

УДК 629.4.023

К.В. Герасимов, В.В. Кобищанов, Д.Ю. Расин

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КУЗОВА ПОЛУВАГОНА С ЛЮКАМИ ПРИ ПАДЕНИИ В НЕГО ГЛЫБЫ ГРУЗА

Исследована нагруженность кузова полувагона с люками при падении в него глыбы груза. Для анализа картины напряженно-деформированного состояния кузова определены значения коэффициентов динамики и динамические напряжения, возникающие при падении глыбы.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, коэффициент динамики, динамические напряжения, нагруженность кузова, предел текучести.

Сохранность грузового вагонного парка – важная задача любой транспортной компании. Согласно публикации [1], число повреждений полувагонов доходит до 30%. В результате увеличивается количество деповских и капитальных ремонтов за срок службы вагонов. Большую долю в повреждениях полувагонов занимают трещины, являющиеся результатом погрузочных работ с кусковым и смерзшимся грузом.

Вопросы проведения и безопасности погрузочно-разгрузочных работ рассматриваются в ряде нормативных документов, например в ГОСТ22235-2010 «Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ», «Нормах для расчета и проектирования вагонов железных дорог колеи 1520 мм (несамоходных)». В частности, для эксплуатации полувагонов установлены отдельные требования по погрузке крупнокускового груза, бревен и др. с падением на раму кузова.

Несмотря на обилие нормативных документов и требований к погрузочно-разгрузочным работам, оценка нагруженности кузова полувагона падающим в него крупнокусковым грузом (без подсыпного слоя) является актуальной для принятия проектных решений.

Процесс ударного взаимодействия тел сложен для изучения, на него влияет много различных факторов. Используя теорию сопротивления материалов и методы строительной механики и приняв некоторые допущения (энергией, переходящей в теплоту, пренебрегаем; тела после удара не отдаляются друг от друга), рассматриваем удар как соприкосновение двух тел, при котором одно или оба обладают кинетической энергией[2].

Объектом исследования является кузов полувагона с люками в раме и глухими торцевыми стенами. Расчетная модель имеет граничные условия, соответствующие опиранию кузова полувагона на тележки (рис. 1).

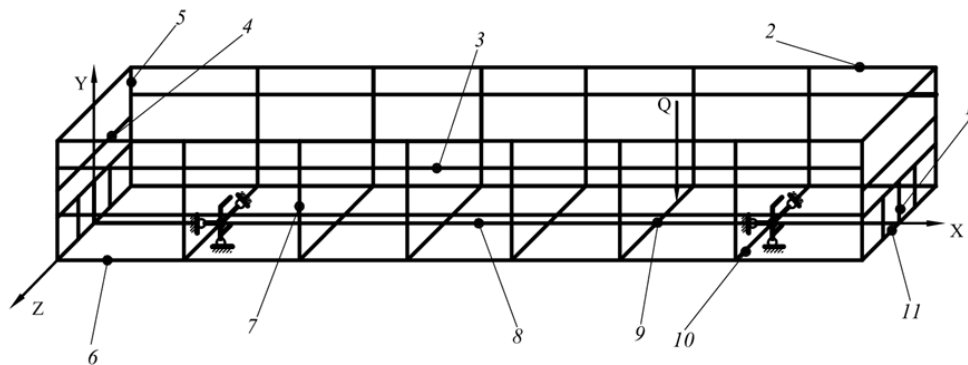


Рис. 1. Расчетная схема: 1 - полустойка; 2 - верхняя обвязка; 3 – гофр; 4 - подкрепляющий пояс; 5 – угловая стойка; 6 - нижняя обвязка; 7 промежуточная стойка; 8 – хребтовая балка; 9 – промежуточная балка; 10 – шкворневая балка; 11- концевая балка

Рассматриваются поочередные одиночные удары в шкворневую, две промежуточные и хребтовую балки. Для анализа нагруженности несущей конструкции кузова определяются максимальные нормальные напряжения в сечениях по узлам соединения основных элементов несущей системы кузова полувагона (рис. 2):

