

УДК 629.463.67

Т.А. Мотянко, Д.Я. Антипин, М.В. Мануева

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ВЕРХНЕЙ РАМЫ КУЗОВА ВАГОНА-САМОСВАЛА (ДУМПКАРА)**

Исследована динамическая нагруженность верхней рамы кузова вагона-самосвала (думпкара). На основе разработанной твердотельной модели вагона-самосвала определены динамические нагрузки, действующие на рассматриваемые несущие конструкции в процессе эксплуатации. Проанализировано напряженно-деформированное состояние несущей конструкции кузова с использованием детализированной пластинчатой конечноэлементной модели.

Ключевые слова: вагон-самосвал, думпкар, верхняя рама, динамическая нагруженность, математическое моделирование, твердотельная компьютерная модель, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние.

В настоящее время на территории России открытым способом добывается 91% железных руд, более 70% руд цветных металлов и 60% угля. Доля суммарных затрат на приобретение и содержание карьерного транспорта достигает 55–60% в общей себестоимости добычи полезных ископаемых [1]. В условиях российских добывающих предприятий традиционно высока доля перевозок, осуществляемых железнодорожным транспортом с использованием вагонов-самосвалов (думпкар). Совершенствование конструкций вагонов-самосвалов, направленное на снижение эксплуатационных затрат, позволяет снижать себестоимость добычи сырья и тем самым повышать конкурентоспособность отечественных промышленных предприятий.

В качестве объекта исследования в работе рассматривается несущая конструкция верхней рамы четырехосного вагона-самосвала модели 31-675 производства ООО «Вагонтрейд» (г. Калининград).

Анализ причин возникновения отказов вагонов-думпкар, эксплуатирующихся в условиях карьеров, показал, что значительное их количество связано с повреждениями настила пола верхней рамы кузова в процессе загрузки [2].

Конструкторская документация на рассматриваемый вагон-самосвал предусматривает обеспечение прочности при погрузке в кузов сыпучих и мелкокусовых грузов экскаваторами с ковшем вместимостью до 6 м<sup>3</sup>, а также отдельных кусков массой до 2 т с высоты не более двух метров с предварительной подсыпкой на пол кузова мелкой породы толщиной не менее 300 мм.

В связи с этим при оценке динамической нагруженности верхней рамы вагона наряду с динамическими усилиями, возникающими при движении груженого вагона-самосвала по реальным неровностям пути, необходимо учитывать нагрузки, возникающие при погрузочных работах.

Верхняя рама вагона-самосвала представляет собой пространственную несущую конструкцию, состоящую из подкрепляющего набора, перекрытого стальным листом толщиной 8 мм (рис. 1).

Оценка нагрузок, действующих на вагон в процессе эксплуатации, выполнена методом твердотельного математического моделирования. Для этого в среде программного комплекса моделирования динамики системы тел «Универсальный механизм» [3] разработана твердотельная компьютерная модель (рис. 2).

Компьютерная модель представляет собой кузов в виде системы абсолютно твердых тел, геометрия которых создана в среде промышленного программного комплекса трехмерного проектирования Siemens PLM NX 8 [4], связанных между собой силовыми элементами и вращательными шарнирами.

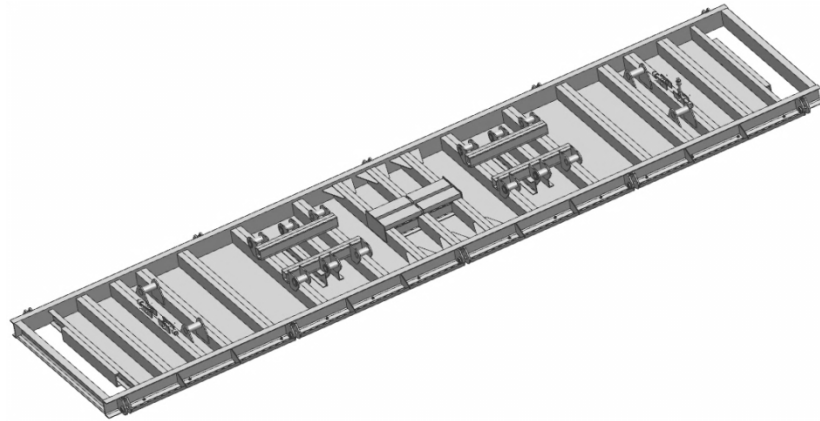


Рис. 1. Трехмерная модель верхней рамы вагона-самосвала (вид снизу)

