

УДК 622.232

П.В. Артамонов

## РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСУЩИХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

Развитие разработок угольных месторождений открытым способом в Кузбассе идет по пути увеличения производительности горнотранспортного оборудования. Рост единичной мощности карьерных экскаваторов и грузоподъемности автосамосвалов является приоритетным в этом направлении. Вместе с тем увеличение глубины карьеров усложняет условия эксплуатации горнотранспортного оборудования, в частности, увеличиваются нагрузки на несущие металлоконструкции карьерных автосамосвалов.

На сегодняшний день основным видом карьерного транспорта, применяемого на разрезах Кузбасса, является автомобильный. По данным ОАО «Кузбассразрезуголь» доля горной массы, перевозимой автотранспортом на разрезах Кузбасса, достигает 65%, коэффициент готовности колеблется в диапазоне 0,48-0,62. Это свидетельствует о том, что значительную часть времени автосамосвалы находятся в ремонтах, как плановых, так и аварийных. Структурный анализ простоев парка автосамосвалов на разрезах Кузбасса показал, что существенная часть простоев - до 30%, связана с отказами металлоконструкций.

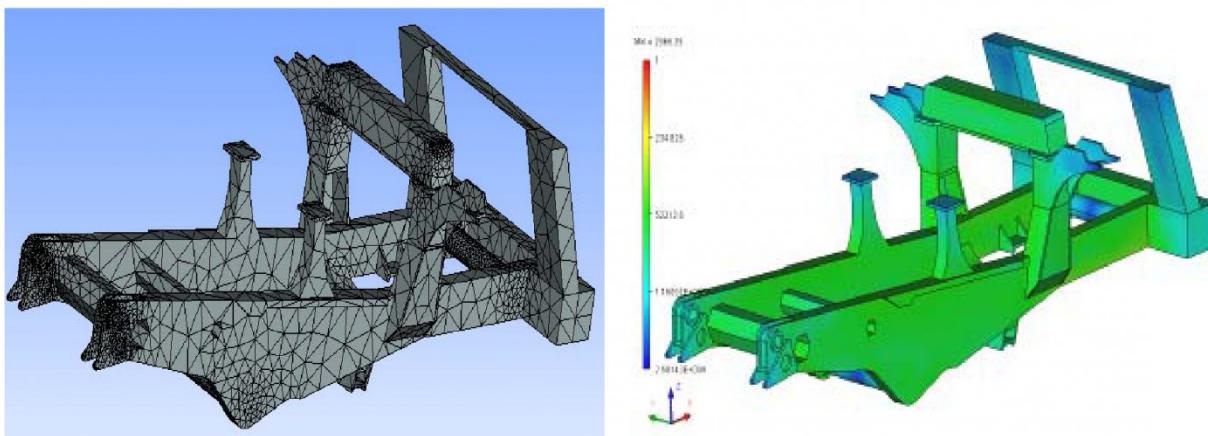
Одной из основных причин отказов функционирования металлоконструкций карьерных автосамосвалов является образование в них трещин. К основным элементам металлоконструкций карьерных автосамосвалов, в которых образуются трещины, относятся: кронштейны шарнирной опоры кузова, продольные траверсы и поперечины рамы, участки присоединения кронштейнов к лонжеронам, стойка рамы и подрамник.

На рост и развитие трещин в несущих металлоконструкциях определяющие влияние оказывают циклические нагрузки, возникающие в процес-

се экскаваторной погрузки, а также в процессе транспортирования горной массы по карьерным дорогам. В настоящее время оценка циклической долговечности металлоконструкций карьерных автосамосвалов при наличии усталостных трещин, осуществляется с использованием усовершенствованной методики оценки циклической долговечности элементов металлоконструкций экскаваторов [1]. Согласно критериям усталостной прочности, для конструкций, работающих в многоцикловом режиме нагружения, долговечность определяется числом циклов нагружения и величиной нагрузки. Значение данных параметров, при экскаваторной погрузке устанавливались экспериментально [2]. Для подтверждения результатов экспериментальных исследований, полученных при эксплуатации карьерных автосамосвалов на разрезах Кузбасса, были созданы конечно-элементные и 3D модели для динамического анализа в среде T-FLEX, имитирующие нагрузления элементов металлоконструкций рамы и кузова карьерных автосамосвалов.

