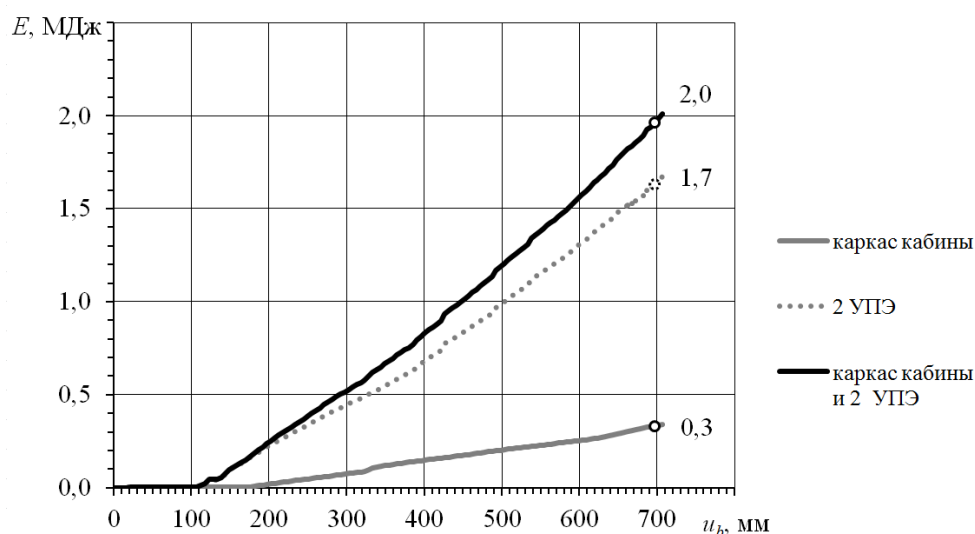


Рисунок 12 – Диаграммы энергопоглощения при ударе (сценарий 1)

Выполнен анализ НДС элементов доработанной конструкции каркаса при ударных нагрузках согласно тестовому сценарию 2 столкновения с грузовым вагоном. Установлено, что при ударе происходит контролируемое пластическое деформирование УПЭ и жертвенной зоны каркаса кабины. В результате совместной деформации жертвенной зоны каркаса кабины и двух УПЭ в аварийной ситуации поглощена кинетическая энергия около 2,1 МДж (1,8 МДж за счет деформации 2-х УПЭ и 0,3 МДж за счет деформации жертвенной зоны кабины). В зоне безопасности сохраняется пространство более 750 мм, а уровень продольного ускорения в ней не превышает допустимого значения 5g. Сила, действующая на раму кузова локомотива, не превышает значения, допустимого разработанными требованиями по пассивной безопасности локомотива.

Результатами конечно-элементного моделирования НДС элементов доработанной конструкции каркаса кабины при статической продольной нагрузке 290 кН на элементы лобовой стенки подтверждено выполнение нормативных требований по прочности этой конструкции каркаса.

На основе выполненных исследований разработана конструкция модульной кабины машиниста – отдельного сборочного модуля с современным интерьером, укомплектованного необходимым оборудованием и подготовленного для установ-

ки на платформу локомотива, предназначенного для движения по колеи 1520 мм со скоростью до 200 км/ч. Первый опытный образец модульной кабины машиниста электровоза ЭП20 с СПБ представлен на выставке ИнноТранс 2012 в Берлине. В 2012 введен в эксплуатацию электровоз ЭП20 с разработанной кабиной машиниста (рис. 13).



Рисунок 13 – Электровоз ЭП20 с элементами СПБ

В приложении А приведены программа и методика исследовательских испытаний элементов, предназначенных для пассивной защиты железнодорожных экипажей.

В приложении Б приведен Протокол исследовательских испытаний моделей элементов, предназначенных для пассивной защиты железнодорожных экипажей в аварийной ситуации.

В приложении В приведен акт внедрения результатов данной диссертации (акт комиссии по приемке результатов ОКР “Кабина машиниста магистрального электровоза ЭП20”).

ВЫВОДЫ

В диссертационной работе решена актуальная научно-прикладная задача в области железнодорожного транспорта: повышение пассивной безопасности локомотива при аварийных столкновениях путем создания кабины машиниста с жертвенной зоной, зоной безопасности и устройствами поглощения энергии.

Основные научные результаты, выводы и практические рекомендации диссертации заключаются в следующем.

