

УДК 629.4.023.14

С. В. МАКЕЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КУЗОВА ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА, ВЫЗВАННОГО КОРРОЗИОННЫМ ИЗНОСОМ

Рассмотрено напряженно-деформированное состояние кузова пассажирского вагона от действия эксплуатационных нагрузок при номинальных размерах и при фактическом коррозионном износе основных несущих элементов рамы и кузова согласно результатам измерений, проведенных при диагностике.

Диагностика пассажирских вагонов постройки ГДР 1978 года выпуска показала, что трещины и деформации основных несущих элементов практически отсутствуют, а коррозионные повреждения имеют место в локальных зонах, где концентрируется влага (под окнами боковых стен) либо в зонах агрессивных сред (в фигурных листах под фановыми трубами). Причем прямой функциональной зависимости интенсивности коррозионного износа от срока службы вагонов не наблюдается. Эти процессы хотя и связаны со сроком службы вагонов, индивидуальны для каждого вагона, так как зависят от места эксплуатации вагонов, качества нанесения лакокрасочных покрытий при изготовлении, качества ремонта кузовов и, в частности, плотности прилегания оконных рам к оконным проемам кузова.

Для оценки влияния технического состояния кузова на его напряженное состояние после длительной эксплуатации поставлена задача по расчету на статическую прочность:

- при номинальных размерах всех элементов рамы и кузова;
- фактическом коррозионном износе основных несущих элементов рамы и кузова согласно результатам измерений, проведенных при диагностике.

Определение расчетных нагрузок. В соответствии с требованиями [1] кузова пассажирских вагонов рассчитываются на I и III режимы нагружения. Ниже приводится расчет на III режим, как наиболее часто встречающийся в эксплуатации и определяющий возможное усталостное разрушение конструкции. При этом учитывались следующие нагрузки.

Вертикальная статическая нагрузка. В расчетах кузова на прочность учитывались общие нагрузки от массы кузова и пассажиров с багажом, принимаемые в виде равномерно распределенных нагрузок по длине кузова и местных нагрузок от силового оборудования системы кондиционирования

воздуха, принимаемые в виде сосредоточенных сил в местах его установки. В расчет заложена масса вагона 52 т.

Вертикальная статическая сила от массы брутто кузова

$$P_{\text{ст.бр}} = (m_{\text{в}} + n_{\text{п}} m_{\text{п}} - 2m_{\text{т}}) g,$$

где $m_{\text{в}}$ – масса тары вагона, $m_{\text{в}} = 52000$ кг; $n_{\text{п}}$ – расчетная максимальная населенность вагона, $n_{\text{п}} = 38$ чел.; $m_{\text{п}}$ – средняя масса одного пассажира с багажом; $m_{\text{п}} = 0,1$ т; $m_{\text{т}}$ – масса тележки, $m_{\text{т}} = 7200$ кг; g – ускорение свободного падения, принимаем $g = 10$ м/с²;

$$P_{\text{ст.бр}} = (52000 + 38 \cdot 100 - 2 \cdot 7200) \cdot 10 = 414000 \text{ Н.}$$

Вертикальная динамическая сила

$$P_{\text{д}} = P_{\text{ст.бр}} K_{\text{дв}},$$

где $K_{\text{дв}}$ – коэффициент вертикальной динамики.

Среднее значение $\bar{K}_{\text{дв}}$ коэффициента вертикальной динамики

$$K_{\text{дв}} = \frac{\bar{K}_{\text{дв}}}{\beta} \sqrt{\frac{\pi}{4} \ln \frac{1}{1 - P(\bar{K}_{\text{дв}})}},$$

где β – параметр функции распределения, для пассажирских вагонов $\beta = 1,0$;

$P(\bar{K}_{\text{дв}})$ – доверительная вероятность, $P(K_{\text{д}}) = 0,97$.

$$\bar{K}_{\text{дв}} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} b \frac{v - 15}{f_{\text{ст}}} \quad \text{при } v > 15 \text{ м/с (55 км/ч)},$$

$$\bar{K}_{\text{дв}} = a \frac{v}{15}, \quad \text{при } v < 15 \text{ м/с,}$$

где a – коэффициент, равный 0,05 (для обрессоренных частей кузова);

b – коэффициент, учитывающий влияние числа осей n_0 в тележке,

$$b = (n_0 + 2) / (2n_0);$$

v – скорость движения вагона в соответствии с принятым расчетным режимом, м/с; $f_{\text{ст}}$ – статический прогиб рессорного подвешивания, м.

Скорость движения по п. 2.5 [1] для III расчетного режима – $v = 45$ м/с.

Статический прогиб рессорного подвешивания по п. 7.11 [1] рекомендуется принимать под тарой вагона равным 150–200 мм для скоростей движения до 45 м/с (160 км/ч).

