

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ, ТЯГА ПОЕЗДОВ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ

УДК 629.45

Н. П. Бардов, С. Д. Коршунов, Д. И. Гончаров, Е. В. Сорокина

МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ НА ПРОЧНОСТЬ КУЗОВОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА¹

Аннотация. Рассмотрены особенности методов расчетов кузовов вагонов пассажирских, грузовых и специальных. Приводится описание современных программных комплексов для оценки несущей способности металлоконструкций железнодорожного подвижного состава.

Ключевые слова: расчеты на прочность вагонов, несущая способность, верификация расчетов при испытаниях.

Для цитирования: Бардов, Н. П. Методы расчетов на прочность кузовов железнодорожного подвижного состава / Н. П. Бардов, С. Д. Коршунов, Д. И. Гончаров, Е. В. Сорокина // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1. – С. 6–9.

Важнейшим аспектом исследования несущих конструкций элементов вагона является анализ их напряженно-деформированного состояния от воздействия эксплуатационных и нормативных нагрузок в соответствии с требованиями нормативных документов.

Эффективным инструментом для анализа НДС несущих систем является метод конечных элементов (МКЭ), используемый в настоящее время для большинства задач в инженерном деле. Метод конечных элементов (МКЭ) – это способ изучения состояния системы при определенных нагрузках и деформациях. Базовой единицей конструкторского представления в этом методе является конечный элемент – простейшее геометрическое представление небольшого участка расчетной системы. Создание модели рассматриваемой системы реализуется с использованием конечных элементов.

Методика конечных элементов в вагоностроительной отрасли получила активное применение в прочностных и усталостных расчетах несущих конструкций элементов вагона [1, 2]. На рисунке 1 представлен пример расчетной модели кузова отечественного двухэтажного пассажирского вагона.

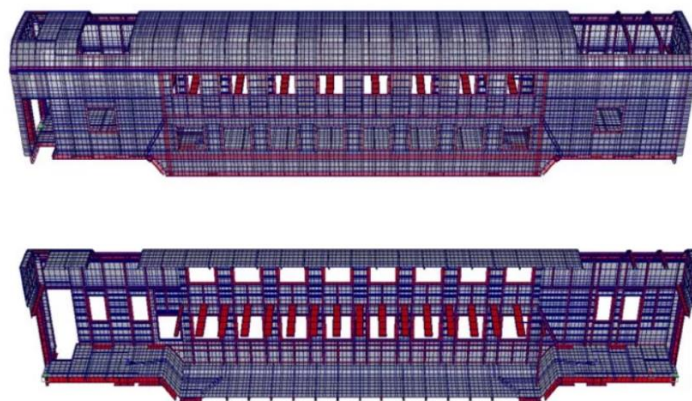


Рис. 1. Конечно-элементная модель кузова двухэтажного вагона

¹Статья рекомендована к публикации оргкомитетом по результатам 15-й юбилейной Международной научно-практической конференции «Перспективы развития локомотиво-, вагоностроения и технологии обслуживания подвижного состава».

Методика конечных элементов с математической точки зрения применяется как числовой метод решения дифференциальных уравнений, которые используются для программируемого описания физических процессов, происходящих в сплошных средах, таких как термическая диригация, перемещения акустических и электромагнитных волн, гидравлика, возникновение внутренних силовых факторов и деформации в механических телах и других.

МКЭ обширно используется в сфере проектирования следующих объектов: самолеты, вертолеты, легковые машины, корабли, ж/д составы, мосты и путепроводы; объекты капитального строительства.

Со стороны строительной механики МКЭ является главным инструментом для выполнения расчетных задач. Суть метода состоит в том, что сплошная среда потенциальной расчетной системы с бесконечным количеством степеней свободы может быть представлена множеством простейших элементарных частиц, обладающих конечным количеством степеней свободы и соединенных друг с другом через узлы. Места стыковки нагружают расчетными усилиями, приводящими к определенному напряженному состоянию внутри зоны соединения элементов расчетной системы. Самыми характерными аспектами МКЭ являются: 1) разбивка и упрощение расчетных систем на подсистемы; 2) расчетная специальная функция упрощает зависимые параметры на всех конечных элементах и всей системе, например, для раздела строительной механики основной задачей расчета системы является определение перемещений и внутренних усилий в узлах конечных элементов; 3) за счет разбивки и упрощения создается система уравнений, с решением которой выдается результат, приближенный к реальной работе системы.

