

2. Уплотнения для гидравлики и пневматики. Каталог продукции фирмы Seal Jet Ukraine. – Запорожье, 2008. – 4 с.
3. Роганов, Л. Л. Развитие классификации регулируемых щелевых уплотнений / Л. Л. Роганов, Л. Н. Абрамова // Вісн. ДДМА. – Краматорськ, 2005. – № 1. – С. 69–72.
4. Уплотнения для гидравлики и пневматики. Каталог продукции фирмы «РУСЬ». – Россия, 2014.

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КУЗОВА ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА

С. Н. Ашуркова

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Брянский государственный
технический университет», Россия*

Научный руководитель Д. Я. Антипин

В исследованиях напряженно-деформированного состояния несущей конструкции кузова пассажирского вагона применяются различные методы, наиболее распространенными среди которых являются стендовые натурные испытания и математическое моделирование.

Стендовые натурные испытания имеют важное значение для исследования конструкции, обеспечивая высокую точность получаемых результатов, но требуют детального воспроизведения эксплуатационных режимов работы вагона с применением дорогостоящего стендового оборудования и многоканальных тензометрических станций, позволяющих получить данные в достаточном объеме.

Наибольшее распространение получили методы теоретической оценки напряженно-деформированного состояния несущих конструкций кузова пассажирского вагона, позволяющие в относительно короткие сроки с минимальными трудовыми и материальными затратами спроектировать и описать поведение конструкции в соответствии с граничными условиями. Математическое моделирование позволяет оперативно вносить изменения в конструкцию исследуемого вагона, но в связи с использованием упрощенных расчетных схем, происходит накапливание погрешности в результатах измерения. Теоретическая оценка напряженно-деформированного состояния несущей конструкции основывается на использовании метода конечных элементов.

В настоящее время существует значительное количество программных комплексов, обеспечивающих создание детализированных конечно-элементных моделей и их расчет. Их главным преимуществом является наличие модуля, позволяющего с минимальной трудоемкостью формировать конечно-элементные модели на основе разработанных пространственных геометрических моделей посредством автоматической генерации сеток. Одним из таких программных комплексов трехмерного проектирования, работа которого основана на использовании метода конечных элементов, является Siemens PLM Software NX с модулем инженерных расчетов Advanced Simulation [1].

Поскольку несущая конструкция кузова пассажирского вагона представляет собой тонкостенную цилиндрическую подкрепленную оболочку, исследования ее напряженно-деформированного состояния целесообразно проводить с использованием пластинчатых или пластинчато-стержневых расчетных схем [2].

При использовании пластинчато-стержневых расчетных схем элементы подкрепляющего набора кузова представляются двухузловыми стержневыми конечными элементами, а листы обшивки моделируются изотропными или ортотропными

(в случае необходимости описания поведения гофрированной обшивки) трех- или четырехузловыми пластинчатыми элементами.

Достоинством пластинчато-стержневых расчетных схем является снижение количества степеней свободы конечно-элементной модели по сравнению с пластинчатыми, а также трудоемкости подготовки модели. Соответственно использование пластинчато-стержневых расчетных схем позволяет уменьшить время, затрачиваемое на проведение расчетов, и снизить требования к применяемой вычислительной технике. Одним из важных ограничений пластинчато-стержневых конечно-элементных расчетных схем является отсутствие возможности адекватно описывать локальное напряженно-деформированное состояния в зонах соединения подкрепляющих элементов между собой, а также адекватно учитывать особенности нагружения и закрепления несущей конструкции при проведении исследований [3].

Указанные ограничения отсутствуют при использовании пластинчатых расчетных схем. Однако при их использовании адекватность получаемых результатов в значительной степени зависит от степени дискретизации модели и, в частности, от размера и параметров используемых при исследовании пластинчатых конечных элементов. Степень дискретизации модели также неразрывно связана с количеством степеней свободы конечно-элементной модели, трудоемкостью ее подготовки и требуемыми вычислительными возможностями компьютерной техники [4].

При создании пластинчатой конечно-элементной модели несущей конструкции кузова пассажирского вагона размер конечных элементов определяется минимальным размером конструктивных элементов, учет работы которых необходим при проведении исследования, а также потребностью в объеме точек несущих элементов, в которых необходимо получать в результате расчета параметры напряженно-деформированного состояния.

В работе в качестве объекта для исследования принята несущая конструкция кузова пассажирского вагона модели 61-4447 производства ОАО «Тверской вагоностроительный завод».

Исследования напряженно-деформированного состояния рассматриваемой несущей конструкции кузова проводились с использованием двух типов конечно-элементных расчетных схем: пластинчатой и пластинчато-стержневой.

