

приварки шкворневой балки к хребтовой и узлу изменения высоты хребтовой балки от меньшей к большей.

Расчеты показали, что наименьший срок службы в годах получен для узла приварки шкворневой балки к хребтовой. При этом наименьший расчётный срок службы сварного узла превышает его величины до первого деповского ремонта, что подтверждает работоспособность разработанной конструкции.

### Список литературы

1. Антипин, Д.Я. Использование промышленных программных комплексов для исследования динамической нагруженности конструкций рельсового транспорта/ П.И. Шалупина, Д.Я. Антипин // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: Сборник научных трудов 5-й Международной научно-практической конференции. – Курск, 2015. – С. 342-345.

2. Мотянко, Т.А. Исследование динамической нагруженности верхней рамы кузова вагона-самосвала (думпкара)/ Т.А. Мотянко, Д.Я. Антипин, М.В. Мануева// Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – № 4 (44). – С. 20-23.

3. Антипин, Д.Я. Влияние особенностей эксплуатации контрейлерных вагонов-платформ на усталостную долговечность их несущих конструкций/ Д.Я. Антипин, М.В. Мануева, А.Д. Ионкина// Современные инновации в науке и технике. сборник научных трудов 7-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Курск, 2017. – С. 19-21.

4. Кобищанов, В.В. Оценка влияния учета упругих свойств подвешивания автопоезда на динамические характеристики вагона-платформы для контрейлерных перевозок/ В.В. Кобищанов, Д.Я. Антипин, М.В. Мануева// Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – № 4 (52). – С. 179-185.

5. Антипин, Д.Я. Исследование влияния параметров сварных соединений подвижного состава на их усталостную долговечность/ Д.Я. Антипин, В.В. Кобищанов, А.М. Высоцкий// Повышение эффективности транспортных машин. – Брянск, 2017. – С. 183-190.

*Материал поступил в редколлегию 11.10.18.*

УДК 629.45

DOI: 10.30987/conferencearticle\_5c19e697ac9566.77146180

О.И. Бондаренко, Д.Я. Антипин

(г. Брянск, Брянский государственный технический университет)

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПАССАЖИРСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ АВАРИЙНОМ ОПРОКИДЫВАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ САПР**

*Предложена методика оценки безопасности пассажирского подвижного состава при аварийных опрокидываниях с использованием современных элементов САПР.*

*The proposed methodology for assessing the safety of passenger rolling stock in accidental overturning using modern CAD elements.*

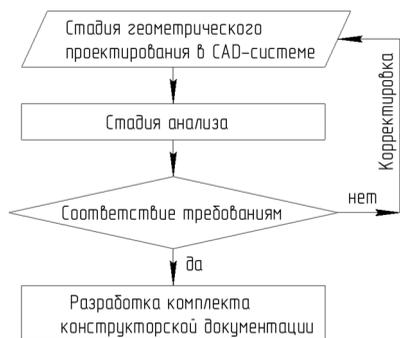
*Ключевые слова: системы автоматизированного проектирования, безопасность, пассажирский вагон, аварийная ситуация.*

*Keywords: computer-aided design systems, safety, passenger carriage, emergency.*

В настоящее время проектирование современного подвижного состава базируется на применении современных систем САПР [1]. Одним из элементов САПР являются программные комплексы анализа нагруженного состояния несущих систем транспортных машин в эксплуатации. Традиционно в комплекс анализируемых параметров в соответствии с нормативной документацией включались нормируемые показатели, соответствующие штатной эксплуатации транспортных машин [2]. При этом в последние годы нормативная документация на проектирование пассажирского подвижного состава стала включать требования по наличию и эффективности систем пассивной безопасности [3]. Указанные системы предназначены для снижения последствий аварийных ситуаций, связанных с крушением поездов. В связи с этим актуальной становится задача теоретической оценки безопасности пассажирского подвижного состава в аварийных ситуациях на стадии проектирования.

Анализ мирового опыта решения подобных задач показывает, что основным инструментом являются методы математического моделирования сценариев аварийных ситуаций с использованием аналитических подсистем САПР. К указанным программным продуктам можно отнести программы инженерного анализа, обеспечивающие моделирование высоконелинейных быстротекущих процессов деформирования несущих систем, такие, как ANSYS, LS-DYNA, SIEMENS NX, ABAQUS и др. Использование специализированных продуктов, интегрированных в общую систему САПР, позволяет на стадии проектирования прогнозировать поведение конструкций в аварийных ситуациях, оценивать эффективность предлагаемых конструктивных решений. При недостаточной их эффективности существует возможность скорректировать их на стадии проектирования и тем самым избежать значительных материальных затрат на стадии изготовления и испытания конструкции [4].