1. На основе результатов анализа мирового опыта по пассивной защите локомотива при аварийных столкновениях с препятствием обоснована необходимость и актуальность разработки с использованием современных технологий математического моделирования принципиально новой кабины машиниста с жертвенной зоной, зоной безопасности и устройствами поглощения энергии.

2. Разработаны основные требования по пассивной безопасности скоростного пассажирского локомотива, построены концептуальные диаграммы деформирования

элементов СПБ при сверхнормативных ударах, характеризующих аварийные столкновения локомотива с препятствием на переезде (сценарий 1) и с грузовым вагоном (сценарий 2).

3. Разработана конструктивно-компоновочная схема кабины машиниста с элементами СПБ. Определены требования к УПЭ в концевых частях рамы кузова локомотива. Разработана и запатентована конструкция УПЭ коробчатого типа, содержащая сотовые пакеты. Определены параметры УПЭ энергоемкостью 1,1 МДж. Выполнен крэш тест УПЭ на испытательном полигоне в г. Герлиц (Германия) и получено удовлетворительное согласование результатов крэш теста с расчетными данными.

4. Разработаны научно-методическое обеспечение и конечно-элементные модели для исследования НДС элементов конструкций каркасов кабин при сверхнормативных ударах с учетом геометрической и физической нелинейностей, зависимости предела текучести стали от скорости деформации, переменного контактного взаимодействия элементов конструкций с препятствием и между собой. Приемлемость использования разработанного научно-методического обеспечения подтверждена удовлетворительным согласованием результатов расчетов пластического деформирования жертвенных элементов в виде перфорированных трубчатых конструкций при продольных ударах с малой скоростью и данных исследовательских испытаний экспериментальных образцов этих конструкций при сжатии.

5. Разработаны конечно-элементные модели для анализа деформирования элементов конструкций каркаса кабины машиниста локомотива нового поколения с СПБ при продольной статической нагрузке на элементы лобовой стенки.

6. С использованием разработанных научно-методического обеспечения и конечно-элементных моделей проведен комплекс исследований и определены параметры базовой конструкции каркаса кабины. Выполнен анализ НДС ее элементов, в том числе с учетом УПЭ, при ударах согласно тестовому сценарию 1 (столкновение с МТС в виде недеформированного цилиндра) и сценарию 2. Результаты исследования по сценарию 1 послужили основанием для введения изменений в “Технические требования к системе пассивной безопасности ...” 2010 г. с целью замены модели МТС на деформируемую стенку. Установлено, что при ударах согласно сценарию 2 базовая конструкция каркаса кабины соответствует разработанным требованиям по пассивной безопасности локомотива.

7. Проведена доработка базовой конструкции каркаса кабины с целью снижения ее веса и обеспечения требуемой прочности. Соответствие доработанной конструкции каркаса нормативным требованиям по прочности подтверждено путем оценки НДС ее элементов при статической нагрузке на элементы лобовой стенки.

8. Выполнены исследования НДС элементов доработанной конструкции каркаса кабины с пультом управления и УПЭ при ударах согласно тестовым сценариям столкновений. Показано, что энергия, поглощаемая в результате совместной деформации жертвенной зоны каркаса кабины и двух УПЭ, равна 2 МДж. При этом в зоне безопасности сохраняется пространство более 750 мм для выживания локомотивной бригады, уровень продольного ускорения в этой зоне и сила, действующая на раму

кузова локомотива, не превышают значений, допустимых требованиями по пассивной безопасности локомотива.

9. На основе результатов выполненных исследований разработана, изготовлена и внедрена в производство модульная кабина машиниста электровоза ЭП20 с СПБ. В 2012 г. электровоз ЭП20 с разработанной кабиной введен в эксплуатацию. В настоящее время в эксплуатации находятся 42 электровоза серии ЭП20 с элементами СПБ.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИСЕРТАЦИИ

