

С.Н. Ашуркова, Д.Я. Антипин  
(г. Брянск, Брянский государственный технический университет)

## **ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ САПР ДЛЯ АНАЛИЗА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КУЗОВОВ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ**

*Разработаны и обоснованы параметры пластинчатых конечно-элементных расчетных моделей кузова пассажирского вагона с использованием современных средств САПР. Проведена оценка напряженно-деформированного состояния кузова пассажирского вагона с перфорированными профилями.*

*The development and substantiation of the parameters of the plate finite-element design models of the passenger car with the use of modern CAD tools. An assessment of the stress-strain state of the body of a passenger car with perforated profiles was carried out.*

*Ключевые слова: пассажирский вагон, математическое моделирование, метод конечных элементов, прочность, кузов, перфорированный профиль.*

*Keywords: passenger car, mathematical modeling, finite element method, strength, body, perforated profile.*

В настоящее время при внедрении на промышленных предприятиях транспортной отрасли PLM технологий все большее внимание уделяется CAE-сегменту, что связано с необходимостью сокращения временных и материальных затрат на проектирование. Наличие на предприятии надежных методик прогнозирования поведения конструкции на всех стадиях его жизненного цикла позволяет повысить его конкурентоспособность и значительно сократить затраты предприятия на сопровождение изделия в эксплуатации. При этом значительное внимание уделяется интегрированности CAE- и CAD-сегментов.

При проектировании несущих конструкций подвижного состава одним из параметров, определяющих безопасность и надежность конструкции, является обеспечение прочности несущих элементов в условиях действия всего спектра эксплуатационных нагрузок.

Анализ мировой практики проектировании несущих конструкций показал, что основным универсальным численным методом оценки прочности несущих конструкций является метод конечных элементов, реализуемый различными пакетами САПР. Современные программные комплексы позволяют на основе разработанных детализированных геометрических моделей конструкции без значительных трудозатрат

пользователя автоматически генерировать конечноэлементные расчетные схемы.

В связи с этим исследование напряженно-деформированного состояния конструкции кузова пассажирского вагона выполнено методом конечных элементов, реализованным средствами модуля инженерных расчетов NX Nastran программного комплекса Siemens PLM Software Femap [1,2].

Кузов пассажирского вагона представляет собой тонкостенную подкрепленную оболочку с вырезами, в связи с чем моделирование кузова пассажирского вагона рационально с использованием пластинчатых или пластинчато-стержневых расчетных моделей. В пластинчато-стержневой модели кузова вагона стойки и дуги формируются двухузловыми стержневыми элементами, воспринимающими усилия растяжения, изгиба и кручения, а обшивка кузова – трех- или четырехузловыми пластинчатыми конечными элементами, воспринимающими весь спектр внутренних усилий. Пластинчатая конечноэлементная модель формируется только из пластинчатых элементов, располагаемых по срединной плоскости сечения элемента. Преимуществом пластинчатых моделей является возможность локального исследования напряженно-деформированного состояния кузова вагона в зонах соединения конструктивных элементов между собой и возможность рационально учитывать нагружение и закрепление конструкции [3,4,5].

В работе исследование проведено на примере кузова пассажирского вагона модели 61-4447. Обшивка панелей боковых стен вагона изготовлена комбинированной с частичным применением двухслойной обшивки. В работе комбинированная обшивка панелей боковой стены заменена на гладкую, подкрепленную стрингерами, что обусловлено тенденциями развития современного пассажирского вагоностроения. С целью облегчения конструкции использованы гнутые зетобразные перфорированные профили размером  $65 \times 45 \times 40 \times 2,5$  мм. Геометрия отверстий перфорации и оценка ее влияния на общую картину напряженно-деформированного состояния кузова пассажирского вагона реализованы посредством пластинчатой расчетной модели.

Анализ научных исследований в области создания конечноэлементных схем показал, что адекватность результатов расчета пластинчатой конечноэлементной модели зависит от степени ее дискретизации и топологии элементов. В связи с чем минимальный размер конечного элемента принят в соответствии с размерами балок подкрепляющего набора кузова и в среднем значении равен 60 мм. Пластинчатая конечноэлементная модель кузова разработанного пассажирского вагона представлена на рис. 1.

Геометрические размеры перфорации балок подкрепляющего набора кузова представлены на рис.2. Применение автоматической генерации конечноэлементной сетки средствами программного комплекса приводит к

сгущению сетки в местах изменения геометрии балки с нерациональными размерами конечных элементов и вырождению отверстий перфорации.