Среднее значение коэффициента вертикальной динамики

$$\bar{K}_{\text{дв}} = 0,05 + 3,6 \cdot 10^{-4} \cdot l \frac{45 - 15}{0,2} = 0,104,$$

а коэффициент вертикальной динамики

$$K_{\text{дв}} = \frac{0,104}{1,0} \sqrt{\frac{4}{\pi} \ln \frac{1}{1 - 0,97}} = 0,22.$$

Тогда вертикальная динамическая сила

$$P_d = 41400 \cdot 0,22 \cdot 10 = 91000 \text{ кг.}$$

Продольная сжимающая сила $T_{ш} = -1$ МН прикладывалась к задним, а растягивающая $T_{ш} = 1$ МН – к передним упорам автосцепного устройства.

В таблице 1 приведены величины и сочетание учитываемых нормативных нагрузок, действующих на кузов вагона при III расчетном режиме.

Таблица 1 – Расчетные нагрузки при III режиме нагружения

Вид нагрузки	Значение, кН
Продольная	± 1000
Вертикальная статическая от массы брутто кузова	414
Вертикальная динамическая	91

Допускаемые напряжения составных частей кузова для III расчетного режима принимаются:

- для хребтовой и шкворневой балок кузова $[\sigma] = 155$ МПа;
- остальных элементов кузова $[\sigma] = 165$ МПа.

Расчет напряжений в кузове пассажирского вагона № 013/10127 (постройки ГДР 1978 г.) от эксплуатационных нагрузок по результатам диагностики, выполненной 04.04.2009 г.

Кузов выполнен цельнометаллическим, сварным, несущей конструкции. Для создания конечно-элементной модели использовались три типа конечных элементов (рисунки 1 и 2): плоские пластинчатые 3- и 4-угольные (стены обшивки и балки) и стержневые (дуга крыши). Параметры расчетной модели следующие: количество узлов – 92557, число конечных элементов – 97554.

Напряжения оценивались для двух случаев:

- при номинальных размерах всех элементов (вариант 1);
- по физическому состоянию (вариант 2).

Прочностной расчет позволил получить значения напряжений для всех конечных элементов металлоконструкции кузова пассажирского вагона при номинальных размерах всех элементов (рисунки 3 и 4).

Уровень напряжений по всем элементам для случая номинальных размеров в основном не превышает 137 МПа (88 % от допускаемых напряжений). Наибольшие эквивалентные напряжения наблюдаются на верхнем поясе хребтовой балки, а также в областях упоров автосцепки, шкворневых балок, нижних обвязок боковых стен, а также локально на фигурных листах.

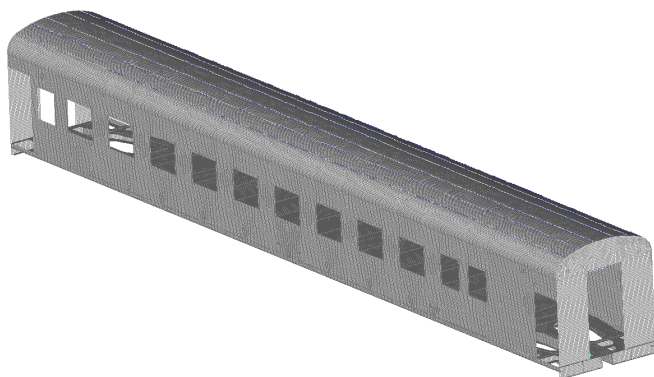


Рисунок 1 – Конечно-элементная модель кузова пассажирского вагона (общий вид)

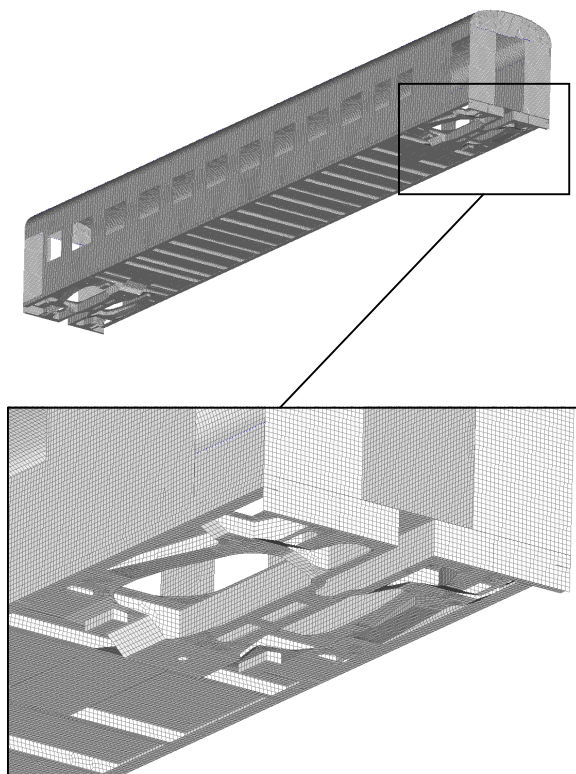


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель кузова пассажирского вагона (вид снизу)

