

УДК 629.4.023.14

А. В. ПИГУНОВ¹, П. М. АФАНАСЬКОВ¹, С. В. ШЕСТАКОВ²

¹Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

²Белорусский автомобильный завод, Жодино, Беларусь

УСИЛЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ КУЗОВА ВАГОНА-ХОППЕРА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ЦЕМЕНТА

Разработан вариант усиления конструкции вагона-хоппера для перевозки цемента. Выполнены прочностные расчеты, позволившие определить уровень напряжений для всех конструктивных групп металлоконструкции кузова вагона.

Вагоны-хопперы получили широкое распространение, как на территории Беларуси, так и за рубежом [1, 2]. В вагонах данного типа перевозятся разнообразные виды грузов: цемент, зерно, минеральные удобрения и др.

По результатам эксплуатации вагонов-хопперов для перевозки цемента были выявлены повреждения металлоконструкции кузова в виде разрушения сварочного шва в зоне соединения основной поперечной балки и вертикальной стойки торцевой стены (рисунок 1). Такого рода повреждения являются нетипичными для вагонов этого типа, но данный вопрос плохо освещен в литературных источниках.



Рисунок 1 – Повреждения узла соединения стойки и основной поперечной балки торцевой стены

Для снижения уровня напряжений в данном узле ОАО «БЕЛАЗ» разработан вариант усиления повреждаемого узла конструкции кузова вагона. Он предполагает дополнительную установку в местах соединения крайней вертикальной и средней наклонной стоек с поперечной балкой наклонной торцевой стены следующих элементов: гнутых швеллеров, накладок трапецие-

видной формы, горизонтальной подкладки под вертикальную стойку, вертикального ребра между верхним и нижним листами шкворневой балки и заглушки на швеллер вертикальной стойки. Также предусматривается установка уголка с размерами 180×50×8 (сталь 09Г2С, класс прочности 345), который приваривается снизу к поперечной балке торцевой стены и попарно связывает вертикальные и наклонные стойки, а также косынки (сталь 09Г2С, толщина 8 мм) для снижения уровня напряжений в месте соединения вертикальной стойки с верхним листом шкворневой балки (рисунок 2).

Оценка несущей способности вагонов является одним из этапов разработки новых конструкций вагонов, позволяющим на стадии проектирования разработать рациональную металлоконструкцию удовлетворяющую современным требованиям прочности при заданной массе тары и грузоподъемности. Вместе с тем для принятия обоснованных решений о варианте восстановления и продления жизненного цикла вагона также необходима информация об остаточной несущей способности конструкции. Для этого целесообразно разработать расчетные пространственные конечноэлементные модели [3, 4]. Цель представленной работы – анализ напряженно-деформированного состояния модернизированной конструкции.

Оценку прочности узла соединения стоек с поперечной балкой торцевой стены с учетом усиливающих элементов производят на основе анализа всей системы несущего кузова. Комплекс прочностных расчетов выполнялся в соответствии с требованиями «Норм ...» [5].

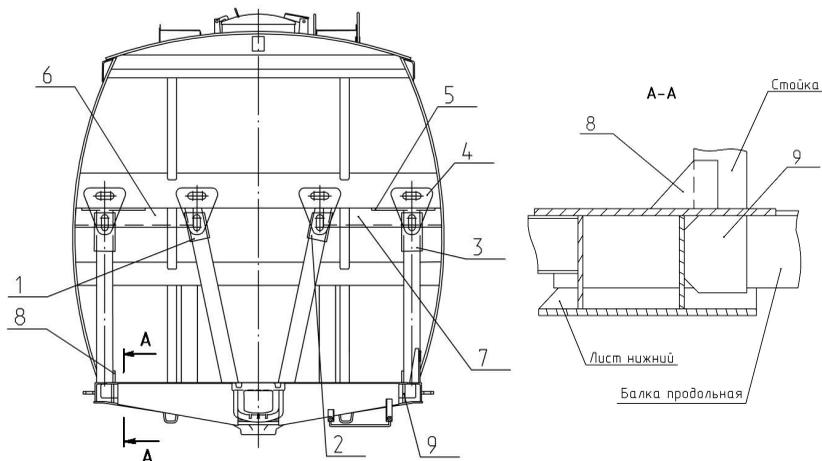


Рисунок 2 – Расположение усиливающих элементов:

- 1, 2 – швеллер; 3 – накладка; 4 – накладка; 5 – пластина; 6, 7 – усилитель (дополнительно по результатам предварительного расчета); 8 – пластина (дополнительно по результатам предварительного расчета); 9 – усилитель

Для выполнения расчетов на прочность несущей металлоконструкции вагона была разработана конечноэлементная модель на основе использования конструкторской документации. При составлении расчетной модели использовались два типа конечных элементов: плоские пластинчатые 3- и 4-угольные (рисунок 3).