Для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов несущих металлоконструкций большегрузных карьерных автосамосвалов применялся метод конечных элементов (МКЭ). Универсальность этого метода дает возможность рассчитать разные конструкции с различными свойствами материалов единым способом. Метод позволяет учесть геометрические формы и условия работы конструкции, распределение во времени и пространстве (для динамических задач) внешних нагрузок, свойств материалов, используемых в конструкции, в достаточно полном объеме [3].

При создании трехмерной модели рамы авто-



*Рис.1. Геометрическая и конечно-элементная модель рамы автосамосвала БелАЗ-75131.*

самосвала БелАЗ-75131 задавались характеристики материала (сталь 10ХСНД), генерировалась конечно-элементная сетка, после чего накладывались граничные условия, определяемые границами модели.

В процессе моделирования элементов несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов было принято следующие допущение: применяемый при изготовлении прокатный профиль, аппроксимировался в упрощенной форме, т.е. сечение полок и стенок были выполнены без учета скруглений и уклонов. При разбивке геометрической модели рамы карьерного автосамосвала использовались пластинчатые и балочные элементы. Благодаря этому, расчетные схемы были образованы в соответствии с рассчитываемыми конструкциями, представленными на рис.1.

Статический конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния позволил выявить наиболее нагруженные элементы металлоконструкций карьерных автосамосвалов. Для рамы БелАЗ-75131 такими элементами являются: места приварки второй поперечины в зоне передней подвески, места приварки задней поперечины к лонжеронам, места приварки стоек второй поперечины и ее элементов к лонжеронам, места приварки кронштейнов центрального шарнира и поперечной штанги.

Для моделирования динамических нагрузок на несущие металлоконструкции карьерных автосамосвалов в процессе загрузки взорванной горной массы, а также разгрузки, использовался модуль динамического анализа программы T-FLEX. Данный модуль создан разработчиками компании «Топ системы» для совместной работы с объектами T-FLEX CAD 3D, и позволяет производить исследование динамического поведения различных пространственных механических систем [4]. Система динамического анализа может решать следующие задачи: анализ траекторий движения, скоростей, ускорений любых точек компонентов механической системы под действием сил; анализ временных характеристик механической системы (время прихода в целевую точку, время затухания колебаний и т.д.); анализ сил, возникающих в компонентах механической системы в процессе движения (силы реакции в опорах, сочленениях и т.д.).

Модели несущих металлоконструкции карьерных автосамосвалов описываются как система твердых тел, шарниров и нагрузок. Геометрические модели, созданные в системе T-FLEX CAD, являются импортерами данных для анализа. Для задания связей между трехмерными телами используются сопряжения и степени свободы. Средства моделирования системы позволяют также моделировать контакты между твердыми телами с последующей обработкой одновременного контактного взаимодействия большого числа (до нескольких тысяч) твердых тел различной формы.

Для тел в качестве нагрузок имеется возможность задавать начальные линейные и угловые скорости, силы, моменты, пружины, гравитацию и т.д. В системе используются специальные элементы-датчики, для отображения результатов, как в виде графиков, так и виде массива чисел. Последние представляют собой оцифрованные точки графика в виде таблиц, которые экспорттировались в программу STATISTICA для последующей обработки. При этом для модели анализируются такие величины как: координаты, скорости, ускорения, силы реакций в шарнирах, усилия в пружинах и т.д.

При моделировании процесса загрузки автосамосвала взорванной горной массой создана расчетная модель элементов несущих металлоконструкций автосамосвала БелАЗ-75131 (рис. 2).

В созданной модели имеется ряд допущений: работу пневмогидроцилиндров имитируют пружины, жесткость которых задавалась в программе в соответствии с жесткостью пневмогидроцилиндров, раму автосамосвала имитирует пластина такого же веса. Взорванная горная масса представлена телами в виде шариков, размер и количество которых задается в соответствии с диаметром среднего куска горной массы в ковше экскаватора, а материал выбран с плотностью 2,5 т/ м<sup>3</sup> соответствующей плотности отгружаемой породы.