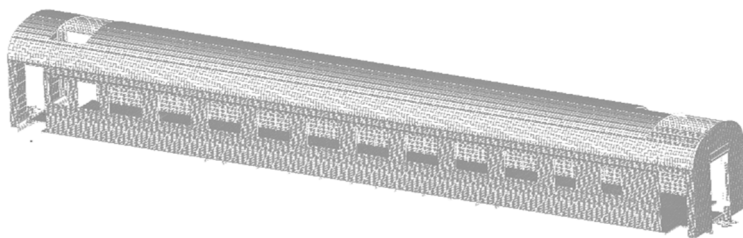


Рис. 1. Пластинчатая конечноэлементная модель кузова пассажирского вагона

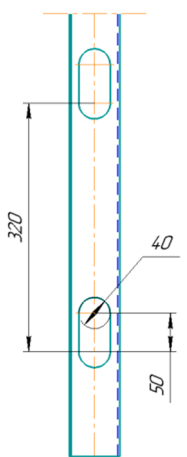


Рис. 2. Геометрические размеры перфорации балок



Рис. 3. Элемент перфорированной стойки конечно-элементной модели

В связи с этим, в работе предложено ручное разбиение конечноэлементной сетки с ее сгущением у отверстия перфорации с применением преимущественно равносторонних треугольных и прямоугольных конечных элементов (рис. 3).

Закрепление и нагружение конечноэлементной модели в пространстве выполнено в соответствии с требованиями норм проектирования вагонов.

Достоверность полученных с использованием разработанной конечноэлементной модели результатов обоснована удовлетворительной сходимостью

расчетных данных с данными натурных стендовых испытаний несущей конструкции кузова пассажирского вагона модели 61-4447, проведенных ЗАО НО «Гверской институт вагоностроения».

Напряженно-деформированное состояние кузова разработанного вагона оценивалось по значениям нормальных напряжений в срединном сечении кузова в отношении к значениям напряжений в конструкции вагона-аналога в том же сечении и представлено в таблице.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что максимальное различие результатов прочностных расчетов зафиксировано в несущих конструкциях панелей боковых стен и не превышает 26,2%.

Наибольшие напряжения для несущей конструкции с перфорированными профилями не достигают допустимых значений, при этом масса кузова вагона не превышает массу вагона-аналога. Путем варьирования межцентровых расстояний, формы и шага отверстий перфорации возможно снизить действующие напряжения в несущей конструкции боковой стены и крыши кузова рассматриваемого вагона.

*Таблица. Сопоставление результатов расчета разработанной модели кузова с результатами расчета вагона-аналога*

№ п/п	Элемент несущей конструкции	Сжимающая нагрузка 2,5 МН, %	Растягивающая нагрузка 1,5 МН, %
1	Рама	15,1	7,3
2	Стена боковая	26,2	13,4
3	Стена торцевая	12,7	6,9
4	Крыша	23,9	11,1

В связи с этим перфорированные профили могут быть рекомендованы для использования в несущей конструкции кузова пассажирского подвижного состава нового поколения.

#### Список литературы

1. *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: сборник материалов III Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием. – Ижевск, 2015. – С. 849-852.

2. *Ашуркова, С.Н.* Использование современных промышленных программных комплексов для обоснования рациональной конструкции боковых стен пассажирских вагонов/ С.Н. Ашуркова, Д.Я. Антипин// Сборник материалов Всерос., научно-практической конференции «Информационно-телекоммуникационные системы и технологии» [Электронный ресурс]. – Кемерово, 2015.

3. *Высоцкий, А.М.* Выбор рациональной конструкции двухслойной обшивки боковых стен пассажирских вагонов/ А.М. Высоцкий, В.В. Кобищанов, Д.Я. Антипин, Д.Ю. Расин// Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – № 4 (44). – С. 8-11.

4. *Кобищанов, В.В.* Оценка нагруженности кузовов пассажирских вагонов при столкновении поездов с препятствиями методами компьютерного моделирования/ В.В. Кобищанов, Д.Я. Антипин, С.Г. Шорохов// Безопасность движения поездов: труды XV научно-практической конференции. – М., 2014. – С. VII-42.

5. *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// Вестник Брянского государственного технического университета, 2013. – № 3 (39). – С. 10-13.

*Материал поступил в редколлегию 11.10.18.*