Расчет методом конечных элементов очень разнообразен и процедура его выполнения зависит от поставленных задач, но есть определенный алгоритм из следующих действий: подбор наиболее подходящего программно-вычислительного комплекса, специализированного под определенную систему и происходящие с ней физические процессы; формирование конечно-элементной модели, наиболее похожей на реальную исследуемую систему, и ее проверка; автоматизированное решение составленной программой системы уравнений с неизвестными параметрами и получение результатов с их последующей верификацией.

В сфере тяжелого машиностроения, в вагоностроительной отрасли в частности, так же очень распространены расчеты с помощью метода конечных элементов. Моделируются такие несущие элементы, как кузова, рамы тележек, надрессорные балки, колесные пары и другие. Поскольку кузова вагонов чаще всего проектируются цельнонесущими, то очень важно правильно сформировать конечно-элементную модель, которая позволит определить наиболее слабые места в конструкции, максимальную несущую способность, расчетные коэффициенты запаса прочности, усталости и устойчивости, с учетом всех механических характеристик.

Важнейшая задача расчетов МКЭ заключается в исследовании несущей конструкции вагонов и сравнение ее показателей с государственными нормативами [3–5]. В качестве основных элементов для построения расчетной схемы применяются стержни, пластины и объемные элементы. По многолетнему опыту было выявлено, что самым точным вариантом создания расчетной модели кузова является схема из пластин, поскольку имеются сложные по своей геометрии узлы соединения, которые точнее и проще всего задаются в пластинчатой схеме. Поэтому обычно основными элементами в схеме служат пластины, а вспомогательными стержни. На рисунке 2 показана пластинчато-стержневая модель кузова пассажирского вагона.

Моделирование кузовов – трудоемкий и требовательный к точности процесс. Во время разработки учитывается множество нюансов и деталей в конструкции кузова. Необходимо корректно назначать расположение элементов, места приложения нагрузок, закрепление расчетной схемы в пространстве в соответствии с реальной работой системы.

Самым тяжелым элементом для моделирования является рама, в которой расположено большое количество поперечных и продольных балок, геометрию которых обязательно нужно достоверно воспроизводить при создании конечно-элементной модели.

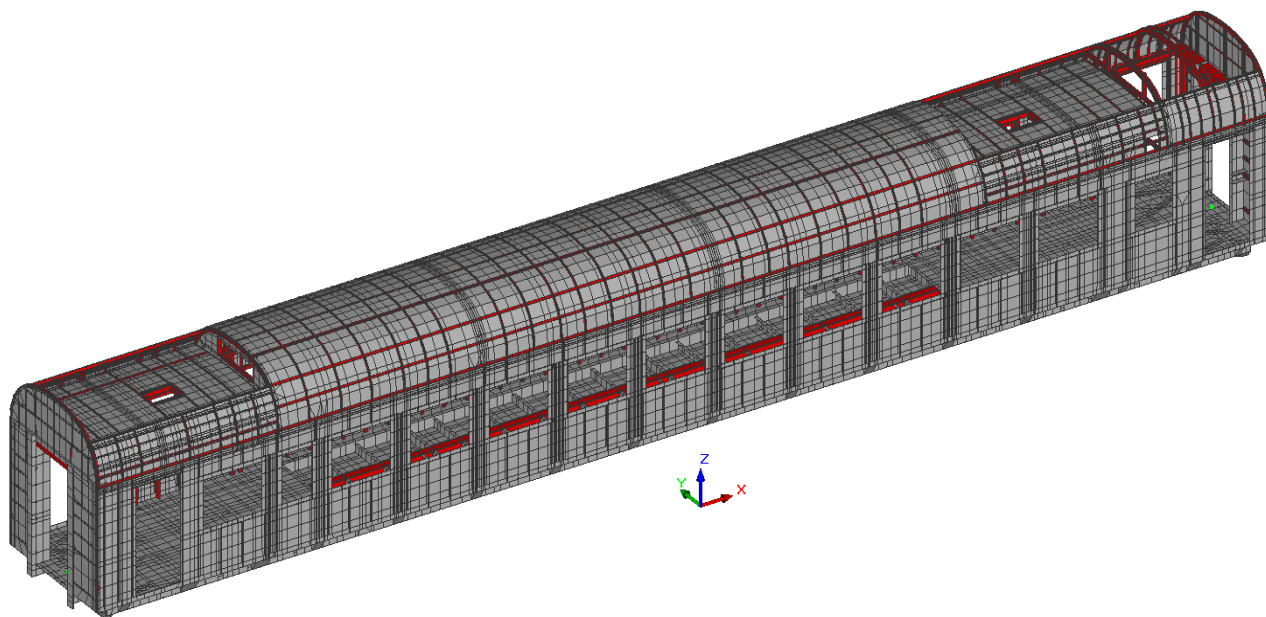


Рис. 2. Расчетная схема МКЭ кузова пассажирского вагона

При моделировании кузова вся обшивка создается из пластин, а стойки боковых стен чаще всего задаются стержнями, важно правильно назначать их соединение с учетом смещения центра тяжести. Такие сложности при разработке расчетной модели перед специалистом встречаются весьма часто.