При моделировании в днище кузова модели создавался датчик по типу «тело», позволяющий измерять его координаты, линейные и угловые скорости и ускорения, а также активные силы, действующие на кузов. Для подробного описания колебаний кузова в процессе экскаваторной загрузки создавался датчик по типу «расстояние», фиксирующий дистанцию между двумя точками, скорость её изменения и ускорение. В качестве объектов, на основе которых создавался этот датчик, выбраны днище кузова и нижняя пластина

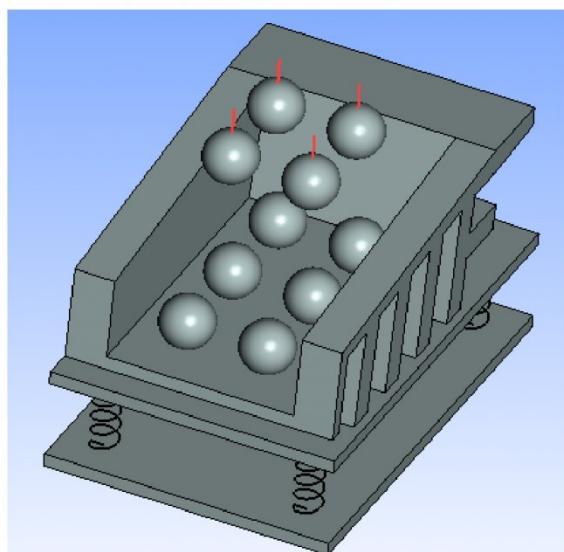


Рис.2. Расчетная модель металлоконструкций автосамосвала при моделировании процесса погрузки.

модели. Для каждой точки днища кузова дополнительно выбиралось тело задачи, вместе с которым она перемещалась при движении системы.

Результаты динамического анализа в системе T-FLEX CAD отображаются с помощью объектов особого типа «График», представляющего собой

ставлены зависимости «статических» и «динамических» напряжений от очередности ковша, при моделировании процесса погрузки экскаватором ЭКГ-12,5.

Из рисунка следует, что при погрузке последующих ковшей в кузов автосамосвала при уве-

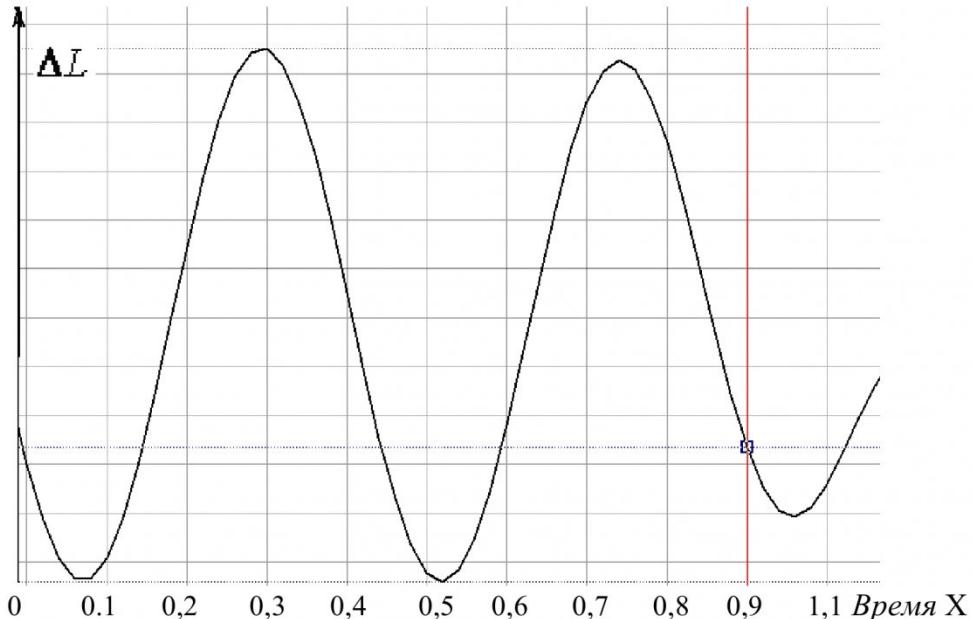


Рис. 3. Колебания кузова в процессе загрузки.

