

ОСОБЕННОСТИ НАГРУЖЕННОСТИ КУЗОВА ПОЛУВАГОНА  
СЫПУЧИМ ГРУЗОМ

А. В. ПУТЯТО

Белорусский государственный университет транспорта

К одному из наиболее экстремальных видов нагружения кузовов грузовых вагонов относится система сил, возникающая при их ударном взаимодействии, существенный вклад в которую вносит сила взаимодействия перевозимого груза с металлоконструкцией, в частности, сыпучего груза с кузовом полувагона. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог ... (М., 1996) не в полной мере описывают схему нагружения кузова полувагона от действия сыпучего груза при ударном нагружении, что, как показала практика прочностных расчетов и проведенная работниками ОНИЛ ТТОРЕПС БелГУТа оценка эксплуатационных повреждений, является, на наш взгляд, одной из причин наличия ряда несовершенств элементов конструкций кузовов полувагонов, эксплуатируемых в настоящее время. В связи с этим целью работы является оценка нагруженности кузова полувагона сыпучим грузом при ударном взаимодействии вагонов.

Для достижения поставленной цели разработана трехмерная конечно-элементная модель кузова вагона с сыпучим грузом, описанным упругоидеальнопластической средой на основе гипотезы Друкера-Прагера. Свойства материала сыпучего груза представлены следующими характеристиками: плотность  $\gamma = 1300 \text{ кг/м}^3$ ; угол естественного откоса  $\varphi = 30^\circ$ ; модуль упругости  $E = 10^6 \text{ Н/м}^2$ ; коэффициент Пуассона  $\mu = 0,27$ ; величина когезии  $c = 7200 \text{ Н/м}^2$ ; угол дилатантности  $-0^\circ$ . С целью учета сцепления сыпучего груза со стенами кузова решалась контактная задача с коэффициентом трения в границе раздела «сыпучий груз – металл», равным 0,3. Особенностью контактной задачи является исключение возможности взаимного внедрения контактирующих сред. В силу симметричной расчетной схемы геометрия сыпучего груза представлена параллелепипедом со сторонами  $b/2 \times h \times l = 1,44 \times 1,8 \times 12 \text{ м}$ . Разработанная конечно-элементная модель состоит из 8890 элементов, включая 1196 контактных. Согласно «Нормам...» при ударе учитывались возникающие силы инерции от действия продольного ускорения  $3,5g$  в течение  $0,3 \text{ с}$ . Шаг по времени варьировался от  $0,01$  до  $0,0001 \text{ с}$ .

В результате проведенного расчета получены пространственные картины нагруженности торцевых и боковых стен, а также пола вагона для временного интервала до  $0,3 \text{ с}$ . Установлено, что распределение нормальных контактных давлений по торцевой стене не носит равномерного характера, рекомендуемого Нормами. В то же время значение полученного максимального давления ( $151 \text{ кПа}$ ) оказалось достаточно близким к значению удельного давления, рассчитанного по рекомендации Норм, применительно к геометрическим параметрам виртуальной модели ( $170 \text{ кПа}$ ).

Анализируя изменение значений нормальных давлений на торцевой стене по высоте засыпки сыпучего тела в продольной плоскости симметрии установлено, что максимальное давление реализовано на высоте  $0,33h_3$  от уровня засыпки, причем от пола до уровня засыпки  $0,12h_3$  зафиксирован высокий градиент роста давления, и далее значения плавно возрастают до указанного выше максимального уровня. На интервале высот от  $0,12h_3$  до  $0,89h_3$  изменение контактного давления можно интерполировать пологой параболой со снижением давления от максимального значения на верхней границе рассматриваемого высотного интервала на  $27\%$ . На оставшемся интервале высот от  $0,89h_3$  до  $h_3$  наблюдается практически линейный рост величины нормальных контактных давлений до значения, равного  $97\%$  от максимального, указанного выше.

