

629.4.023.18

А.М. Высоцкий, В.В. Кобищанов, Д.Я. Антипин, Д.Ю. Расин

## ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ДВУХСЛОЙНОЙ ОБШИВКИ БОКОВЫХ СТЕН ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

На основе разработанных детализированных конечноэлементных моделей исследовано влияние конструктивных особенностей двухслойной обшивки боковой стены пассажирского вагона на ее напряженно-деформированное состояние.

Ключевые слова: пассажирские вагоны, двухслойная обшивка, боковые стены, метод математического моделирования, конечноэлементная модель, напряженно-деформированное состояние, кузов вагона.

В ряде вариантов конструкций кузовов современных пассажирских вагонов в качестве несущей обшивки боковых стен используется двухслойная подкрепленная панель с вырезами. Наружный слой обшивки изготавливается из гладкого листа, к которому с внутренней стороны для обеспечения устойчивости точечной контактной сваркой приваривается гофрированный лист с трапециевидными гофрами, ориентированными вдоль кузова. Технология точечной сварки листов обеспечивает их работу как единого листа. При этом в процессе изготовления двухслойной обшивки возникают технологические трудности при сварке поперечных стыков гофрированных листов, что оказывает влияние на распределение напряжений по сечениям гладкого листа.

Исследовано напряженно-деформированное состояние двухслойной обшивки в зоне поперечных стыков гофрированных листов при их сварке только по плоским участкам вершин гофров, а также при сварке по вершинам и половинкам наклонных участков гофров; оценено влияние нерегулярности конструкции на уровень напряжений по сечениям гладкого листа вблизи стыка гофрированного листа.

Конечноэлементная модель двухслойной обшивки сформирована на основе методики, предложенной в [1;2]. Для гладкого и гофрированного листов сформированы собственные конечноэлементные расчетные схемы, образованные треугольными изотропными пластинчатыми элементами. Пластинчатые элементы работают как в условиях плоского напряженного состояния, так и в условиях изгиба с линейным изменением плоских деформаций между узлами. Соединение листов точечной сваркой учтено введением в соответствующие узлы конечноэлементных расчетных схем стержневых конечных элементов, сопротивляющихся нормальному растяжению-сжатию, изгибам в двух плоскостях и кручению. Параметры стержневых элементов определялись из условия взаимодействия обшивок при их относительном сдвиге в продольном направлении путем сравнения соответствующих деформаций, полученных по уточненной пластинчатой схеме МКЭ и экспериментально.

В качестве объекта исследования на первом этапе рассматривалась панель двухслойной обшивки подоконного пояса боковой стены между стойками, подкрепленной по продольным кромкам подоконным гнутым профилем и обвязкой рамы. Гофрированный лист включает четыре продольных гофра трапециевидной формы. Соединение гладкого листа с гофрированным выполняется точечной контактной сваркой вдоль середин плоских участков. В качестве нагрузки на панель приняты нормальные продольные (вдоль гофров) усилия, приложенные по концевым поперечным сечениям равномерно и приводящие к практически равномерному, преимущественно плоскому растяжению панели.

Результаты расчета в виде эпюр нормальных срединных напряжений  $\sigma_x$  по сечению гладкого листа вдоль точек контактной сварки представлены на рис. 1, по сечению стыка гофрированных листов – на рис. 2, по сечению гофрированного листа в зоне стыка – на рис. 3. Нормальные напряжения приведены для двух вариантов сварки стыка гофрированных листов - по вершинам и половинкам наклонных участков гофров (линии 1 и 2) и только по

вершинам гофров (линии 3, 4), - а также для двух вариантов удаления точки контактной сварки от стыка (линии 1 и 3 – на расстоянии 20 мм, 2 и 4 – на расстоянии 40 мм).