Разработанная модель предназначена для оценки несущей способности кузова вагона-хоппера и построена для кузова в целом с учетом возможности приложения любого сочетания и вида эксплуатационных нагрузок. Она с достаточной точностью аппроксимирует металлоконструкцию кузова вагона-хоппера для перевозки цемента. Параметры расчетной модели следующие: количество узлов – 57193, количество конечных элементов – 58377. Кинематические граничные условия включают в себя ограничение степеней свободы в местах крепления упоров автосцепного устройства и пятников.

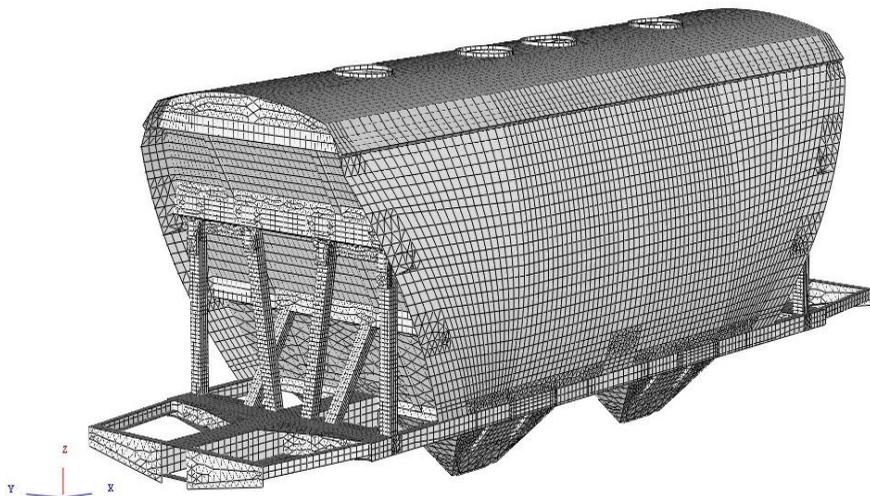


Рисунок 3 – Конечноэлементная модель кузова вагона-хоппера с усиливающими элементами

«Нормами...» [5] для оценки прочности конструкции кузова вагона предусмотрены два расчетных режима I и III. Первый расчетный режим предусматривает приложение к конструкции продольной сжимающей (растягивающей) силы $T = -2$ МН ($T = 2,5$ МН) в местах расположения задних (передних) упоров автосцепного устройства. Учитывается нагрузка от собственной массы рамы и массы перевозимого груза. В месте с тем учитываются силы, возникающие при прохождении вагоном кривых участков пути. Они прикладываются в местах пятников и упоров автосцепки в горизонтальной плоскости.

При третьем расчетном режиме величина продольной силы уменьшена и составляет $T = \pm 1$ МН, а полезная нагрузка и собственный вес увеличиваются на величину вертикальной динамической составляющей.

После проведения расчета были получены значения напряжений во всех элементах усовершенствованной металлоконструкции кузова вагона-хоппера для перевозки цемента.

В таблице 1 представлены данные, отображающие величину максимальных напряжений в металлоконструкции кузова вагона, при сочетании нагрузок, соответствующих I расчетному режиму, по конструктивным группам.

Таблица 1 – Значения максимальных напряжений по конструктивным группам металлоконструкции кузова (I режим)

Наименование конструктивной группы	Расчётные эквивалентные напряжения при растяжении, МПа	Расчётные эквивалентные напряжения при сжатии, МПа	Допускаемые напряжения, МПа
Хребтовая балка	172,58	204,75	292,50
Шкворневая балка	149,18	172,58	292,50
Концевая балка	67,82	89,39	308,25
Боковая стена	183,54	170,43	327,75
Обшивка торцевой стены	206,48	209,76	327,75
Стойка вертикальная торцевой стены	151,34	162,55	280,25
Стойка наклонная торцевой стены	92,48	154,14	280,25
Усиливающие швеллеры	95,05	81,94	327,75
Подкладка	83,23	83,23	308,25
Накладки	137,66	124,55	327,75
Усиливающий уголок	209,76	213,04	327,75
Ребра жесткости	193,37	167,15	327,75