Основной

1. Соболевская М. Б. Пассивная защита локомотива скоростного пассажирского поезда при аварийном столкновении с препятствием / М. Б. Соболевская, С. А. Сирота, И. Б. Теличко // Техническая механика. – 2009. – № 3. – С. 31 – 38.
2. Оценка энергопоглощающих свойств элементов, предназначенных для пассивной защиты железнодорожных экипажей при аварийных столкновениях с препятствием / М. Б. Соболевская, И. Б. Теличко, С. А. Сирота, И. К. Хрущ, Д. В. Горобец, Ю. А. Клык // Техническая механика. – 2009. – № 4. – С. 28 – 35.
3. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния элементов конструкции кабины машиниста локомотива при ударных воздействиях / М. Б. Соболевская, И. Б. Теличко, И. К. Хрущ, Д. В. Горобец, Ю. А. Клык // Техническая механика. – 2010. – Вып. 2. – С. 19 – 28.
4. Ушкалов В. Ф. Разработка кабины машиниста электровоза ЭП20 с системой пассивной безопасности при аварийных столкновениях с препятствием на железнодорожном пути / В. Ф. Ушкалов, М. Б. Соболевская, И. Б. Теличко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – 2010. – № 5 (147). – Частина 2. – С. 67 – 72.
5. Математическое моделирование упругопластического деформирования энергопоглощающих элементов системы пассивной безопасности локомотива при аварийном столкновении с препятствием / М. Б. Соболевская, И. Б. Теличко, С. А. Сирота, И. К. Хрущ, Д. В. Горобец, Ю. А. Клык // Техническая механика. – 2010. – Вып. 4. – С. 75 – 85.
6. Соболевская М. Б. Оценка напряженно-деформированного состояния элементов конструкции кабины машиниста электровоза с системой пассивной безопасности при его столкновении с мобильным транспортным средством / М. Б. Соболевская, И. Б. Теличко // Техническая механика. – 2011. – Вып. 2. – С. 49 – 62.
7. Разработка жертвенных элементов системы пассивной безопасности электровоза ЭП20 / В. Ф. Ушкалов, И. Б. Теличко, М. Б. Соболевская, С. А. Сирота // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – 2011. – № 4 (158). – Частина 1. – С. 59 – 64.
8. Sobolevska M. Passive safety system of an electric locomotive for high-speed operation on the railways with 1520 mm gauge / M. Sobolevska, I. Telychko //

Passive Safety of Rail Vehicles 2013 : Railway Research Network Proceedings of the 9th International Symposium “Passive Safety 2013 – Passive Safety of Rail Vehicles and Safe Interiors” in Berlin on 21 – 22 February 2013. – 43/2013. – Berlin : IFV Bahntechnik e.V. – 2013. – P. 63 – 80.

9. Теличко И. Б. Разработка модульной кабины машиниста для электровоза нового поколения / И. Б. Теличко // *Залізничний транспорт України* – 2014. – № 3. – С. 3 – 10.

10. Патент на корисну модель 64978 Україна, МПК В 61 G 11/00. Пристрій для поглинання енергії удару / Ушкалов В. Ф., Науменко Н. Ю., Теличко І. Б., Соболевська М. Б., Сирота С. А., Хрущ І. К., Горобець Д. В., Клик Ю. А. – u201104838; заявл. 19.04.2011 ; опубл. 25.11.2011, Бюл. № 22/2011. – 6 с.

Дополнительный

11. Анализ напряженно-деформированного состояния элементов конструкции кабины управления электровоза при ударе в лобовую подоконную часть / М. Б. Соболевская, И. К. Хрущ, Д. В. Горобец, С. А. Сирота, Ю. А. Клык, И. Б. Теличко // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта : Тезисы докладов 70 Международной научно-практической конференции 15.04 – 16.04.2010. – Днепропетровск: ДНУЖТ, 2010. – С. 22 – 23.

12. Соболевская М. Б. Анализ напряженно-деформированного состояния элементов конструкций кабины управления электровоза при столкновении с мобильным транспортным средством / М. Б. Соболевская, И. Б. Теличко // *Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології”* 24 – 25 березня 2011 р. Серія “Техніка, технологія”. К.: ДЕДУТ, 2011. – С. 130 – 131.

13. Теличко И. Б. Перспективные проекты – “пространству 1520” / И. Б. Теличко // Тезисы докладов II Международной партнерской конференции EuroTrain “Проблемы подвижного состава: пути решения через взаимодействие государственного и частного секторов ” 19 – 20 травня 2011 р. – Харьков: Железнодорожное издательство “Подвижной состав”, 2011 г. – С. 48.

14. Система пассивной безопасности скоростного пассажирского электровоза / Н. Е. Науменко, М. Б. Соболевская, С. А. Сирота, И. Ю. Хижа, И. К. Хрущ, Д. В. Горобец, И. Б. Теличко // Тезисы докладов XIII Международной научно-технической конференции “Проблемы механики железнодорожного транспорта” 23 – 25 мая 2012 г. – Днепропетровск : ДНУЖТ, 2012. – С. 98 – 99.