Расчетные конечно-элементные модели вагонных конструкций создаются во время разработки проекта и при получении допускаемых значений напряжений и деформаций от заданных нагрузок при аварийных режимах проходят верификацию путем проведения прочностных статических испытаний кузова нормативными нагрузками, таким образом, расчет может применяться для создания методических указаний проведения испытаний.

Следовательно, обязательным условием объективной оценки полученных результатов расчетов металлоконструкции кузова является верификация расчетов при испытаниях отдельными нагрузками и их сочетаниям по расчетным режимам. С учетом изложенного, расчетный и экспериментальный анализ несущей способности вагонных конструкций подвижного состава предусмотрен основными действующими методиками АО НО «ТИВ».

Библиографический список

1. Исследование и разработка методики расчета на прочность кузова пассажирского вагона и его узлов на основе метода конечных элементов: Отчет / КФ ВНИИВ; Рук. темы Ломаков П. С. – Шифр темы 88.89.1.149 – Калинин, 1989. – 173 с.
2. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер., В. И. Сливкер. – Киев, Изд-во «Сталь», 2002. – 600 с.: ил.
3. **Коршунов, С. Д.** Методика расчетно-экспериментальных исследований кузовов современного подвижного состава / С. Д. Коршунов, А. Н. Скачков, С. Л. Самошкин, Д. И. Гончаров, А. С. Жуков // Известия ПГУПС. – 2015. – № 4. – С. 38–47.

4. **Коршунов, С. Д.** Создание экспериментальной и методической базы для оценки соответствия прочности отечественных кузовов пассажирских вагонов европейской нормативной базе/ С. Д. Коршунов, А. Н. Скачков, С. Л. Самошкин, А. А. Смирнов, Д. И. Гончаров. // Вестник БГТУ. –2021. –№8 (105). –С. 67–76.

5. **Коршунов, С. Д.** Комплексные испытания, оценка несущей способности и остаточного ресурса специализированного пассажирского вагона». / Коршунов С. Д., Ворон О. А. // Вестник РГУПС.–2014. –№ 1. –С. 8–12.

N. P. Bardov, S. D. Korshunov, D. I. Goncharov, E. V. Sorokina

CALCULATION METHODS FOR THE STRENGTH OF RAILWAY ROLLING STOCK BODIES

Annotation. The features of calculation methods for the bodies of passenger, freight and special cars are considered. A description of modern software systems for assessing the load-bearing capacity of metal structures of railway rolling stock is provided.

Keywords: calculations for the strength of cars, load-bearing capacity, verification of calculations during testing.

For citation: Bardov, N. P. Calculation methods for the strength of railway rolling stock bodies / N. P. Bardov, S. D. Korshunov, D. I. Goncharov, E. V. Sorokina // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya. – 2024. – № 1. – P. 6–9.

Сведения об авторах

Бардов Никита Павлович

АО НО «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ»), инженер-конструктор первой категории, e-mail: bardov.n@tiv.ru

Коршунов Сергей Дмитриевич

АО НО «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ»), кандидат технических наук, главный специалист, e-mail: korshunov.s@tiv.ru

Гончаров Дмитрий Игоревич

АО НО «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ»), кандидат технических наук, начальник отдела, e-mail: goncharov.d@tiv.ru

Сорокина Елена Викторовна

АО НО «Тверской институт вагоностроения» (АО НО «ТИВ»), ведущий инженер, e-mail: sorokina.e@tiv.ru

Information about the authors

Bardov Nikita Pavlovich

JSC SO «Tver Institute of Car Building», Design Engineer of the First Category, e-mail: bardov.n@tiv.ru

Korshunov Sergey Dmitrievich

JSC SO «Tver Institute of Car Building», Candidate of Technical Sciences, Chief Specialist, e-mail: korshunov.s@tiv.ru

Goncharov Dmitry Igorevich

JSC SO «Tver Institute of Car Building», Candidate of Technical Sciences, Head of the Department e-mail: goncharov.d@tiv.ru

Sorokina Elena Viktorovna

JSC SO «Tver Institute of Car Building», Lead Engineer, e-mail: sorokina.e@tiv.ru