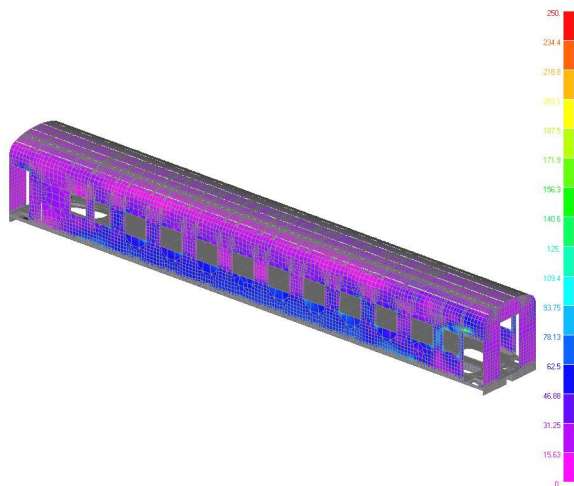


Рисунок 3 – Распределение напряжений в кузове пассажирского вагона при номинальных размерах элементов (общий вид)

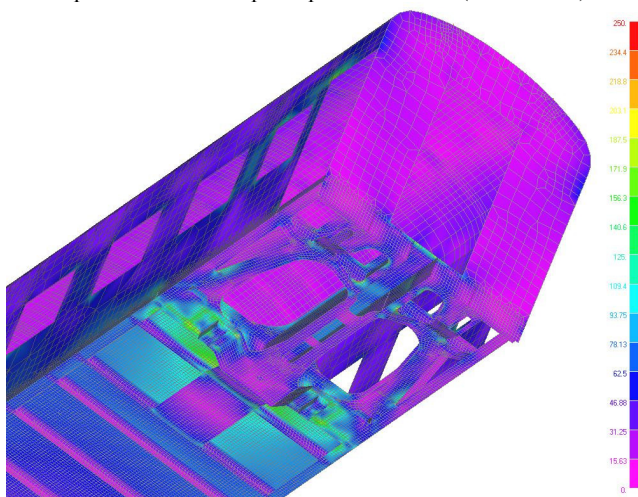


Рисунок 4 – Распределение напряжений в кузове пассажирского вагона при номинальных размерах элементов (вид снизу)

Результаты прочностного расчета для второго случая оценки напряжений в конструктивных элементах пассажирского вагона, когда в расчетной схеме учитывались фактические размеры основных несущих элементов рамы, стоек и обшивки в нижних зонах (от пола до оконных проемов), представлены на рисунках 5 и 6.

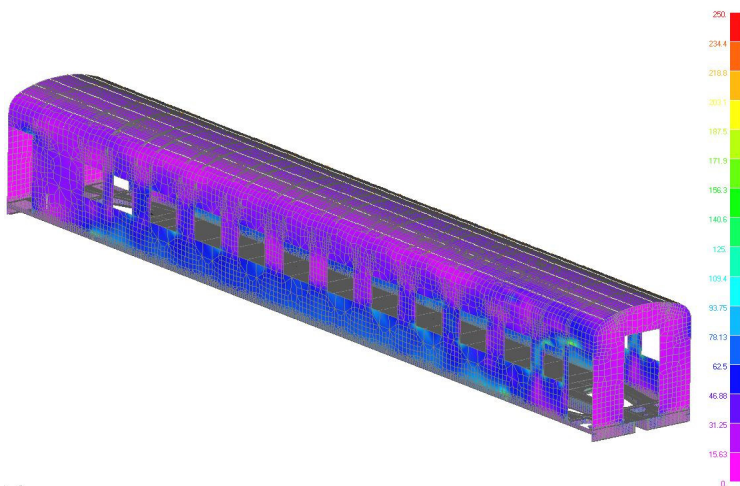


Рисунок 5 – Напряжения в кузове пассажирского вагона при фактических размерах основных несущих элементов после длительной эксплуатации (общий вид)

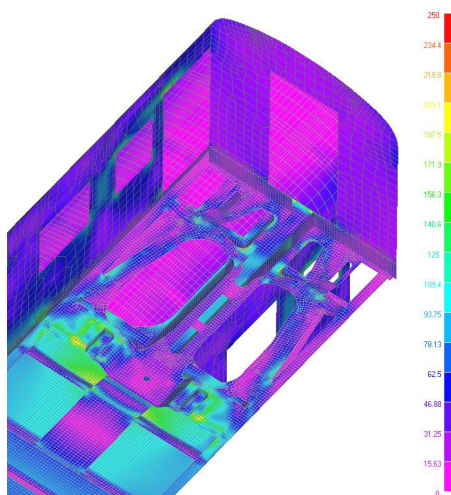


Рисунок 6 – Напряжения в кузове пассажирского вагона при фактических размерах основных несущих элементов после длительной эксплуатации (вид снизу)