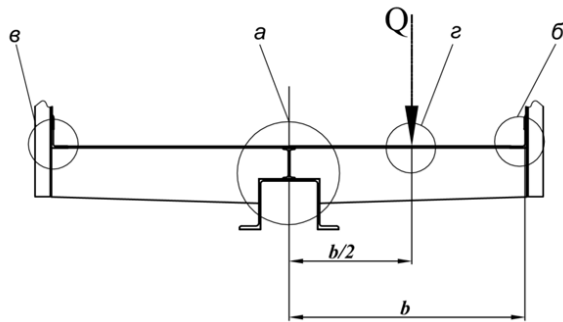


Рис. 2. Схема приложения нагрузки:
b - половина внутренней ширины
кузова полувагона

1) узлам соединения хребтовой балки с балками рамы кузова полувагона (а);

2) узлам соединения нижних обвязок с поперечными балками рамы, промежуточными стойками и угловыми полосами боковых стен, а также угловыми стойками торцевых стен (б и в);

3) узлам рамы, лежащим на отрезке между шкворневыми балками в местах приложения нагрузок при экспериментах (г).

В первом численном эксперименте рассматривается удар падающей глыбой в шкворневую балку. Максимальные напряжения возникают в шкворневом узле и составляют 32

Н/мм², а минимальные - во второй половине кузова (в промежуточных балках и середине кузова) - не более 3 Н/мм².

При этом происходит закручивание кузова относительно его продольной оси в области второй шкворневой балки, а также подпрыгивание вверх концевой части кузова, состоящей из первой концевой и первой шкворневой балок.

Максимальные значения перемещений в области удара и консольной части рамы не превышают 3 мм, а в узле соединения второй шкворневой балки с хребтовой близки к нулю.

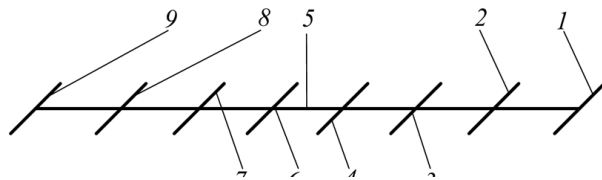


Рис. 3. Схема расположения балок рамы полувагона: 1- первая концевая балка; 2 - первая шкворневая балка; 3 - первая промежуточная балка; 4 - вторая промежуточная балка; 5 - середина хребтовой балки; 6 - третья промежуточная балка; 7 - четвертая промежуточная балка; 8 - вторая шкворневая балка; 9 - вторая концевая балка

Особенностью второго численного эксперимента является рассмотрение удара падающей глыбой в первую промежуточную балку (рис. 3).

На рис. 4 показаны эпюры максимальных нормальных напряжений в сечениях балок рамы: а - напряжения, возникающие в сечениях по узлам соединения хребтовой балки и балок рамы; б - напряжения, возникающие в сечениях по узлам соединения балок рамы со стойками боковой стены, расположенными в ударяемой продольной половине кузова полувагона, в которой приземляется падающая глыба; в - напряжения,

возникающие в сечениях по узлам соединения балок рамы со стойками боковой стены кузова, расположенными в неударяемой продольной половине кузова полувагона; г - напряжения в сечениях по узлам, к которым приложена ударная нагрузка.

Абсциссами на рис. 4 обозначены балки рамы кузова полувагона, расположение которых в конструкции показано на рис. 3.

Как видно, максимальные напряжения возникают в первой промежуточной балке и составляют 364 Н/мм², а минимальные преобладают во второй половине кузова (от поперечной плоскости симметрии кузова до второй шкворневой балки) и не превышают 25 Н/мм², напряжения в концевых балках близки к нулю (рис. 4).