15. Моделирование работы системы пассивной безопасности электровоза при столкновении с крупногабаритным препятствием на железнодорожном переезде / М. Б. Соболевская, С. А. Сирота, И. К. Хрущ, Д. В. Горобец, И. Б. Теличко // Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта : Материалы 73 Международной научно-практической конференции в Днепропетровске 23.05 – 24.05.2013. – Днепропетровск: ДНУЖТ, 2013. – С. 105.

АННОТАЦИЯ

Теличко И. Б. Совершенствование конструкции кабины машиниста для повышения пассивной безопасности локомотива при столкновениях – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – подвижный состав железных дорог и тяга поездов. – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна Министерства образования и науки Украины, Днепропетровск, 2015.

Диссертация посвящена вопросам повышения пассивной безопасности локомотива при аварийных столкновениях путем создания кабины машиниста с жертвенной зоной, зоной безопасности и устройствами поглощения энергии.

В диссертации на основе результатов анализа нормативной базы и существующих технических решений по пассивной защите локомотивов при аварийных столкновениях обоснована необходимость и актуальность разработки принципиально новой конструкции кабины машиниста пассажирского локомотива с системой пассивной безопасности (СПБ), предназначенного для скоростного движения по железным дорогам с шириной колеи 1520 мм. Показана необходимость разработки основных требований по пассивной безопасности локомотива при столкновениях, научно-методического обеспечения и конечно-элементных моделей для исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов конструкции кабины машиниста локомотива с СПБ при статических нагрузках и при сверхнормативных ударах, возникающих в процессе аварийных столкновений.

Разработано научно-методическое обеспечение для исследования НДС элементов конструкций каркаса кабины при сверхнормативных ударах с учетом геометрической и физической нелинейностей, зависимости предела текучести стали от скорости деформации, переменного контактного взаимодействия между элементами рассматриваемой механической системы соударяющихся тел. Приемлемость использования разработанного научно-методического обеспечения подтверждена удовлетворительным согласованием результатов расчетов пластического деформирования жертвенных элементов в виде перфорированных трубчатых конструкций при продольных ударах с малой скоростью и данных испытаний экспериментальных образцов этих конструкций при сжатии.

Разработаны основные требования по пассивной безопасности пассажирского локомотива для железных дорог колеи 1520 мм, разработана конструктивно-компоновочная схема кабины машиниста локомотива, в состав СПБ которого входят два устройства поглощения энергии (УПЭ) в концевой части рамы кузова, жесткая антипроникающая лобовая стенка, жертвенная зона и зона безопасности.

Разработана и запатентована конструкция УПЭ коробчатого типа, содержащего сотовые пакеты. Выполнен крэш тест экспериментального образца УПЭ при ударе и получено хорошее согласование экспериментальных и расчетных данных.

Разработаны конечно-элементные модели для исследования нелинейного деформирования элементов конструкции каркаса кабины при сверхнормативных ударах. Разработаны конечно-элементные модели для анализа статического де-

формирования элементов конструкций каркаса кабины машиниста локомотива с СПБ при нормативной продольной нагрузке на элементы лобовой стенки.

С использованием разработанного научно-методического обеспечения и конечно-элементных моделей проведен комплекс исследований и определены параметры базовой конструкции каркаса кабины. Проведено исследование НДС элементов базовой и доработанной конструкций каркаса кабины машиниста с учетом и без учета УПЭ при сверхнормативных ударах согласно тестовым сценариям столкновения локомотива с препятствием на железнодорожном переезде и с грузовым вагоном. Показано соответствие разработанных каркасов кабин требованиям по пассивной безопасности локомотива. Соответствие доработанной конструкции нормативным требованиям по прочности подтверждено путем оценки НДС ее элементов при продольной нагрузке 290 кН на лобовую стенку.

В результате выполненных исследований разработана, изготовлена и внедрена в производство на ОАО “Производственное объединение Новочеркасский электровозостроительный завод” (ОАО “ПО НЭВЗ”) конструкция модульной кабины машиниста электровоза ЭП20 с СПБ. Первые опытные образцы разработанной кабины машиниста и УПЭ представлены на выставке ИнноТранс-2012 в Берлине. Результаты краш теста УПЭ представлены на выставке ИнноТранс-2014 в Берлине. Первый электровоз ЭП20 с СПБ запущен в эксплуатацию в 2012 году. В настоящее время в эксплуатации находятся 42 электровоза серии ЭП20 с СПБ.