Для решения описанной задачи в работе предложена интегрированная в классическую САПР вагоностроительных предприятий итерационная методика анализа эффективности систем пассивной безопасности пассажирского подвижного состава при авариях, связанных с опрокидыванием вагона на боковую стену. На рис.1. представлена блок-схема предлагаемой методики.

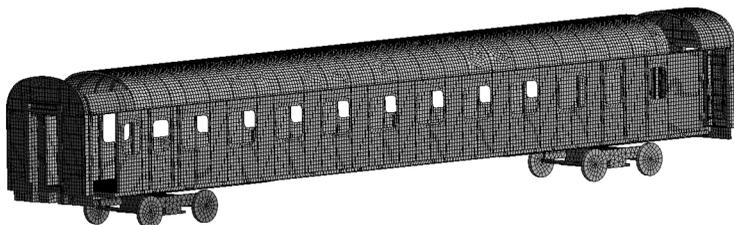


*Рис. 1. Блок-схема итерационного процесса проектирования в САПР*

использованием высокопроизводительных алгоритмов описания высокоскоростного нелинейного деформирования несущих систем с учетом возможности нарушения целостности ряда элементов. По результатам исследований проверяется соответствие функциональных параметров подвижного состава нормативным требованиям и принимается решение о корректировке объекта проектирования или переходе к стадии разработки комплекта конструкторской документации.

Апробация методик проведена на примере пассажирского вагона купейного типа модели 61-4440 производства ОАО «Тверской вагоностроительный завод».

Модель аварийного опрокидывания вагона фиксирует деформацию и учитывает взаимодействие элементов и подсистем вагона, возникающих во время удара. Геометрическая модель пассажирского вагона в точности повторяет линейные размеры элементов и подсистем вагона. Степень дискретизации конечноэлементной сетки обеспечивает вычислительную конвергенцию и приемлемое время решения задачи. Разработанная модель вагона состоит из 85,4 тысяч элементов и 99,9 тысяч узлов (рис.2).



*Рис. 2. Конечноэлементная модель пассажирского вагона*

Препятствие в виде земляного полотна в расчетной модели представлено жесткой плоскостью с соответствующими ограничениями по степеням

свободы. Всем частям кузова вагона были сообщены соответствующие сценарию аварийной ситуации угловые и поступательные скорости. С использованием специализированных элементов в модели описаны контактные взаимодействия вагона с земляным полотном, а также контакты между элементами конструкции вагона. Статический и динамический коэффициент трения в расчете задавался с учетом жесткой природы грунта, используемого в испытании на опрокидывание.

В результате моделирования получена картина пластического деформирования несущей конструкции кузова вагона во времени. Определены пиковые усилия, действующие на конструкцию в аварийной ситуации, уровни максимальных напряжений и деформаций элементов кузова. Определены элементы кузова, разрушающиеся при опрокидывании, а также элементы, входящие при пластическом деформировании в зону безопасности пассажирского салона и тем самым создающие условия для травмирования пассажиров.

Сопоставление полученных результатов с требованиями нормативной документации к системам пассивной безопасности пассажирского подвижного состава позволило сформировать перечень конструктивных элементов несущей конструкции кузова, требующих доработки. На основании полученных результатов предложен комплекс мер, направленных на повышение пассивной безопасности несущей конструкции кузова пассажирского вагона модели 61-4440.

#### **Список литературы**

1. *Полушко, О.И.* Анализ ударпрочных конструкций подвижного состава и их применение на железнодорожном транспорте / О.И. Полушко // Новые горизонты: материалы IV Международной конференции-конкурса. – Брянск, 2017. – С. 82-84.
2. *Антипин, Д.Я.* Обоснование динамических моделей для анализа нагруженности несущих конструкций кузовов пассажирских вагонов / Д.Я. Антипин, С.Н. Ашуркова, Е.В. Чепикова // Будущее машиностроения России девятая всероссийская конференция молодых ученых и специалистов. – 2016. – С. 695-697.
3. United Nations, Uniform Technical Prescriptions Concerning The Approval of Large Passenger Vehicles with regard to The Strength of Their Passenger Vehicles with regard to The Strength of Their Superstructure (Revision 1), Regulation No 66 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE), 2006.
4. *Шорохов, С.Г.* Обоснование компьютерной модели соударения пассажирского поезда с препятствием / С.Г. Шорохов, Н.А. Редя, Д.Я. Антипин // Приоритетные направления развития науки, техники и технологий международная научнопрактическая конференция. – 2016. – С. 321-324.

*Материал поступил в редколлегию 11.10.18.*