

УДК 625.23:62-758.2

**Юлія Клык**

## **ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ**

*Рассмотрены особенности применения трехмерного компьютерного моделирования для оценки напряженно-деформированного состояния отдельных элементов конструкции железнодорожных экипажей.*

При создании новых и модернизации существующих железнодорожных вагонов необходимо провести оценку напряженно-деформированного состояния (НДС) их элементов при различных воздействиях.

Целью данной статьи является разработка эффективного алгоритма, с использованием которого можно получить оценку НДС элементов конструкций железнодорожных вагонов, учитывая необходимые особенности их геометрии.

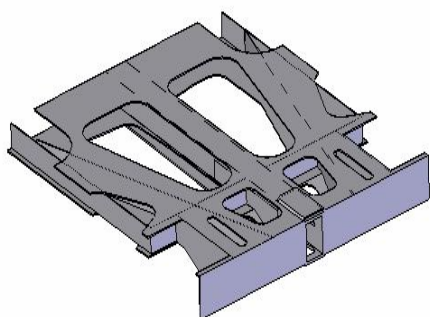
На первом этапе разработки алгоритма необходимо построить модель, наиболее точно описывающую сложную геометрию реальной конструкции. Для этого целесообразно использовать компьютерное моделирование на основе системы автоматизированного проектирования (САПР) SolidWorks [1]. Эта программа позволяет работать с конструкциями сложной формы и даёт возможность путем передачи данных через стандартные форматы обмена данных, например типа IGES и т.д., импортировать созданную модель в другие программы для дальнейшего анализа ее напряженно-деформированного состояния с помощью метода конечных элементов (МКЭ). Этот метод [3] является приближенным методом расчёта, точность которого зависит от правильности разбивки модели на конечные элементы. Поэтому создание исходной геометрической модели должно осуществляться таким образом, чтобы на следующем этапе была возможность корректного построения конечно-элементной модели, учитывая используемые типы элементов, их размеры, необходимую плотность разбивки, требуемый вычислительный ресурс и общее время решения. От этого зависит трудоемкость анализа и точность результатов.

САПР SolidWorks позволяет создавать модели твердотельные и в поверхностях. Представление геометрии в поверхностях используется для создания оболочечно-пластинчатых расчетных моделей. Процесс моделирования состоит из ряда последовательных операций. В первую очередь создаётся эскиз, то есть двухмерный профиль или поперечное сечение. Затем задаются размеры и геометрические взаимосвязи между элементами эскиза, которые в дальнейшем определяют его форму. После чего эскиз с помощью определенного конструктивного элемента преобразуется в трехмерный вид. В результате набор эскизов и конструктивных элементов образуют модель.

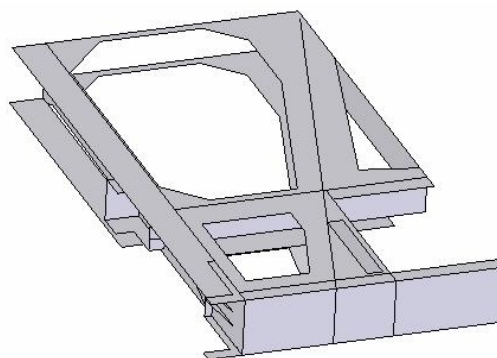
© **Клык Ю.А., 2007**

На следующем этапе для оценки напряжённо-деформированного состояния полученная модель через стандартный формат обмена данных IGES импортируется в программу ANSYS [2], которая представляет собой многоцелевой пакет для решения сложных задач физики и механики деформируемого тела методом конечных элементов и имеет расширенные вычислительные возможности. Интеграция программ ANSYS и SolidWorks даёт возможность минимизировать операции, связанные со специфическими особенностями конечно-элементной аппроксимации. Кроме того, программа SolidWorks позволяет провести правку импортированной модели, если при построении конечно-элементной модели диагностируются ошибки.