Ключевые слова: локомотив, модульная кабина машиниста, аварийное столкновение, система пассивной безопасности, устройство поглощения энергии, пластическая деформация, метод конечных элементов.

АНОТАЦІЯ

Теличко І. Б. Удосконалення конструкції кабіни машиніста для підвищення пасивної безпеки локомотива при зіткненнях – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України, Дніпропетровськ, 2015.

Дисертацію присвячено питанням підвищення пасивної безпеки локомотива нового покоління при аварійних зіткненнях шляхом створення кабіни машиніста з жертвною зоною та пристроями поглинання енергії.

Розроблено основні вимоги до пасивної безпеки локомотива нового покоління, конструктивно-компонувальну схему кабіни машиніста локомотива з системою пасивної безпеки (СПБ), до складу якої входять два пристрою поглинання енергії (ППЕ) в кінцевій частині рами кузова, жорстка лобова стінка, жертвна зона і зона безпеки. Розроблено і запатентовано конструкцію ППЕ, виконано краш тест його експериментального зразка. Розроблено науково-методичне забезпечення та скінченно-елементні моделі для дослідження напружено-деформованого стану елементів конструкцій каркаса кабіни при статичному нормативному навантаженні на елементи лобової стінки, а також при наднормативних

ударах з урахуванням геометричної та фізичної нелінійностей, залежності межі плинності сталі від швидкості деформації, змінної контактної взаємодії між елементами механічної системи тіл, що співударяються. На основі результатів виконаних досліджень розроблено, виготовлено та впроваджено у виробництво на ВАТ “Виробниче об’єднання Новочеркаський електровозобудівний завод” (ВАТ “ВО НЕБЗ”) модульну кабіну машиніста електровоза ЕП20 з елементами СПБ. Перші дослідні зразки розробленої кабіни машиніста та ППЕ представлено на виставці ІнноТранс 2012 в Берліні, а результати креш тесту ППЕ – на виставці ІнноТранс 2014 в Берліні. У 2012 р. електровоз ЕП20 з СПБ введено в експлуатацію. На теперішній час в експлуатації перебувають 42 електровоза серії ЕП20 з СПБ.

Ключові слова: локомотив, модульна кабіна машиніста, аварійне зіткнення, система пасивної безпеки, пристрій поглинання енергії, пластична деформація, метод скінченних елементів.

SUMMARY

Telychko I. B. Development of a driver’s cab design for improving of locomotive passive safety in collisions – Manuscript.

Thesis for a candidate’s degree in Engineering Sciences on specialty 05.22.07 – railway rolling stock and train traction. – Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipropetrovsk, 2015.

Thesis is devoted to questions improving passive safety for a new generation locomotive in accidental collisions by developing driver’s cab with a sacrificial zone and energy absorption devices.

The main passive protection requirements for new generation passenger locomotive, a design-layout scheme of driver’s cab for locomotive with passive safety system (PSS) were developed. PSS consists of two energy absorption devices (EAD) in the locomotive frame body end, rigid not-penetration frontal wall, sacrificial and security zones. EAD design was developed and patented. Its experimental sample crash test was successful. The technique and finite-element models to simulate stress-strain state of the cab frame design elements were developed at static longitudinal load on frontal wall elements and at super standard impact taking into account geometric and physical nonlinearities, nonlinear dynamic contact interaction of the locomotive front elements with the impactor, dynamic hardening of the steel depending on the impact speed. As a result of the research modular driver’s cab for electric locomotive EP20 with PSS is designed, manufactured and put into production at “Production Association Novochoerkassk Electric Locomotive Plant”. The first prototype of modular driver’s cab and EAD for electric locomotive EP20 introduced at InnoTrans 2012 in Berlin. EAD crash test results introduced at Inno Trans 2014 in Berlin. The first locomotive EP20 with PSS launched in 2012. Currently 42 electric locomotives EP20 with PSS elements are in operation.

Keywords: locomotive, modular driver’s cab, accidental collision, passive safety system, energy absorbing device, plastic deformation, finite element method.

Подписано в печать 22.12.2014 р. Формат 60X90/16.

Усл. печ. лист. 0,9. Уч.-изд. лист. 0,9.

Тираж 100 экз. Зак. № 24

Издательство “ПФ Стандарт-Сервис”

Свидетельство о внесении в государственный
реестр ДК № 3197 от 28.05.2008 г.

г. Днепропетровск, ул. Плеханова, 2, оф. 48.