УДК 621.867.2.001.2

С.В.ДОРОНИН, Ю.А.ПЛЮТОВ
Государственная академия цветных металлов и золота, Красноярск

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН НА ГОРНЫХ РАБОТАХ

Систематизированы задачи проектирования и эксплуатации транспортных машин, наиболее эффективно решаемые в рамках вычислительного моделирования с использованием методов конечных элементов и статистического моделирования. Рассматриваются характер результатов и перспективы их использования при принятии решений по оптимизации проектных параметров и эксплуатационных режимов.

Some problems for designing and exploitation of transport machines are systematized. These are the problems that can be effectively solved by means of such methods of computor modeling as finite element method and Monte Carlo simulation. Typical results and their application to carry out solution on optimization for design parameters and exploitation regimes are discussed.

При проектировании и эксплуатации транспортных машин на горных работах возникает ряд задач, которые с использованием классических подходов и методов не могут быть решены или решаются с большой погрешностью. Классификация этих задач может быть выполнена по следующим признакам:

- по размерности задачи – для отдельных машин или всего транспортного парка горного предприятия;
- по глубине взаимосвязей – для транспортного комплекса как самостоятельного объекта или как подсистемы в связи с другими подсистемами горного предприятия;
- по виду транспорта – для автомобильного, конвейерного, железнодорожного или комбинированного транспорта.

Рассмотрим постановку и решение этих задач с использованием численных методов вычислительного моделирования – метода конечных элементов и метода статистического моделирования (Монте-Карло). Рассматриваются только те задачи, которые наиболее эффективно решаются указанными численными методами. Метод конечных элементов используется в тех задачах, решение которых предполагает наличие достоверной информации о распределении полей напряжений и деформаций. Статистическое моделирование позволяет учесть случайный характер ряда технологических и эксплуатационных факторов.

По сути решаемых вопросов основные задачи, характерные для отдельных машин, могут быть сгруппированы следующим образом.

1. Задачи проектирования:

- определение внешних воздействий на транспортную машину со стороны внешней среды;
- обоснование расчетных случаев проектирования, т.е. возможных комбинаций комплекса нагрузок и условий опирания;
- моделирование ударных воздействий на элементы транспортной машины (краш-тест), как наиболее тяжелый расчетный случай;
- исследование действительного характера работы элементов и узлов оборудования;
- определение и оптимизация комплекса проектных параметров. При этом используются как классические критерии оптимизации, так и предлагается ряд новых.

2. Задачи эксплуатации:

• прогнозирование индивидуального технического состояния и ресурса;

• техническая диагностика и дефектоскопия элементов конструкций транспортных машин, построение моделей эксплуатационной дефектности;

• расчетно-экспериментальное обоснование конструктивных решений по усилению и модернизации несущих конструкций в связи с возникающими при длительных сроках эксплуатации повреждениями и трещинами.

Для всего транспортного парка горного предприятия комплекс задач, решаемых в рамках вычислительного моделирования, выглядит следующим образом.

1. Задачи проектирования:

• прогнозирование системной надежности парка транспортных машин, исследование закономерностей формирования показателей надежности парка машин с известными или прогнозируемыми характеристиками прочности и ресурса.

2. Задачи эксплуатации

• прогнозирование потока отказов парка оборудования, оптимизация планирования ремонтов и обеспечения запасными частями и материалами;

• построение обоснованной системы технической диагностики и дефектоскопии;

• прогнозирование фактического фонда рабочего времени и объемов транспортируемой горной массы.

Рассмотрение транспортного комплекса как подсистемы в связи с другими подсистемами горного предприятия требует постановки и решения следующего комплекса задач.

1. Задачи проектирования:

• оптимизация структуры и параметров комплекса «выемочная машина – транспортное средство»;

• прогнозирование влияния характеристик надежности и живучести транспортных машин на технико-экономические показатели работы предприятия.

2. Задачи эксплуатации:

• прогнозирование возможных аварийных ситуаций транспортного оборудования, анализ влияния нарушений транспортных потоков на работу смежных подсистем предприятия;

• разработка баз данных по авариям и разрушениям транспортного оборудования; построение моделей аварийных ситуаций, разработка алгоритмов восстановления причинно-следственного комплекса произошедших аварий.