Рассмотрим особенности применения алгоритма к расчету НДС конструкции торцевой части рамы пассажирского вагона без хребтовой балки при эксплуатационных воздействиях. На рис. 1 представлена твердотельная модель конструкции, построенная с помощью SolidWorks на основе конструкторской документации.



**Рис. 1. Твердотельная модель торцевой части рамы вагона**



**Рис. 2. Модель торцевой части рамы вагона в поверхностях**

Для корректного построения в программе ANSYS конечно-элементной разбивки полученной в SolidWorks твердотельной модели необходимо использование объемных конечных элементов (как минимум три слоя по толщине конструкции). Поскольку толщина элементов рассматриваемой торцевой части рамы пассажирского вагона мала по сравнению с другими их линейными размерами, конечно-элементная модель будет состоять из большого количества элементов малых размеров, что приведет к значительным затратам времени на вычисления, использованию большого ресурса ПЭВМ и возможному увеличению погрешности расчетов.

Для преодоления таких трудностей целесообразно создать в программе SolidWorks модель конструкции торцевой части рамы пассажирского вагона в виде поверхностей, исключая незначительные подробности, которые не влияют на её напряженно-деформированное состояние. Рассматриваемая конструкция, ее крепления и эксплуатационные нагрузки, прикладываемые в соответствии с расчётными режимами “Норм для расчёта и проектирования новых и модернизированных вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)” [4], симметричны относительно центральной продольно-вертикальной плоскости симметрии. Поэтому при проведении анализа НДС элементов конструкции достаточно рассмотреть

половину модели, отсеченную указанной плоскостью симметрии. Построенная с помощью программы SolidWorks поверхностная модель показана на рис. 2.

При составлении в программе ANSYS конечно-элементной расчетной схемы на основе полученной из программы SolidWorks поверхностной модели в качестве глобальной системы координат выбрана правая декартова система координат с центром на продольной оси рамы в плоскости нейтральной оси концевой балки. Ось  $Ox$  направлена вдоль продольной оси рамы, ось  $Oy$  – вертикально вверх.

Для построения конечно-элементной модели использован пластинчатый конечный элемент типа SHELL 43, который применим для плоских, искривлённых и умеренно толстых пластинчатых структур. Подготовка исходных данных о свойствах материалов конструкции проведена путем выбора из библиотеки программы ANSYS марки стали, из которой изготовлена рама.

В качестве граничных условий при оценке НДС торцевой части рамы пассажирского вагона заданы условия симметрии относительно центральной продольно-вертикальной плоскости и жесткое закрепление сечения рамы вагона со стороны шкворневой балки.

Рассматривались следующие варианты нагружения. Внешние нагрузки моделировались распределенными продольными силами: величиной 2,5 МН, приложенными к заднему упору автосцепки при сжатии (вариант 1); величиной 2,0 МН, действующими на передний упор при растяжении (вариант 2). Также задавались продольные силы величиной 0,5 МН, распределенные по поверхности крепления буферов (вариант 3).

Напряженно-деформированное состояние элементов конструкции торцевой части рамы пассажирского вагона без хребтовой балки при нагружении по варианту 1 показано на рис. 3,а, по варианту 2 – на рис. 3,б. Значения эквивалентных напряжений приведены в МПа.

Согласно рис. 3, максимальные эквивалентные напряжения в торцевой части рамы вагона при нагружении по варианту 1 достигают значения 275,5 МПа, а при нагружении по варианту 2 – значения 218,7 МПа. Полученные максимальные значения эквивалентных напряжений для рассмотренных вариантов нагружения не превышают предел текучести материала конструкции  $\sigma_T = 325$  МПа.