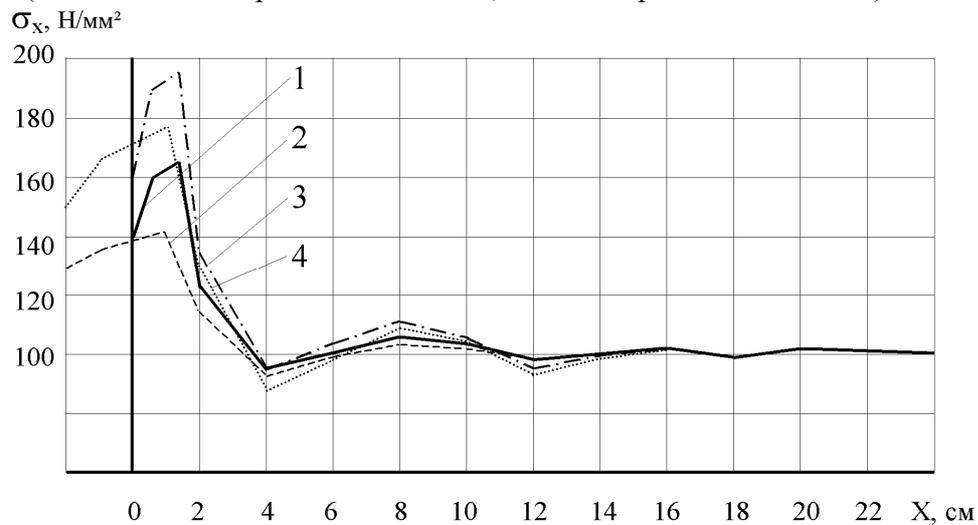


Рис. 1. Эпюры нормальных напряжений  $\sigma_x$  в гладком листе по продольному сечению вдоль точек контактной сварки

Анализ эпюр изменения нормальных напряжений  $\sigma_x$  по продольному сечению гладкого листа вдоль точек контактной сварки (рис.1) показал для исходной конструкции панели превышение постоянного уровня напряжений в 1,40-1,65 раза. Удаление последней точки контактной сварки от стыка на расстояние 40 мм приводит к снижению максимальных нормальных напряжений в гладкой обшивке вблизи стыка на 13%.

Сварка гофрированных листов только по вершинам гофров по сравнению с рассматриваемой конструкцией приводит к увеличению напряжений в гладком листе вблизи стыка гофрированного листа на 16% при исходной схеме расположения точек контактной сварки у стыка и на 7% в схеме с удалением точки контактной сварки от стыка на расстояние 40 мм.

Нормальные напряжения  $\sigma_x$  в поперечном сечении гладкого листа под стыком гофрированного листа (рис. 2) распределяются неравномерно с максимальными значениями в зонах точечной контактной сварки листов. При этом удаление контактных точек от стыка сглаживает эпюры напряжений, снижая их максимальные значения на 9%.

Сварка поперечных стыков гофрированных листов только по вершинам гофров приводит к увеличению максимальных значений напряжений в сечении гладкого листа под стыком гофрированного листа на 12% при удалении контактной точки на расстояние 20 мм от стыка и на 7% при удалении на расстояние 40 мм.

Распределение нормальных напряжений  $\sigma_x$  в гофрированном листе в поперечном сечении по стыку (рис. 3) носит неравномерный характер с максимальными значениями на половинках наклонных участков гофров и снижением их на вершинах.

Удаление последней точки контактной сварки листов от стыка незначительно сглаживает эпюру напряжений и практически не влияет на величины напряжений.

Сварка поперечных стыков гофрированных листов только по вершинам гофров приводит к увеличению напряжений в вершинах гофров на 14% при исходной схеме расположения точек контактной сварки и уменьшению на 1% при расположении точки контактной сварки на расстоянии 40 мм от стыка.

Для оценки влияния рассматриваемых конструктивных особенностей на напряженно-деформированное состояние двухслойной обшивки боковых стен кузова пассажирского вагона разработаны четыре варианта пластинчатой конечноэлементной модели кузова пассажирского вагона модели 61-4170 производства ОАО «Тверской вагоностроительный завод».