Нормальные контактные давления на боковую стену по мере приближения к нагруженной торцевой стене нелинейно возрастают по зависимости, достоверно аппроксимирующейся полиномом пятой степени. Из характера изменения контактных давлений от пола до свободной поверхности сыпучего тела видно, что имеет место незначительное уменьшение давлений, обусловленное снижением сил распора.

При рассмотрении распределения нормальных контактных давлений по полу вагона максимальные значения давлений зафиксированы на расстоянии, равном  $0,018l \approx 0,22 \text{ м}$ , по мере удаления от

торцевой стены наблюдается практически линейное снижение давлений в 3 раза. Далее на интервале от 0,95l до l имеет место линейное снижение давлений практически до нуля. При рассмотрении распределения давлений по полу вагона в поперечной плоскости наблюдается незначительное возрастание значений от средней части к боковым стенам, причем с удалением от наружной стороны оно практически сглаживается.

Таким образом, проведенные численные расчеты показали, что при рассмотрении ударного нагружения полувагона, загруженного сыпучим грузом, 42 % от внешней продольной нагрузки сыпучего груза ( $3,5gm_{гр}$ ) приходится на кузов (из которой 63 % – на торцевую стену, 23 % – на пол и 14 % – на боковые стены) и 58 % следует отнести к силам инерции груза, результирующая которых направлена противоположно действующему внешнему силовому полю. В то же время нагруженность кузова от вертикальной внешней нагрузки ( $gm_{гр}$ ) соответствует практически 100 %. Вертикальная нагрузка приходится на пол вагона, а также незначительная часть на торцевую и боковые стены, причем с обратным знаком, что обусловлено силами трения между сыпучим телом и металлоконструкцией.

УДК 629.463

## О ПРОГНОЗИРОВАНИИ РАБОЧЕГО ПАРКА ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

В. И. СЕНЬКО, Е. П. ГУРСКИЙ

Белорусский государственный университет транспорта

Управление активной частью производственных фондов – подвижным составом, а также формирование инвестиционной программы Белорусской железной дороги, планирование уровня развития постоянных устройств, решение других важных стратегических задач невозможно без научного обоснования потребного парка вагонов. Нельзя не отметить, что основной задачей управления грузовыми перевозками является достижение максимальной эффективности функционирования железнодорожного транспорта, обеспечение полного и качественного удовлетворения спроса клиентуры. Очевидно, что без современного и надежного подвижного состава решить эту задачу практически невозможно. Весьма важной на сегодняшний день является и проблема выбора перспективной структуры вагонного парка, который обеспечит заявленный спрос клиентуры. Устаревший в техническом отношении вагонный парк, износ которого на сегодняшний день уже достиг 78,8 %, не позволит в перспективе обеспечить заявленный спрос на грузовые перевозки. Это приведет к неэффективному использованию подвижного состава, отказам клиентов от услуг железнодорожного транспорта, переходам на другие виды транспорта и, как результат, потере доходов Белорусской железной дороги. Для решения этих проблем необходимо, в первую очередь, дать объективную оценку имеющемуся в распоряжении Белорусской железной дороге подвижному составу по его количеству и техническому состоянию, определить потребность отрасли в вагонах по типам и родам.

Анализ показывает, что характерным для вагонного хозяйства Белорусской железной дороги является старение парка грузовых вагонов. В 1992 году, на пятом Совете по железнодорожному транспорту, парк грузовых вагонов бывшего МПС СССР был разделен между железнодорожными администрациями. С момента разделения парк грузовых вагонов уменьшился приблизительно на 27 %. Состояние инвентарного парка грузовых вагонов Белорусской железной дороги на 01.07.2007 характеризуется данными, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика инвентарного парка грузовых вагонов

Наименование рода вагонов	Средний возраст вагонов	Срок службы вагонов	% износа вагонов	% вагонов с истекшим сроком службы
Крытые	28	32	87,5	33,6
Платформы	29	32	90,6	42,3
Полувагоны	17	22	77,3	40,2
Цистерны	26	32	81,3	40,0
Прочие	25	26	96,2	48,9
ВСЕГО	24	28	78,8	41,0