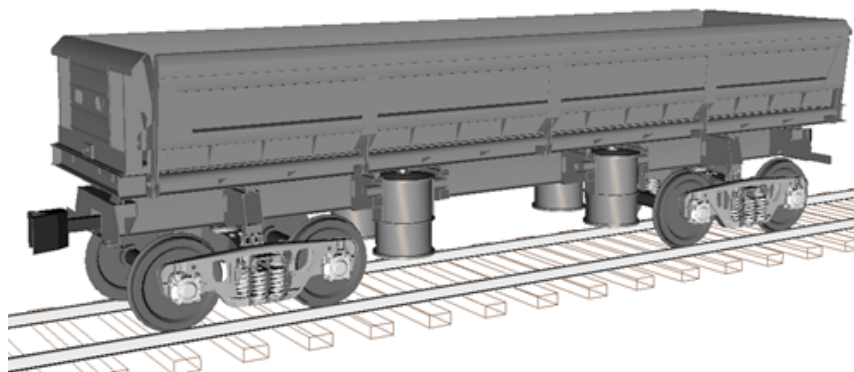


Рис. 2. Трехмерная компьютерная модель вагона-самосвала

Кузов через силовые контактные элементы и шарниры взаимодействует с твердотельными моделями тележек.

Динамическая нагрузка рамы оценивалась для следующих режимов эксплуатации:

- движение вагона по прямому участку пути со скоростями в интервале 20-120 км/ч с шагом 20 км/ч;
- движение вагона в кривых радиусами 300, 500, 700 и 1200 м с максимально допустимыми скоростями;
- противошерстное прохождение вагоном стрелочного перевода с крестовиной марки 1/11 со скоростями 10-50 км/ч.

Моделирование движения вагона рассматривается с учетом микронеровностей пути. Случайные неровности пути формируются на основании функции спектральной плотности эквивалентной расчетной неровности в вертикальном и горизонтальном направлениях, определяемой для скоростей движения вагона до 120 км/ч по методике, приведенной в РД 32.68-96.

Адекватность компьютерной модели подтверждена сопоставлением параметров ходовой динамики, полученных при моделировании, с результатами натурных ходовых испытаний.

Дополнительно выполнена оценка динамической нагрузки кузова вагона-самосвала при проведении погрузочных работ, учитывающая падение груза массой 2 т в кузов вагона с высоты 2 м. Рассмотрены два случая: падение груза в средней части пола и в шкворневой зоне.

В компьютерной модели груз представляется в виде сферы, диаметр которой определен исходя из объема и плотности груза. Взаимодействие груза с кузовом вагона

при падении описывается специальным контактным элементом типа «сфера-плоскость».

На следующем этапе для оценки динамической нагруженности несущей конструкции верхней рамы кузова вагона-самосвала от действия нормативных нагрузок, а также нагрузок, возникающих при проведении погрузочно-разгрузочных работ, разработана детализированная пластинчатая конечноэлементная модель (рис. 3).