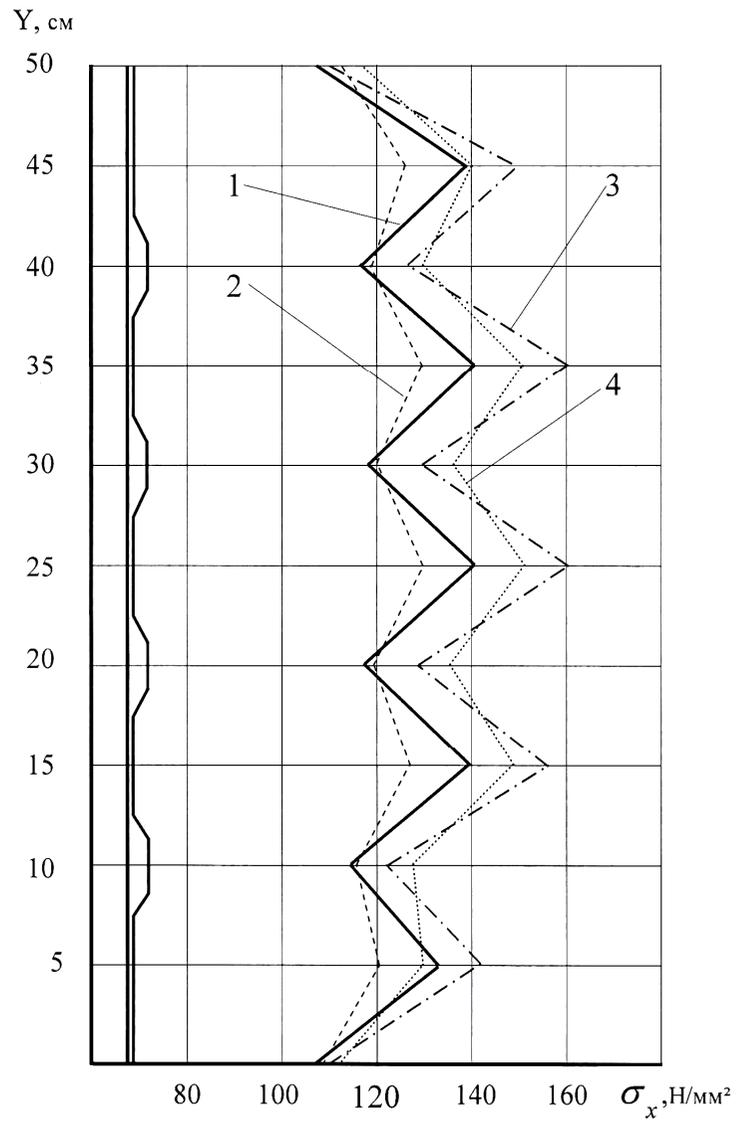


Рис. 2. Эпюры нормальных напряжений  $\sigma_x$  в гладком листе в сечении по стыку гофрированного листа