Статистическое моделирование при решении некоторых из перечисленных задач возможно с помощью классических задач исследования операций (задачи массового обслуживания, управления запасами, замены, ремонта и определения надежности оборудования и др.) с учетом случайного характера входящих в задачу величин и алгоритмизации новых задач, формальная постановка которых отсутствует из-за математических затруднений.

Задачи конечно-элементного моделирования являются универсальными, применимыми к конструкциям и оборудованию любых типов, и могут быть представлены следующим основным перечнем.

1. Статические задачи конструкционной прочности сводятся к оценке полей напряжений и деформаций при действии постоянных нагрузок, обеспечению выполнения условий прочности и жесткости при минимуме металлоемкости. Такие расчеты выполняются для узлов и элементов несущих конструкций всех транспортных машин. В настоящее время накоплен и обобщен опыт моделирования и анализа в статической постановке напряженного состояния тележек и бортов думпкаров, рам карьерных самосвалов, барабанов и ставов ленточных конвейеров. Это позволяет сформулировать ряд новых требований и рекомендаций, которые целесообразно ввести в стандартные процедуры проектирования.

2. Динамические задачи, сводящиеся к трем основным типам: определение частот и форм собственных колебаний конструкции; моделирование переходных процессов; анализ поведения конструкции при задании нагрузки как функции времени. Определение частот и форм направлено на поиск и недопущение резонансных частот несущих конструкций. Моделирование переходных про-

цессов является совершенно необходимым при проектировании транспортных машин, так как движение с ускорением и замедлением составляет значительную часть времени работы конструкции, и именно эти режимы вносят заметный вклад в накопление повреждений и формирование разрушений. К этому классу задач относится моделирование поведения конструкции при нагружении, например падающим грузом, ударе груженой конвейерной ленты о роликоопоры. В предельном случае переходного процесса имеем дело с ударом о неподвижное препятствие (краш-тест). Задача анализа поведения конструкции при задании нагрузки как функции времени возникает при наличии источника периодических усилий, например при преодолении колесом стыка рельс. Имеется опыт решения таких задач для конструкций думпкаров и автосамосвалов.

3. Волновые процессы также относятся к динамическим задачам, но выделяются в отдельный класс вследствие специфики распространения волн деформаций и напряжений в сплошной среде при определенных условиях. Примерами волновых процессов являются передача тягового усилия локомотива подвижному составу при начале движения и торможении, а также распространение волны деформации в конвейерной ленте при пуске конвейера.

4. Контактные задачи возникают в случае необходимости оценки размеров площадки контакта и контактных напряжений при передаче усилия от соприкосновения двух тел. Примерами контактных задач являются моделирование контакта железнодорожного колеса с рельсом, автомобильного колеса с дорогой, конвейерной ленты с роликами и барабаном. Эти задачи могут решаться численными методами вследствие отсутствия аналитических решений за исключением наиболее простых ситуаций.

5. Задачи моделирования конструкций при больших деформациях являются сильно нелинейными и возникают при работе элементов конструкций с малыми значениями жесткости (конвейерная лента, пневматическая шина). Возникающие деформации таковы, что совершенно не соблюдается положенное в основу большинства аналитических методов допущение о малости деформаций. Получение решения возможно только численными методами.

6. Задачи оптимизации, соответствуя классической постановке, имеют свою специфику при вычислительном моделировании. Основное преимущество заключается в отсутствии ограничений на форму оптимизируемой конструкции, тогда как аналитические решения возможны только для ограниченного перечня простейших конструктивных форм. Кроме того, здесь появляется возможность программирования критериев оптимизации и постановки задач, не сводящихся или не имеющих аналитических решений даже для простых конструктивных форм. Например, имеется опыт оптимизации стохастически дефектных элементов конструкций транспортных машин по критериям механики разрушения.

7. Задачи механики разрушения предполагают вычисление параметров разрушения при наличии трещиноподобных дефектов. Для оценки коэффициента интенсивности напряжений, *J*-интеграла в некоторых случаях достаточно встроенных функций вычислительного пакета. Во многих случаях приходится прибегать к пользовательскому программированию.

8. Связанные задачи оказываются наиболее сложными вследствие необходимости моделирования одновременно нескольких физических процессов. Примером может служить моделирование взаимодействия ленты и барабана при пуске ленточного конвейера, когда одновременно приходится рассматривать контактную задачу, большие деформации, волновые процессы.

В настоящее время происходит накопление опыта решения указанных задач с целью совершенствования конструкций и проектных расчетов транспортных машин.