Результаты расчета показывают, что уровень напряжений в исследуемых конструктивных группах не превышает 152 МПа. Высокие эквивалентные напряжения также наблюдаются на верхнем поясе хребтовой балки, в районах упоров автосцепки, шкворневых балках, нижних обвязок боковых стен, а также локально на фигурных листах. Наиболее нагруженной частью оста-

ется шкворневая балка по нижнему горизонтальному листу. Результаты сравнения эквивалентных напряжений по основным конструктивным элементам кузова пассажирского вагона для двух расчетных случаев приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения напряжений по конструктивным группам металлоконструкции

Наименование конструктивной группы	Расчетные эквивалентные напряжения, МПа		Допускаемые напряжения, МПа
	вариант № 1	вариант № 2	
Хребтовая балка	71	81	155
Шкворневая балка	137	152	
Фигурный лист (в месте фановой трубы)	54	58	
Стойки боковой стены	35	42	165
Обшивка боковой стены (2,5 мм)	48	53,7	

Особое внимание было уделено прочности фигурного листа вместе установки фановой трубы, где происходит интенсивная локальная коррозия, достигающая до 50 %-ный от номинальной толщины. Напряжения в новой конструкции (вариант № 1) довольно низкие и не превышают 54 МПа. Расчет кузова пассажирского вагона при фактических размерах основных несущих элементов после длительной эксплуатации (вариант № 2) показал незначительное увеличение напряжений в указанной зоне с 54 до 58 МПа.

Промоделирован также 50 % локальный коррозионный износ фигурного листа размером 500×100 мм в месте фановой трубы. Расчет показал перераспределение напряжений по листу. Они возросли на 70 % (до 90 МПа) по сравнению с напряжениями при номинальных размерах, но остались значительно меньшими допускаемых.

Таким образом, расчеты на прочность кузова пассажирского вагона постройки ГДР показали:

- при номинальных размерах элементов рамы и кузова вагона эквивалентные напряжения по всей конструкции в целом не превышают 40 % от допускаемых, причем наибольшие напряжения возникают в нижних горизонтальных листах шкворневых балок рамы и составляют 137 МПа (88 % от допускаемых);

- фактических размерах основных несущих элементов вагона эквивалентные напряжения в шкворневой балке возрастают на 12 %, в стойках боковых стен (в нижних зонах) – на 17 %, а в нижних поясах обшивки – на 10 %, в стойках и обшивке кузова – до 40 % и не превышают допускаемых. В фигурном листе напряжения практически не меняются (возрастают на 7 %), но при локальном износе фигурного листа до 50 % номинальной толщины на

площади до 500 см² их рост может составить 70 % (с 48 до 90 МПа), но они не превышают допускаемых 155 МПа.

Вывод. При длительной эксплуатации потеря несущей способности рамы вагона не превышает 12 % от исходного состояния, а кузова по нижнему поясу – 35 %, и напряжения не выходят за пределы допускаемых значений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колес 1520 мм (несамоходных).** – М. : ГОСВНИИВ–ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

S. V. MAKEYEV

SIMULATION OF STRAINED CONDITION FOR RAILWAY PASSENGER CARRIAGE BODY CAUSED BY CORROSIVE WEAR

There is considered the stress-strain condition for passenger carriage because of working load effects under nominal dimensions and net corrosive wear of main load-bearing elements of the frame and body according to the results of measurements performed at diagnosis.

Получено 29.03.2010

**ISBN 978-985-468-924-1. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 5. Гомель, 2011**

УДК 532.5

М. Г. МЕЛКОЗЕРОВ, А. В. ДЕЛКОВ, А. А. ХОДЕНКОВ

*Сибирский государственный аэрокосмический университет,
имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, Россия*

К ВОПРОСУ ОБ АНАЛИЗЕ ТЕЧЕНИЯ ДВУХФАЗНЫХ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ ПОТОКОВ

Рассмотрены основные методы анализа двухфазных газожидкостных потоков, описана разработанная авторами модель гетерогенного течения двухфазного закрученного потока, оценены результаты исследований.

С двухфазными течениями приходится сталкиваться практически во всех областях техники (например, в трубчатых испарителях, реакторах с кипящей водой, системах продувки котлов, нагревателях, кипятильниках, газлифтных насосах, нефтяных и геотермальных скважинах, нефте- и газопроводах, рефрижераторах, технологических трубопроводах, конденсаторах и т. д.).

Такие потоки всегда имеют не только фиксированные внешние границы (стенки каналов, поверхности обтекаемых тел), но и внутренние поверхно-