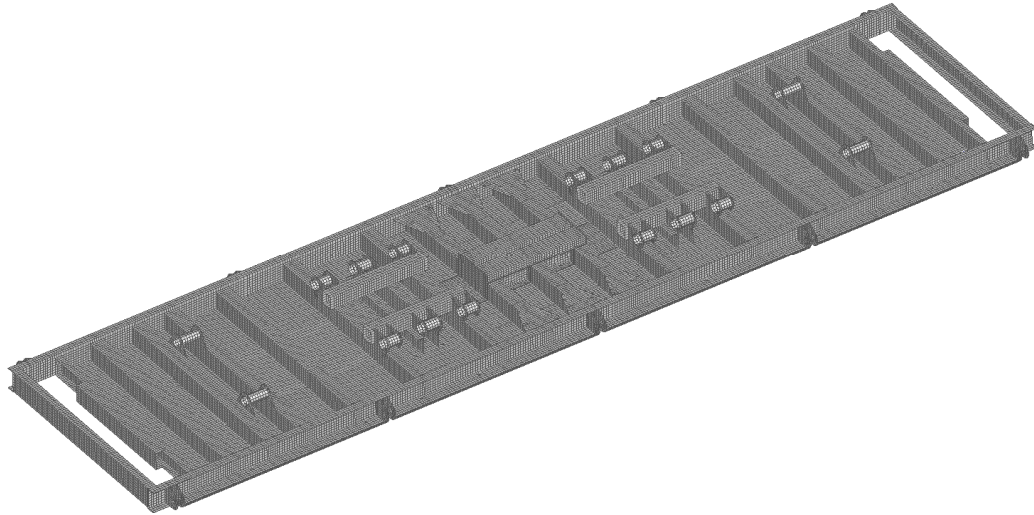


Рис. 3. Детализированная конечноэлементная модель верхней рамы кузова вагона-самосвала

Все элементы несущей конструкции рамы моделировались  $237 \times 10^3$  трех- и четырехузловыми изотропными пластинчатыми элементами, при этом общее число степеней свободы модели составило  $129 \cdot 10^3$ .

Закрепление динамической конечноэлементной модели вагона-самосвала в пространстве осуществляется связями по шести степеням свободы, наложенными в зонах опирания верхней рамы кузова на нижнюю.

Внутреннее трение в конструкции учитывается по гипотезе Фойгта. При моделировании динамики колебаний несущей конструкции совокупность действующих диссипативных сил заменяется эквивалентным вязким демпфированием, определяемым из равенства работ данных сил и сил вязкого сопротивления за период колебаний. Коэффициент эквивалентного вязкого демпфирования определяется на основе коэффициента конструкционного демпфирования, обусловленного работой сил внутреннего трения. Преобразование конструкционного демпфирования в эквивалентное вязкое осуществляется по первой частоте собственных изгибных колебаний конструкции. Коэффициент конструкционного демпфирования при расчетах принимался равным 10% от критического.

Конечноэлементная модель вагона-самосвала нагружалась динамическими нагрузками, реализации которых получены в соответствующих узлах упругой подсистемы твердотельной динамической модели движения вагона по реальным неровностям пути.

Верификация конечноэлементной модели верхней рамы кузова вагона-самосвала выполнена на основе результатов натурных стендовых испытаний кузова.

Анализ нагруженности несущей конструкции верхней рамы вагона-самосвала выполнен в динамической постановке с использованием метода непосредственного интегрирования уравнений узловых перемещений, реализованного в программном комплексе конечноэлементного анализа Siemens PLM Software Femap 9.3. К соответствующим

щим узлам конечноэлементной модели кузова вагона-самосвала прикладывались динамические нагрузки, полученные из компьютерной модели (рис. 2).

В результате расчетов получены картины изменения напряженно-деформированного состояния кузова вагона-самосвала во времени при падении груза и проведении разгрузочных работ.

Анализ напряжённого состояния кузова вагона-самосвала показал, что напряжения в подкрепляющих элементах для всех режимов эксплуатации не превышают допустимых [5]. В то же время в элементах обшивки пола напряжения оказываются близки к допустимым, что свидетельствует о высокой вероятности повреждения настила пола рамы при незначительных нарушениях правил проведения погрузочных работ.

Для повышения несущей способности настила пола вагона-самосвала предложено заменить материал настила пола верхней рамы, сталь 09Г2С, на сталь РАЕХ 400, обладающую пределом прочности 1000 МПа и повышенной ударной вязкостью.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахтурин, Ю.А. Современное состояние карьерного транспорта/Ю.А. Бахтурин//Горная техника:каталог-справочник. – Режим доступа: <http://www.expt.ru/ml118.htm>.
2. Технология безопасной эксплуатации и ремонта подвижного состава промышленного железнодорожного транспорта: утв. приказом Минтранса РФ от 30.03.01 №АН-25-Р. – Екатеринбург: УралЮрИздат, 2008. – 188 с.
3. Программный комплекс «Универсальный механизм». - Режим доступа: <http://www.umlabor.ru>.
4. Гончаров, П.С. NX для конструктора-машиностроителя/П.С.Гончаров [и др.]. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 504 с.
5. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

Материал поступил в редколлегию 9.12.14.