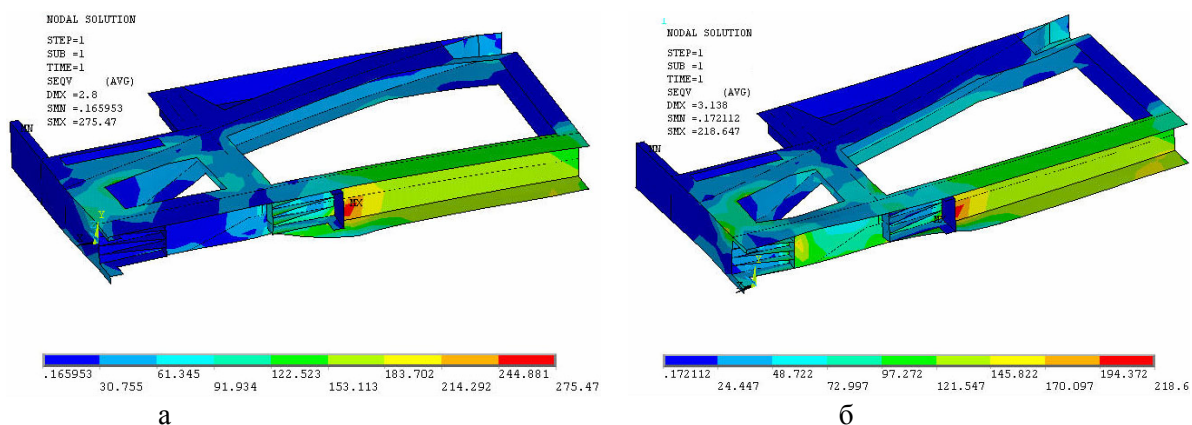


Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние торцевой части рамы вагона:

а – при нагружении по варианту 1;  
б – при нагружении по варианту 2

На рис. 4 показано НДС конструкции торцевой части рамы пассажирского вагона без хребтовой балки при нагрузках согласно варианту 3.

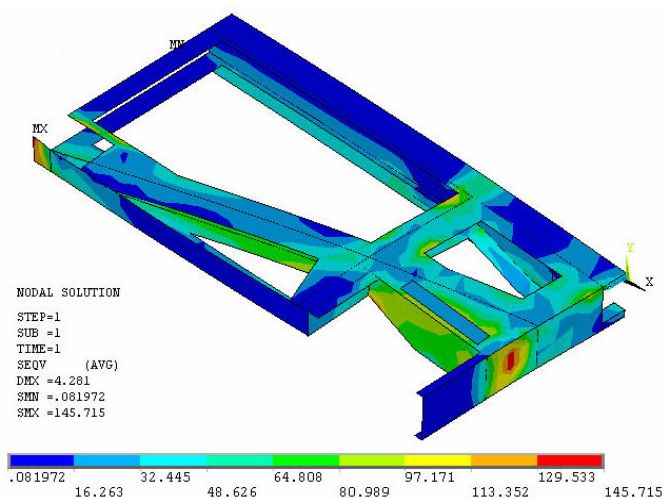


Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние торцевой части рамы вагона при нагружении по варианту 3

В этом случае максимальные эквивалентные напряжения в раме достигают значения 145,7 МПа, которое также ниже  $\sigma_T$ .

Из приведенных результатов расчетов следует, что общий уровень напряжений в элементах рамы пассажирского вагона без хребтовой балки при действии рассмотренных нагрузок ниже предела текучести материала.

Таким образом, разработан алгоритм, позволяющий с помощью системы автоматизированного проектирования SolidWork построить модель, наиболее точно

описывающую сложную геометрию реальной конструкции, а затем путем передачи данных через стандартные форматы обмена данных, например типа IGES, импортировать созданную модель в специализированную программу для дальнейшего анализа ее напряжённо-деформированного состояния с помощью МКЭ. Особенности применения данного алгоритма показаны на примере оценки НДС элементов конструкций торцевой части рамы пассажирского вагона без хребтовой балки при эксплуатационных воздействиях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Прохоренко В.П.* SolidWorks. Практическое руководство. – М.: ООО “Бином-Пресс”, 2004. – 448 с.
2. *Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А.* ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
3. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
4. *Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных).* – М., 1996. – 319 с.

**Поступила 6 августа 2007 г.**