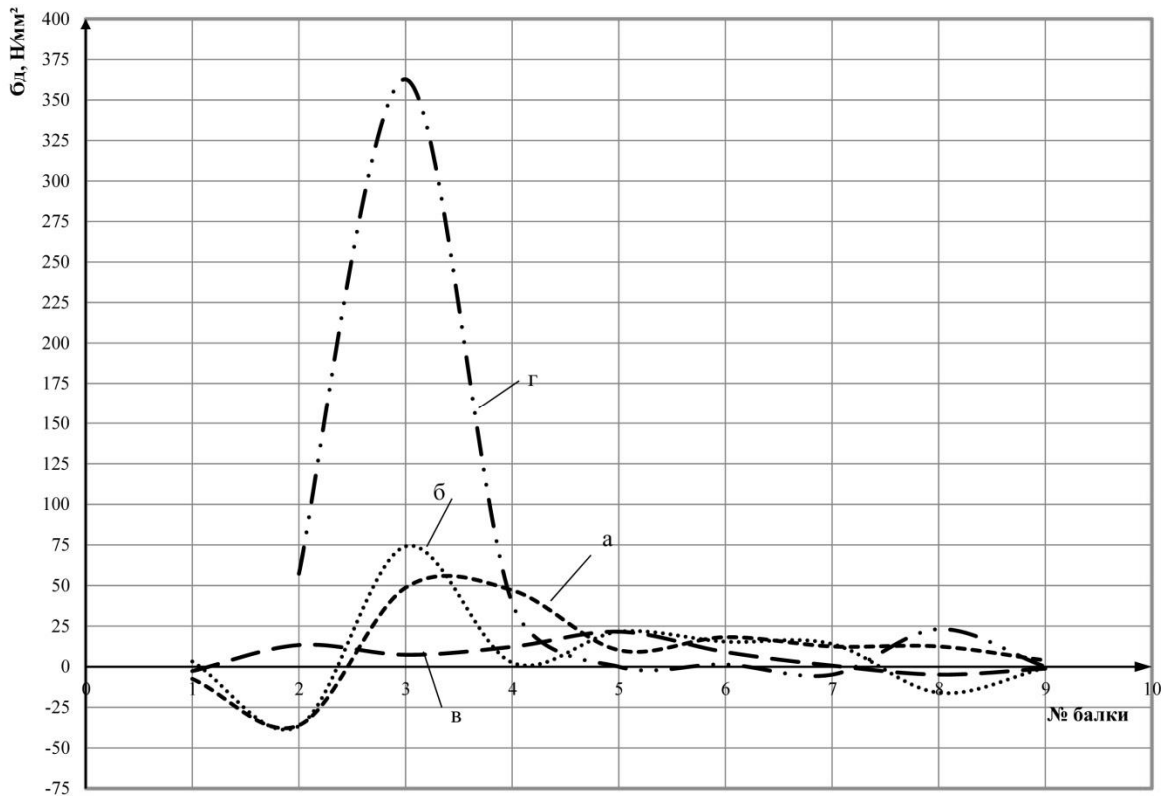


Рис. 4. Эпюры максимальных динамических напряжений при ударе в первую промежуточную балку

Наличие в окрестностях второй шкворневой балки напряжений с разными знаками позволяет предположить закручивание кузова относительно его продольной оси.

Максимальные перемещения в эпицентре удара составляют 5 мм, а в консольной части рамы, состоящей из второй концевой и второй шкворневой балок, близки к нулю.

В третьем численном эксперименте рассматривается удар падающей глыбой по второй промежуточной балке.

Максимальные напряжения в этой промежуточной балке составляют 284 Н/мм^2 ; в сечениях первой и четвертой промежуточных балок значения напряжений совпадают – по 35 Н/мм^2 ; в консольных частях рамы напряжения не превышают 40 Н/мм^2 и уменьшаются в концевых балках до значений, близких к нулю. На длине базы кузова вагона преобладают элементы несущей системы с растянутыми волокнами.

Смена знаков напряжений в хребтовой балке и удаленной от удара нижней обвязке, в областях между первой и второй шкворневыми и первой и четвертой промежуточными балками, дает возможность предположить закручивание концевых частей кузова.

Перемещения во время удара достигают наибольшего значения 4,6 мм во второй промежуточной балке; происходит поворот кузова вагона относительно продольной оси в направлении удара с одновременным проседанием области удара.

