УДК 621.867.2.001.2

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

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Рассмотрены ограничения математической теории надежности применительно к механическим элементам транспортных машин. Предлагается новый подход, основанный на использовании статистики дефектности, результатов расчета напряженного состояния, аппарата механики разрушения и реальных данных о процессах нагружения транспортных машин. Рассматриваются предпосылки к расчету живучести транспортных машин как дальнейшее развитие понятия надежности.

Restrictions of mathematical theory for reliability of mechanical units of transport machines are discussed. There is proposed new approach based on application of defect statistics, results of stress state modeling, fracture mechanics methods and real data on loads for transport machines. Theoretical premises for calculating survivability of transport machines are proposed.

В настоящее время при анализе надежности транспортных машин используется классическая (системная, математическая) теория надежности, основанная на статистических методах обработки эксплуатационных данных [2, 4]. Такие подходы получили в технике чрезвычайно широкое распространение, что, на наш взгляд, обусловлено преимущественно достаточной простотой сбора и обработки статистической информации и возможностью получения в перспективе эффективных методов и приемов построения научно обоснованных систем эксплуатации [1, 5].

Разработанная для оценки надежности компонент и изделий радиоэлектронной промышленности математическая теория надежности может быть применена к объектам и системам другой природы с большой осторожностью. При этом формальный аппарат теории надежности таков, что не возникает никаких затруднений в применении его к любым системам. Получаемые при этом результаты и прогнозные оценки надежности, выглядя правдоподобными, в значительной степени расходятся с действительными значениями, однако выявляется это гораздо позднее, после длительных сроков эксплуатации и накопления статистики по отказам.

К механическим конструкциям, как и к другим техническим объектам, вполне применимы системные подходы, однако специфика этих конструкций – в чрезвычайно тесном взаимодействии элементов таких систем. Хотя формально и можно разделить конструкцию на подсистемы, работает она всегда как единое целое, объединенное общими силовыми потоками, полями напряжений и деформаций. Практически не выполняется допущение математической теории надежности о независимости отказов отдельных элементов. Отказ или снижение работоспособности элемента механической конструкции приводит к перераспределению силовых потоков, изменению интенсивности деградационных процессов, показателей надежности всех остальных элементов.

Понимание ограниченных возможностей математической теории надежности применительно к механическим конструкциям сформировалось достаточно давно. Так, в работе [6] отмечается, что при анализе надежности механической системы необходимо учитывать следующее:

• расчет надежности механической системы по схемам с параллельным и последовательным соединением элементов – необходимое (дает зависимость надежности системы от надежности входящих в нее элементов), но недостаточное условие для правильного суждения о ее надежности, поскольку результат расчета не учитывает разницу в протекании физико-химических процессов в деталях и отдельных звеньях механической системы под влиянием действующих нагрузок и окружающей среды;

• для окончательного заключения о надежности механической системы необходимо определить ведущий вид разрушения в наиболее слабом элементе системы и исследовать его вероятностные закономерности.

В работе [3] показано, что последовательное и параллельное соединение подсистем правомерно только в том случае, если все процессы механического и физико-химического взаимодействия локализованы в пределах каждой подсистемы, так что с точки зрения надежности их взаимодействие является чисто логическим.

В течение нескольких десятилетий разрабатывались подходы, совмещающие математическую теорию надежности и физику процессов деградации элементов механических конструкций. Наиболее последовательное развитие теории приводит практически к отказу от формального аппарата теории надежности и построению методов оценки вероятности отказа и ресурса в рамках чисто механических представлений о процессах в деталях и элементах конструкций [3]. Вместе с тем, продолжается и развитие более сложных структурно-логических схем, которые, однако, имеют в своей основе те же схемы параллельного и последовательного соединения элементов.

В наиболее полном виде эти схемы рассмотрены в работе [7]. В теории надежности известен ряд логических схем, демонстрирующих структуру и механизм формирования показателей надежности систем произвольной природы. При этом в качестве основного показателя обычно рассматривается вероятность безотказной работы. Кроме классических схем последовательного и параллельного соединения элементов, рассматриваются мажоритарные, мостиковые, комбинированные и многофункциональные схемы.

В настоящее время накоплены и обработаны статистические данные по технологической и эксплуатационной дефектности, отказам, разрушениям и аварийным ситуациям ленточных конвейеров, большегрузных автосамосвалов и грузовых вагонов.

Анализ этих данных и опыт численного моделирования напряженно-деформированного состояния несущих конструкций транспортных машин позволили сформулировать ряд положений и перспективных направлений развития методов оценки и формирования показателей надежности конструкций этого класса.

