

Расчеты соударения со скользящим грузом показали, что при соударении на силовой характеристике (рисунок 2) видны две области колебаний силы: первая означает конец скольжения груза и остановка его растяжками, вторая – в конце удара при максимальных силах и нулевых скоростях. Проскальзывание груза существенно изменяет параметры удара (ход аппарата, силу, длительность) и приводит к значительному увеличению количества ударных нагружений несущих элементов. Значения напряжений при прямом динамическом расчете оказались выше, чем при нормативном квазистатическом.

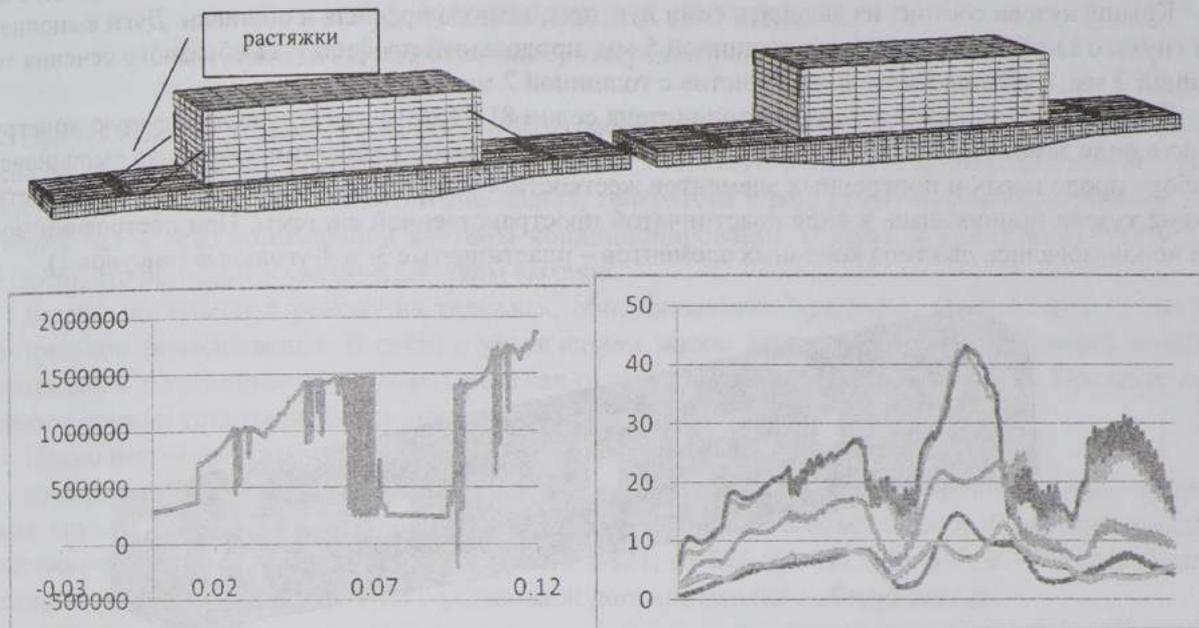


Рисунок 2 – Модель соударения со скользящим грузом (вверху) и результаты расчета: сила (Н) на аппарате (слева), напряжения (МПа) в точках хребтовой балки (справа)

УДК 629.463.2

## ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОЙ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ КУЗОВОВ ВАГОНОВ МЕТРОПОЛИТЕНА СЕРИИ 81-717/714

А. В. ПИГУНОВ, П. М. АФАНАСЬКОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Вагон метрополитена имеет цельнометаллическую конструкцию с восьмью раздвижными двухстворчатыми дверями. Рама кузова состоит из двух хребтовых балок (расположенных в консольных частях вагона), двух боковых, двух концевых, двух шкворневых, тринадцати поперечных и восьми продольных балок. Хребтовая балка сварена из двух швеллеров № 18. Боковые балки выполнены из швеллеров № 18. Концевые балки – сварные, гнутые П-образного сечения и сварены из швеллера и листов толщиной 5 мм. Шкворневые балки также сварные коробчатого сечения. Каждая состоит из двух вертикальных листов толщиной 8 мм, в которых предусмотрены отверстия, верхнего и нижнего горизонтальных листов толщиной 8 мм. Поперечные балки изготовлены из гнутого П-образного профиля толщиной 6 мм, в них предусмотрены отверстия.

Боковая стена имеет каркас и обшивку. Каркас стены включает в себя верхнюю обвязку, восемнадцать стоек, четыре подоконные полустойки и над- и подоконные горизонтальные элементы. Верхняя обвязка выполнена из гнутого профиля, стойки оконные – Z-образного сечения толщиной 3 мм, стойки дверные – Ω-образного сечения толщиной 3 мм, подоконные полустойки и над- и подоконные горизонтальные элементы – Z-образного сечения толщиной 3 мм. Обшивка стен изготовлена из листов толщиной 2 мм.