В четвертом численном эксперименте рассматривается удар падающей глыбой посередине длины хребтовой балки. Расчеты показали, что максимальные напряжения возникают в двух соседних от узла приложения ударной нагрузки промежуточных балках и составляют 84 Н/мм^2 ; в консольных частях рамы напряжения не превышают 45 Н/мм^2 ; напряжения и перемещения относительно поперечной плоскости симметрии кузова равны.

Наибольшие перемещения наблюдаются в средней части хребтовой балки – 4 мм, перемещения в концевых балках близки к нулю.

Также заметно проседание вниз несущей системы кузова на всей длине базы вагона. В ударяемой плоскости перемещения максимальны в двух соседних от узла приложения ударной нагрузки промежуточных балках рамы.

Полученные результаты свидетельствуют о следующих особенностях протекания ударного процесса при падении глыбы в кузов полувагона с люками.

При ударе в шкворневую балку нормальные напряжения в сечении области удара составляют $8,5 \text{ Н/мм}^2$, а в сечении шкворневого узла - 32 Н/мм^2 . Это более чем на порядок меньше предела текучести стали 09Г2С. Полагаем, что такие результаты связаны с особенностями несущей системы кузова вагона: во-первых, на шкворневой балке расположены элементы опирания и передачи нагрузок на грузовую тележку, во-вторых, шкворневая балка имеет высокую жесткость.

При ударе в первую промежуточную балку нормальные напряжения в сечении балки в области удара составляют 364 Н/мм^2 , что на 12% больше предела текучести стали.

При ударе во вторую промежуточную балку нормальные напряжения в сечении балки в области удара составляют 284 Н/мм^2 , что на 10% меньше предела текучести стали.

При ударе в середину длины хребтовой балки значение нормальных напряжений в сечении балки в области удара - $69,5 \text{ Н/мм}^2$, а в соседних узлах соединения промежуточных и хребтовой балки - $82,5 \text{ Н/мм}^2$, что в 4 раза меньше предела текучести стали.

Для III режима значения нормальных напряжений для элементов кузовов полувагонов, согласно требованиям, не должны превышать 250 Н/мм^2 .

Из изложенного следует, что требования к прочности для промежуточных балок не выполняются. При этом наиболее нагружена первая промежуточная балка, напряжения в которой выше предела текучести материала.

Также при ударе наблюдалось небольшое пропеллеровидное скручивание относительно хребтовой балки кузова полувагона (поднятие противоположных по большей диагонали кузова нижних углов и проседание противоположных углов второй большей диагонали относительно положения равновесия кузова вагона перед ударом). Наиболее заметно скручивание при ударе в первую промежуточную балку.

Во втором и третьем расчетах отчетливо обозначился поворот кузова на длине базы относительно продольной оси в направлении удара.

Динамические перемещения, полученные при четырех расчётах, не превышают 10 мм во всех элементах кузова полувагона.

Исходя из полученных данных, можно предположить, что возможно появление остаточных деформаций в элементах рамы полувагона, но они не будут превышать нескольких миллиметров.

Таким образом, расчеты показали, что показатели нагруженности кузова полувагона с люками на раме выше предусмотренных «Нормами...» и другими нормативными документами.

Поскольку в эксплуатации значительную долю составляют полувагоны с глухим кузовом, у которых геометрические характеристики элементов рамы меньше, можно предположить, что динамические напряжения и перемещения могут быть выше рассматриваемых в данном исследовании. Поэтому необходимо искать конструкционные способы обеспечения сохранности кузовов таких полувагонов при загрузке глыб груза.

С учетом изложенного целесообразны дальнейшие исследования, которые помогут прояснить картину нагруженности кузова полувагона глухого типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сохранность вагонного парка: регламентировать ответственность// Вагоны и вагонное хозяйство.-2011.- №2(26). - С. 6-7.
2. Дарков, А.В.Строительная механика: учеб. для вузов /А.В. Дарков, Г.К. Клейн, В.И. Кузнецов [и др.]; под ред. А.В. Даркова. - М.: Высш.шк.,1976. - 600 с.

Материал поступил в редколлегию 27.11.14.

