

## ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОУРОВНЕВОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Мишин П. П.<sup>1</sup>, Осипов Н. Л.<sup>2</sup>, Чабунин И. С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Филиал ФГУП «ЦЭНКИ» – НИИ СК им. В. П. Бармина, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Университет машиностроения (МАМИ), г. Москва, Россия

Современный цикл проектирования агрегатов и систем подвержен постоянным преобразованиям, которые являются следствием изменения потребностей оборонной промышленности и народного хозяйства. Одним из наиболее ответственных этапов в этом процессе является анализ прочностных параметров конструкции на всех режимах ее эксплуатации. На сегодняшний день для проведения разнообразных расчетов существует множество способов получения достоверных результатов за сравнительно небольшие промежутки времени. Однако, наиболее универсальным средством анализа конструкций являются методы математического моделирования и, в частности, метод конечных элементов (МКЭ).

В качестве примера использования МКЭ в аэрокосмической отрасли в данной работе рассмотрена методика модернизации существующих транспортных средств для перевозки негабаритных тяжеловесных грузов. В общем случае транспортировка грузов представляет собой доставку конечного продукта от изготовителя к потребителю за минимальный срок с обеспечением безопасности перевозки. При этом конечная стоимость продукта для потребителя во многом зависит от затрат на транспортировку. Поэтому естественной необходимостью является сокращение издержек на доставку грузов. Этого можно добиться, например, за счет модификации как под широкий круг перевозимых изделий ранее спроектированных и изготовленных для испытаний транспортных средств узкого назначения, которые осуществляют доставку грузов, в том числе и специфических, так и под различные категории дорог.

Особую важность представляет транспортировка грузов большой массы и габаритов, так как это наиболее затратный процесс и в материальном, и в техническом плане. В качестве таких грузов могут выступать опоры ЛЭП, котельное оборудование, тяжелая строительная техника, секции судов и т. п., а средствами доставки являются специальные транспортные средства. При этом перевозка грузов может осуществляться как по дорогам общего, так и специального назначения с упрочненным покрытием. Наиболее ответственным элементов в конструкции таких транспортных средства является несущая рама агрегата.

В качестве примера модифицирования пространственной несущей балочной системы транспортировочного агрегата в работе рассматривается транспортный комплекс, предназначенный для перевозки длинномерных (от 4 до 10 метров) грузов и спроектированный по нормам аэрокосмической отрасли. Это усовершенствование предполагается осуществить путем варьирования и определения в конечном итоге таких жесткостных параметров несущих элементов рамы, которые обеспечивали бы ощутимое снижение массы конструкции при вполне приемлемых показателях прочности, жесткости и долговечности. Эта задача решается посредством исследования прочности рамы как целостного объекта. При этом в основе решения лежит разработка многоуровневой математической модели этой конструкции, которая строится по методу конечных элементов. В работе проводится сравнительный анализ прочностных и жесткостных показателей рамы, полученных при ее статическом и динамическом нагружении с учетом упругих и пластических свойств материала.

В работе были приняты три модификации, позволяющие снизить массу рамы более чем в два раза. Также были рассмотрены различные варианты нагружения, имеющие место при движении агрегата по дорогам различных категорий. Для наиболее опасных случаев нагружения был проведен статический и динамический расчет с учетом упругих и реологических свойств материала. По результатам этих расчетов были определены места концентрации напряжений, для которых был применен принцип многоуровневого моделирования. На уточненной модели рассмотрено влияние остаточных сварочных напряжений на прочностные характеристики образца при его циклическом нагружении.

В результате проведенных модификаций рамы получены адекватные многократным испытаниям аналогичных изделий результаты: значения интенсивностей напряжений, перемещения для всех узловых точек. Также были

вскрыты значительные резервы прочности и жесткости во всех элементах конструкции. Предложенные модификации способствуют уменьшению массы рамы транспортного устройства более чем в два раза при сохранении его прочностных и жесткостных показателей. Также было установлено, что концентраторы напряжений имеют локальный характер. Проведенный анализ влияния технологических операций сварки на несущую способность конструкции показал, что остаточные напряжения накладываются на напряжения при последующем циклическом нагружении. Даны рекомендации о применении результатов расчета по указанной методике в цикле проектирования специальных транспортных средств.