Обе схемы созданы на основе геометрической твердотельной модели несущей конструкции кузова вагона.

Пластинчатая конечно-элементная модель кузова сформирована 149 тыс. трех- и четырехузловыми конечными элементами, объединенными в 139 тыс. узлов (рис. 1).

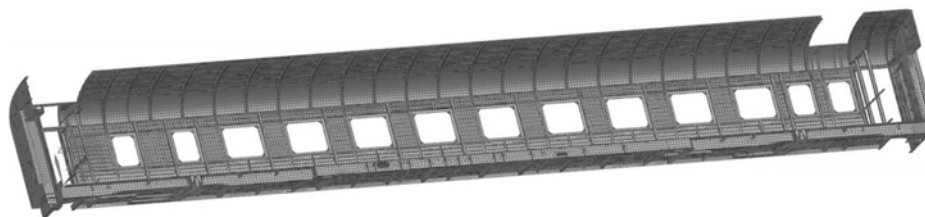


Рис. 1. Пластинчатая конечно-элементная модель кузова вагона (продольное вертикальное сечение)

Пластинчато-стержневая расчетная схема сформирована 12,7 тыс. стержневых конечных элементов, описывающих работу подкрепляющего набора кузова, и 87 тыс. пластинчатых элементов, моделирующих листы обшивки.

Закрепление в пространстве конечно-элементных расчетных схем осуществлялось введением в соответствующие узлы связей в соответствии со схемами, рекомендованными [5]. Нагружение конечно-элементных моделей осуществлялось в соответствии со схемами нагружения, используемыми при проведении натуральных прочностных стендовых испытаний кузовов пассажирских вагонов.

Адекватность результатов, получаемых с использованием разработанных конечно-элементных моделей, оценивалась путем их сопоставления с данными натуральных прочностных стендовых испытаний. В результате проведенных расчетов получены напряжения в основных несущих элементах для трех видов нагружения: вертикального от собственного экипированного веса и веса пассажиров и продольных растягивающих и сжимающих усилий величиной 1,5 и 2,5 МН соответственно.

Анализируя приведенные данные, можно сделать вывод об удовлетворительном качественном и количественном соответствии расчетных данных данным натуральных экспериментов, проведенных в ЗАО НО «Тверской институт вагоностроения». Наибольшее расхождение результатов расчетов, полученных с использованием пластинчато-стержневой расчетной схемы, с данными натуральных экспериментов получены для крыши вагона и составляют 22 %. При использовании пластинчатой расчетной схемы наибольшие различия зафиксированы для несущих элементов боковой стены и их величина не превысила 20 %.

Таким образом, обе рассматриваемые в работе расчетные схемы могут быть использованы для анализа напряженно-деформированного состояния несущей конструкции кузова пассажирского вагона. Применение пластинчато-стержневой схемы приводит к получению менее точных результатов по сравнению с пластинчатой, но при этом позволяет снизить трудоемкость подготовки модели и требования к вычислительным возможностям компьютерной техники. В связи с этим подобные модели целесообразно использовать для предварительных и поисковых расчетов, направленных на выбор наиболее рациональной конструкции несущей системы вагона.

Использование пластинчатых схем целесообразно при проведении проверочных расчетов, направленных на подтверждение прочности и безопасности несущей конструкции, принятой в качестве основной при проектировании. Это связано с более высокими требованиями к временным и вычислительным ресурсам на проведение расчетов. При этом пластинчатые модели расширяют перечень возможных направлений исследования, обеспечивая возможность уточненного анализа местного напряженно-деформированного состояния в геометрически сложных узлах несущей конструкции вагона.

Литература

1. Гончаров, П. С. NXAdvancedSimulation. Инженерный анализ / П. С. Гончаров. – М. : ДМК Пресс, 2012. – 504 с.
2. Выбор рациональной конструкции двухслойной обшивки боковых стен пассажирских вагонов / А. М. Высоцкий [и др.] // Вестн. Брян. гос. техн. ун-та. – 2014. – № 4 (44). – С. 8–11.
3. Ашуркова, С. Н. Исследование влияния конструкции подкрепляющего набора боковой стены пассажирского вагона на его технико-экономические показатели / С. Н. Ашуркова, А. М. Высоцкий, Д. Я. Антипин // Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке : сб. материалов III Всерос. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием. – Ижевск : ИННОВА, 2015. – С. 849–852.
4. Высоцкий, А. М. Обоснование методики моделирования двухслойной обшивки боковых стен кузовов пассажирских вагонов при анализе их нагруженности / А. М. Высоцкий, В. В. Кобищанов, Д. Я. Антипин // Вестн. Брян. гос. техн. ун-та. – 2013. – № 3 (39). – С. 10–13.
5. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М. : ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.