Торцевая стена состоит из каркаса и металлической обшивки, каркас торцевой стены промежуточного вагона – из четырех вертикальных стоек и двух горизонтальных усиливающих поясов. Бо-

ковые стойки – П-образного сечения толщиной 3 мм, стойки дверные –  $\Omega$ -образного сечения толщиной 3 мм, горизонтальные усиливающие пояса – Z-образного сечения толщиной 3 мм. Каркас торцевой стены головного вагона со стороны машиниста состоит из четырех вертикальных стоек и трех горизонтальных усиливающих поясов. Боковые стойки –  $\Omega$ -образного сечения толщиной 3 мм, центральные стойки – T-образного сечения толщиной 3 мм, горизонтальные усиливающие пояса – T-образного сечения толщиной 3 мм. Металлическая обшивка выполнена из листов толщиной 2 мм.

Крыша кузова состоит из двадцати семи дуг, продольного профиля и обшивки. Дуги выполнены из гнутого  $\Omega$ -образного профиля толщиной 5 мм, продольный профиль –  $\Omega$ -образного сечения толщиной 3 мм, а обшивка крыши – из листов с толщиной 2 мм.

Таким образом, кузов вагона метрополитена серии 81-717/714 имеет цельнонесущую конструкцию в виде замкнутой подкрепленной тонколистовой оболочки с вырезами. Оболочка выполнена из набора продольных и поперечных элементов жесткости, связанных с обшивкой. Поэтому расчетная схема кузова принималась в виде пластинчатой пространственной системы. При построении модели использовались два типа конечных элементов – пластинчатые 3- и 4-угольные (рисунок 1).

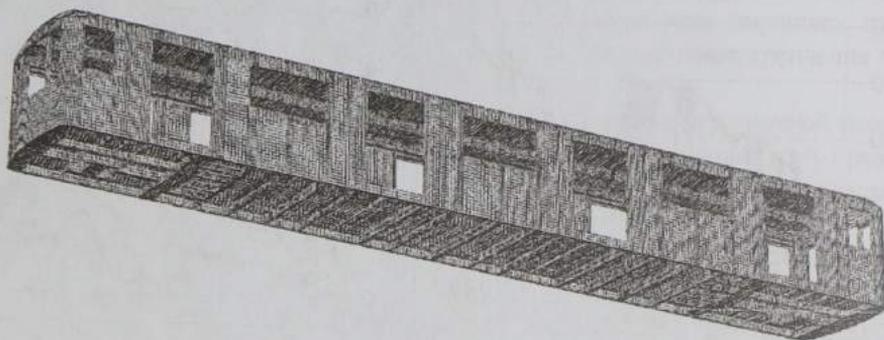


Рисунок 1 – Расчетная конечно-элементная модель

Разработанная модель предназначена для оценки несущей способности кузова и построена для кузова в целом с учетом возможности приложения любого сочетания и вида эксплуатационных нагрузок. Она с достаточной точностью аппроксимирует металлоконструкцию кузова универсального крытого вагона. Параметры расчетной модели следующие: количество узлов головного вагона – 201942, количество конечных элементов головного вагона – 192309, количество узлов промежуточного вагона – 201526, количество конечных элементов промежуточного вагона – 192614.

Кинематические граничные условия включают в себя ограничение степеней свободы в местах крепления упоров сцепного устройства, пятников и скользунов.

Сотрудниками ОНИЛ «ТТОРЕПС» было произведено техническое диагностирование 60 вагонов серии 81-717/714. Диагностирование производилось визуально (с занесением результатов в диагностические карты) и с использованием ультразвуковой толщинометрии. Техническое диагностирование вагонов метрополитена выявило следующие дефектные зоны и узлы:

- зона крепления сцепного устройства на хребтовой балке;
- вертикальные листы шкворневой балки по границам отверстий;
- кронштейны крепления подвески автосцепки;
- вертикальные стенки продольных балок за шкворневой балкой.

В общем случае оценку прочности конструкции и узлов вагонов метрополитена на стадии проектирования в соответствии с «Нормами для проектирования, расчета и оценки прочности и динамики механической части вагонов метрополитена колеи 1520 мм» 2010 г., выполняют: для I режима – по допускаемым напряжениям; для II режима – по допускаемым напряжениям и коэффициентам запаса сопротивления усталости.

Была проведена серия расчетов на нагрузки, соответствующие I и II режимам нагружения при растяжении и сжатии конструкции кузова вагона. Детальный и поэлементный анализ напряженно-деформированного состояния кузова вагона метрополитена серии 81-717/714 позволил выявить зоны и элементы с повышенным уровнем напряжений. К таким узлам и элементам можно отнести: зону крепления сцепного устройства на хребтовой балке, вертикальные листы шкворневой балки по границам отверстий и вертикальные стенки продольных балок за шкворневой балкой.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что данные расчета подтверждаются.