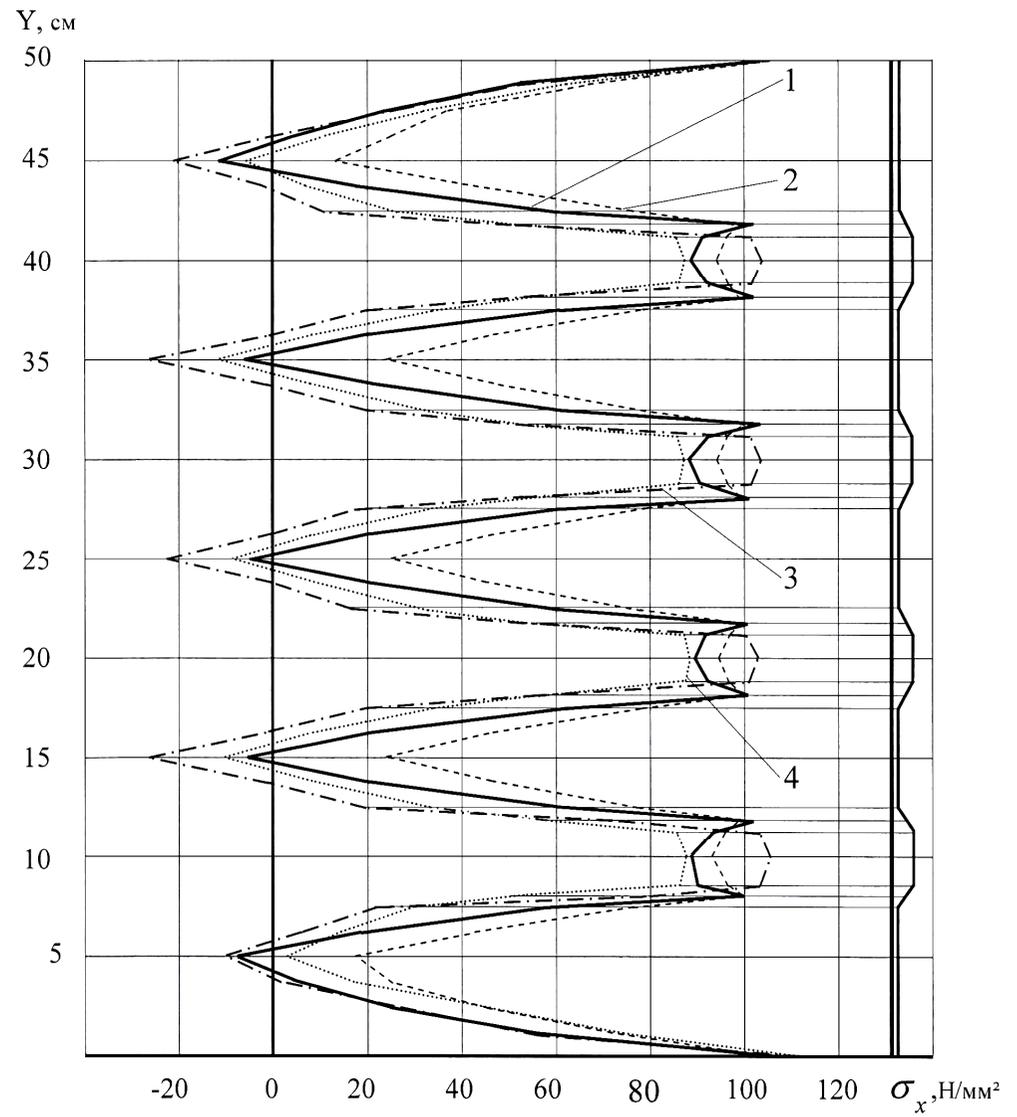


Рис. 3. Эпюры нормальных напряжений  $\sigma_x$  в гофрированном листе в сечении по стыку гофрированной обшивки

Конечноэлементные модели сформированы из 80 тысяч четырехузловых изотропных пластинчатых конечных элементов с характерным размером 50×50 мм (рис. 4).

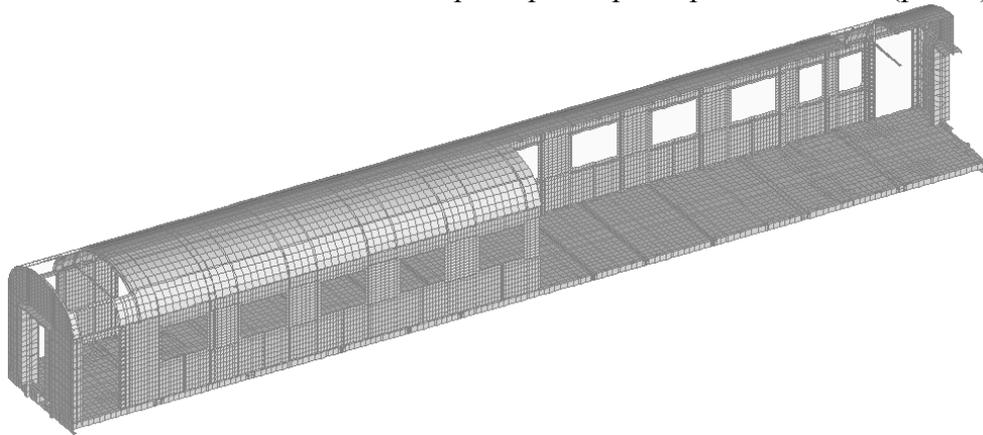


Рис. 4. Детализированная пластинчатая конечноэлементная модель кузова пассажирского вагона

Гофрированная обшивка пола моделировалась 2,5 тысяч четырехузловых ортотропных пластинчатых элементов с параметрами, принятыми в соответствии с [3]. Отличием вариантов конечноэлементной модели кузова является учет описанных конструктивных особенностей двухслойных панелей боковых стен.

Верификация разработанных конечноэлементных моделей кузова выполнена по данным статических стендовых испытаний, проведенных ЗАО «НО «Тверской институт вагоностроения».

Расчет несущей конструкции кузова вагона проводился для сочетания нагрузок, рекомендуемого «Нормами...» [4] для I и III расчетных режимов.

Анализ результатов расчета напряженно-деформированного состояния двухслойной обшивки боковой стены кузова вагона показал, что они хорошо коррелируются с результатами, полученными при исследовании двухслойной панели (рис. 1-3).

Установлено, что стыковое сварное соединение гофрированных листов по вершинам и половинкам наклонных участков гофров с удалением близлежащих точек контактной сварки от стыка на расстояние 40 мм (вместо 20 мм) позволяет повысить несущую способность двухслойной обшивки боковых стен.

Увеличение протяженности стыкового шва по контуру гофра с его вершины на половины наклонных участков снижает максимальные напряжения в сечениях гладкого листа на 12-15%. Удаление точек контактной сварки от стыка на расстояние 40 мм вместо 20 мм снижает максимальные напряжения в сечениях гладкого листа на 6-11%.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ напряженно-деформированного состояния двухслойной обшивки кузова пассажирского вагона в зоне стыка гофров: отчет / БГТУ; рук. темы Кобищанов В.В. – Брянск, 1997. – 24 с.
2. Анализ несущей способности междуоконного простенка кузова пассажирского вагона с двухслойной обшивкой: отчет / БГТУ; рук. темы Кобищанов В.В. – Брянск, 1998. – 28 с.
3. Отчет по теме 97.97.1.11/1 «Проведение работ по созданию пассажирского вагона модели 61-41 70 для скоростей движения до 200 км/ч». – Тверь: ТИВ, 1997.
4. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

Материал поступил в редколлегию 9.12.14.