Из данных, приведенных в таблице 1, видно, что наибольшие напряжения возникают в элементах хребтовой балки при сжатии – 70 % от допускаемого значения (рисунок 4). В элементах торцевой стены наиболее напряженным является усиливающий уголок, эквивалентные напряжения в нем достигают 213 МПа. В шкворневой балке наибольшие напряжения составляют 172,6 МПа при сжатии, а при растяжении – 148,2 МПа. Максимальные напряжения в боковой балке возникают при растяжении и составляют 56 % от допускаемых. Уровень напряжений в стойках торцевой стены не превышает 58 % от допускаемых. В элементах усиления эквивалентные напряжения составляют от 81,9 до 216,0 МПа.

В таблице 2 представлены данные, отображающие величину максимальных напряжений в металлоконструкции кузова вагона-хоппера при сочетании нагрузок соответствующих III расчетному режиму.

Анализ приведенных результатов показывает, что наибольшие напряжения наблюдаются в ребрах жёсткости (рисунок 5) 217,8 МПа при растяжении и 215,6 МПа при сжатии. В вертикальных стойках торцевой стены максимальные напряжения возникают в зонах соединения с усиливающим уголком и шкворневой балкой, значения напряжений не превышают 193,05 МПа. Также напряженными участками стойки являются зона ее соединения с усиливающим уголком и место установки усиливающей накладке. В усиливающих элементах торцевой стены максимальные напряжения возникают в усиливающем уголке и трапецевидной накладке, уровень напряжений находится в пределах 167,2–187,0 МПа.

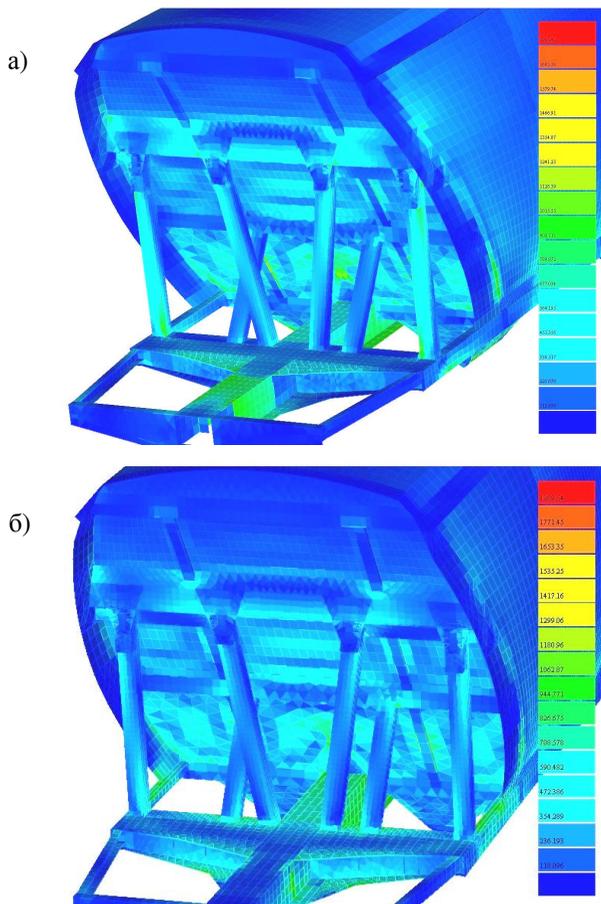


Рисунок 4 – Распределение напряжений в кузове вагона при I режиме нагружения: *а* – растяжение; *б* – сжатие

Таблица 2 – Значения максимальных напряжений по конструктивным группам металлоконструкции кузова (III режим)

Наименование конструктивной группы	Расчётные эквивалентные напряжения при растяжении, МПа	Расчётные эквивалентные напряжения при сжатии, МПа	Допускаемые напряжения, МПа
Хребтовая балка	142,35	148,20	195,00
Шкворневая балка	128,70	146,25	195,00
Концевая балка	22,55	51,25	205,00
Боковая стена	184,80	184,80	220,00
Обшивка торцевой стены	211,20	213,40	220,00
Стойка вертикальная торцевой стены	193,05	193,05	195,00
Стойка наклонная торцевой стены	117,00	152,10	195,00
Усиливающие швеллеры	114,40	107,80	220,00
Подкладка	106,60	104,55	205,00
Накладки	176,00	167,20	220,00
Усиливающий уголок	184,80	187,00	220,00
Ребра жесткости	217,80	215,60	220,00