функцию из набора точек в собственной двухмерной системе координат. На рис.3. представлен характер перемещения во времени элемента днища кузова относительно нижней пластины модели.

В диалоговом окне программы отображается таблица, в которой в цифровом виде каждому значению времени соответствует значение положения заданного элемента днища кузова с шагом в 0,1 секунды. Для объектов типа «график» представляется возможность задавать практически любой масштаб времени и отслеживать перемещения элементов несущих металлоконструкций в процессе моделирования загрузки как одного ковша, так и нескольких ковшей. Это дает возможность сравнить общую (статическую) нагрузженность элементов металлоконструкций, а также оценить размахи напряжений и перемещений конструкции при различных вариантах экскаваторной загрузки автосамосвала.

Известно, что рациональным соотношением емкостей ковша экскаватора и кузова автосамосвала находятся в пределах 1:3-1:6, в частности для исследуемой модели БелАЗ-75131, с кузовом емкостью до 58 м<sup>3</sup> это экскаваторы емкостью ковша 10; 12,5; 15; 20 м<sup>3</sup> соответственно. Моделирование процесса разгрузки взорванной горной массы в кузов производилась при объемах падающего сыпучего тела соответствующих вышеуказанным емкостям ковшей. На рис. 4. пред-

личении статических напряжений динамический напряжения уменьшаются. Это связано с увеличением демпфирующего слоя породы в кузове, который в модели имитировался равнораспределенным по днищу кузова.

Применение модуля динамического анализа T-FLEX при расчетах напряженно-деформированного состояния элементов несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов позволило теоретически определить величину статической и динамической нагрузки в процессе экскаваторной погрузки. Анализ процесса колебаний несущих металлоконструкций позволил определить число циклов нагружения.

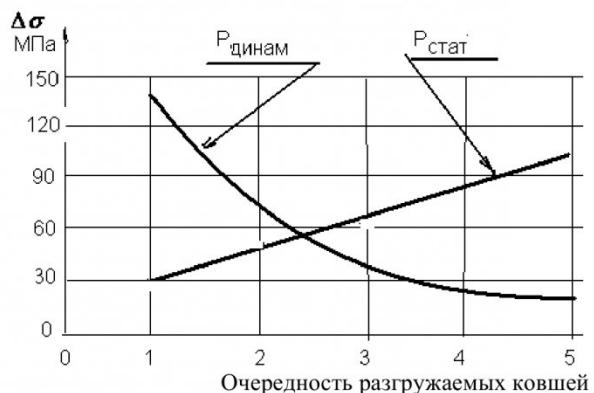


Рис.4. Зависимости статических и динамических напряжений от очередности разгружаемого ковша.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. *Насонов М.Ю.* Влияние внешней среды на долговечность металлоконструкций экскаваторов. /Горное оборудование и электромеханика – 2009. №2 – с 20-22.
2. *Паначев И.А.* Влияние условий эксплуатации большегрузных карьерных автосамосвалов на живучесть их металлоконструкций /Паначев И.А. Насонов М.Ю., Артамонов П.В./ Энергетическая безопасность России: Новые подходы к развитию угольной промышленности. Материалы 11 международной научно-практической конференции. Кемерово 2009.
3. Шимкевич. Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows.-/Шимкевич Д.Г./ M.:ДМК Пресс, 2003.- 289 с.
4. ЗАО «Топ системы» [Электронный ресурс]: сайт содержит сведения о Российском программном комплексе TFLEX CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM.- M: 2009 г. Режим доступа <http://www/tflex/products/rashet/new/php>. Заглавие с экрана.

Автор статьи:

Артамонов

Павел Викторович

- ассистент. каф. « Сопротивление материалов» КузГТУ  
Тел. 8-951-178-15-66. Email:  
[Kuzstu\\_sopromat@rambler.ru](mailto:Kuzstu_sopromat@rambler.ru)