1. Очевидно, показатели надежности не формируются в результате игры случая, а являются внешним проявлением протекающих в машине механических, физико-химических и термодинамических процессов. Применительно к подавляющему большинству машин и конструкций, в том числе для всех элементов и узлов транспортного оборудования именно напряженно-деформированное состояние оказывает решающее влияние на формирование отказов и разрушений. При этом конструктивные формы транспортных машин таковы, что распределение напряжений и деформаций весьма неравномерно по конструкции. В связи с этим необходима разработка структурно-логических схем конструкций, элементами которых были бы не узлы и детали, как в классических схемах последовательного и параллельного соединения, а элементы объемов и конструктивные зоны, напряженные до определенного уровня в соответствии с принимаемой градацией и шкалой напряжений. Именно для этих силовых элементов необходимо построение логических, преимущественно комбинированных, схем надежности.

Накопленный опыт моделирования напряженного состояния позволяет для основных элементов и узлов транспортных машин представить структурно-логические схемы надежности, составленные из силовых элементов с учетом их взаимодействия.

2. Деградационные процессы и формирование отказов конструкций оказываются локализованными в области технологической и эксплуатационной дефектности. При этом технологическая дефектность, практически неизбежная при современном техническом уровне технологических процессов в машиностроении, оказывается первоначальной причиной, что порождает в большинстве случаев и эксплуатационную дефектность. В связи с этим физико-математической основой расчетов надежности является механика хрупкого, пластического и усталостного разрушения.

Базовым понятием в механике разрушения является модель трещины, форма и размеры которой в совокупности с параметрами напряженного состояния и определяют интенсивность деградационных процессов. Таким образом, именно технология производства в совокупности с условиями эксплуатации и уровнем нагруженности формирует картину надежности. Для практических расчетов надежности необходимо располагать статистическими данными по дефектности, формирующимися при неразрушающем дефектоскопическом контроле.

В настоящее время собраны статистические данные по дефектности рам карьерных самосвалов, колесных пар железнодорожных вагонов, представленные в виде вероятностных распределений размеров дефектов и геометрических параметров их локализации. Распределение дефектности в соответствии с этими данными по силовым элементам структурно-логических схем в совокупности с аппаратом механики разрушения позволяет строить количественные прогнозные оценки показателей надежности.

3. Интенсивность деградационных процессов в значительной степени определяется характеристиками реальных процессов нагружения транспортных машин. Погрешность результатов при использовании усредненных данных, замене случайных характеристик процесса нагружения детерминированными и других упрощениях настолько велика, что обесценивает расчетные значения показателей надежности. В связи с этим необходимо развитие расчетно-экспериментальных методов обоснования параметров случайных процессов нагружения. Очевидно, необходимо накопление определенного количества экспериментально полученных осциллограмм и соответствующая их статистическая обработка в соответствии с принятыми методиками и нормативными документами. Необходимо численное моделирование внешних воздействий и подбор таких параметров моделей, чтобы было обеспечено удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными.

4. При наличии значительных накопленных повреждений, не приводящих однако к немедленному нарушению работоспособности транспортной машины, необходим переход от понятия и показателей надежности к рассмотрению категории живучести. Живучесть представляет собой характеристику стойкости системы к внешним (главный отличительный признак от надежности) воздействиям со стороны окружающей среды при возникновении и развитии допустимых повреждений [8].

Общие подходы к оценке и обеспечению живучести технических систем произвольного назначения в настоящее время интенсивно разрабатываются и широко представлены в литературе. При этом очевидно, что на формирование живучести в решающей степени влияют конструктивные формы и параметры машин того или иного класса, а также характерные условия их эксплуатации. Что касается транспортных машин вообще, и работающих на горных предприятиях в частности, практически не известны какие-либо подходы к оценке живучести (за исключением объектов авиационной техники и водного транспорта). В связи с этим первоочередную важность представляют исследования в области определения структуры понятия живучести, системы и алгоритмов ее количественных оценок применительно к транспортным машинам горных предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Барзилович Е.Ю.* Модели технического обслуживания сложных систем. М.: Высшая школа, 1982. 231 с.

2. *Барлоу Р.* Статистическая теория надежности и испытания на безотказность / Р.Барлоу, Ф.Прошан. М.: Наука, 1984. 328 с.

3. *Болотин В.В.* Ресурс машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1990. 448 с.

4. *Гнеденко Б.В.* Математические методы в теории надежности / Б.В.Гнеденко, Ю.К.Беляев, А.Д.Соловьев. М.: Наука, 1965. 524 с.

5. *Дедков В.К.* Основные вопросы эксплуатации сложных систем / В.К.Дедков, Н.А.Северцев. М.: Высшая школа, 1976. 406 с.

6. *Дмитрюк Г.Н.* Надежность механических систем / Г.Н.Дмитрюк, И.Б.Пясик. М.: Машиностроение, 1966. 184 с.

7. Надежность технических систем / Под общ. ред. Е.В.Сугака, Н.В.Василенко / НИИ СУВПТ. Красноярск, 2000. 608 с.

8. *Махутов Н.А.* Принципы повышения безопасности сложных технических систем / Н.А.Махутов, А.Г.Котоусов // Защита металлов. 1996. Т.32. № 4. С.346-351.