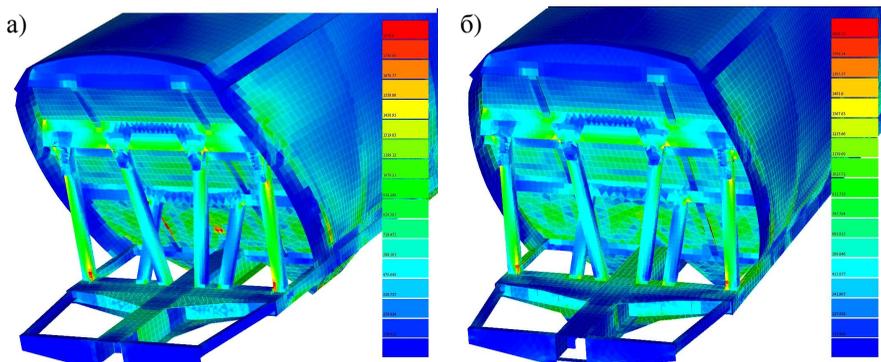


Рисунок 5 – Распределение напряжений в кузове (III режим):
а – растяжение; *б* – сжатие

Наибольший уровень напряжений при действии нагрузок, возникающих при соударении, наблюдается в элементах боковой балки рамы, их значения не превышают 321,75 МПа. Также высокий уровень напряжений наблюдается в узле сочленения боковой балки с вертикальной стойкой торцевой стены (рисунок б). В обшивке торцевой стены напряжения достигают 96 % от допускаемых значений. В элементах шкворневой балки максимум составляет 331,2 МПа.

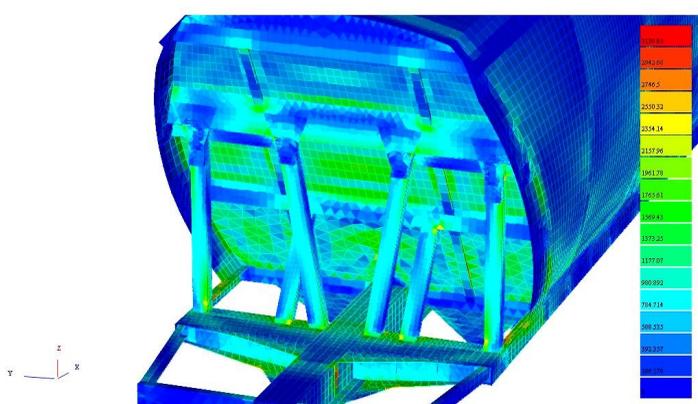


Рисунок 6 – Распределение напряжений в кузове при соударении

Анализируя полученные данные расчета, можно сделать вывод о том, что усиливающие элементы снизили уровень напряжений в зоне соединения основной поперечной балки и вертикальной стойки торцевой стены. Теперь эквивалентные напряжения в конструкции не превышают допусковых значений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Пастухов, И. Ф. Конструкция вагонов: учеб. пособие / И. Ф. Пастухов, В. В. Пигунов, Р. О. Кошкалда. – М. : Желдориздат, 2000. – 497 с.

2 **The complete book of North American Railroading** / К. EuDaly [et al.]. – Minneapolis: Voyageur Press, 2009. – 352 p.

3 Кобищанов, В. В. Расчет кузовов вагонов на прочность: учеб. пособие / В. В. Кобищанов. – Брянск : БИТМ, 1987. – 80 с.

4 **Конструктивные решения по снижению металлоемкости конструкции универсального крытого вагона с увеличенным объемом кузова** / А. В. Пигунов [и др.] // Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки: междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2013. – Вып. 7. – С. 103–109.

5 **Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колес 1520 мм (несамоходных)** / ГосНИИВ-ВНИИЖТ. – М., 1996. – 319 с.

A. V. PIGUNOV¹, P. M. AFANAS'KOV¹, S. V. SHESTAKOV²

¹Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

²Belarusian Autoworks, Zhodino, Belarus

CAR BODY CONSTRUCTION REINFORCEMENT OF THE HOPPERS FOR CEMENT TRANSPORTATION

A variant of the car body reinforcement for hopper transporting cement is developed. There were performed strength calculations, allowed to determine the stress levels for all constructive metal groups of the car body.

Получено 05.11.2015