УДК 620.179.112

**ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

В.В.Гриб, Р.В.Жуков, И.М.Петрова

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Доклад посвящен методологии моделирования технического состояния сложных механических систем, изменяющихся в процессе эксплуатации. Механическая система рассматривается как сложная система, в которой протекает ряд взаимосвязанных процессов. Решение таких задач включает в себя дискретизацию системы во времени и пространстве, обращение к численным методам и их реализацию с помощью компьютерной техники.

**Ключевые слова**: техническое состояние, моделирование, деградационные процессы, изнашивание, усталостное разрушение

При решении проблемы безопасности и риска эксплуатации опасных объектов создание многопараметрических моделей необходимо как при оценке значимости различных факторов на протекание деградационных процессов, так и при прогнозировании остаточного ресурса на основании данных о текущем состоянии. Сложность разработки математических моделей изменения состояния таких систем заключается во множестве протекающих в них взаимосвязанных деградационных процессов, к которым относятся: старение, коррозия, изнашивание, накопление повреждений. Эти процессы в свою очередь, в зависимости от характера внешнего воздействия, свойств материалов и среды подразделяются на множество видов и последствий, приводящих к потере работоспособности объекта. Упрощение модели, изучение процесса в зависимости от одного параметра увеличивает вероятность ошибки моделирования. С другой стороны, увеличение количества факторов в расчетной модели усложняет ее и порой делает ее неэффективной.

Математически описание многопараметрического состояния системы может быть представлено обобщенным вектором, представляющим собой упорядоченную совокупность множества параметров, описывающих техническое состояние системы в рамках принимаемой модели, и изменяющихся в процессе эксплуатации. Эти параметры могут быть выражены скалярными величинами (температура, давление), векторными (нагрузка, реакция, геометрия, скорость, ускорение), тензорами (напряжения, деформации), функциями (передаточная функция, колебания, вибрация, шум). Вектор состояния может быть поставлен в соответствие вектору воздействия q на систему посредством оператора Н, реализующего метод расчета и учитывающего свойства системы x(t) = H q(t) .

Внешнее воздействие обусловливает изменение геометрии механической системы, динамики ее работы, напряженно-деформационного, температурного состояния ее деталей, скорости деградационных процессов. В свою очередь, например, изменение геометрии деталей зависит от неравномерно протекающих процессов изнашивания и коррозии. Таким образом, мы имеем нелинейную механическую систему с обратными связями и параметрами, неравномерно распределенными по поверхности и объему деталей объекта.

Изменение технического состояния во времени эксплуатации описывается вектор-функцией, т.е. движением вектора технического состояния в фазовом пространстве состояний. Это пространство разделено поверхностью отказов механической системы, отделяющих часть работоспособных состояний от неработоспособных. Вероятность безотказной работы объекта равна вероятности нахождения вектора состояния в области работоспособных состояний.

Общий прием решения задачи изменения технического состояния механической системы заключается в дискретизации ее во времени и пространстве и рассмотрении ряда последовательных состояний через задаваемый достаточно малый промежуток времени - шаг наработки. Скорость изменения состояния на этом отрезке времени принимается зависящей от состояния, свойств системы и режимных параметров в начале данного отрезка времени и неизменной на нем. Используя известные гипотезы накопления повреждений на каждом временном отрезке находится суммарное накопленное повреждение. В конце каждого отрезка времени находится новое техническое состояние, по которому определяются скорости и векторы перехода для последующего отрезка времени и т.д. Рассмотренный алгоритм позволяет оценить степень влияния конструкционных, технологических и эксплуатационных факторов.

Для большинства машин и механизмов характерен циклический характер действующих на объект факторов нагружения, связанных с циклической работой и изменением переменных составляющих рабочих процессов, что обусловливает усталостный механизм протекания процессов изнашивания, накопления усталостных повреждений и разрушения. Циклический характер действующих на объект нагружающих факторов приводит к возникновению в наиболее нагруженных местах напряжений, превышающих предел упругости. В этих случаях наряду с явлением многоцикловой усталости проявляются процессы свойственные малоцикловой усталости. В деталях трибосопряжений в зоне фрикционного контакта, накопление повреждений зависит от уровня изношенности.

В практике расчетов деталей машин нашли применение расчеты на усталостную прочность и износ с учетом формоизменения трибосопряжений[1-16 ].

**Список литературы**

1. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
2. Гриб В.В. Компьютерное моделирование изменения технического состояния механических систем во времени. // Вестник МАДИ(ГТУ), Вып.1. С.35-39. 2003,
3. Гриб В.В., Жуков Р.В., Петрова И.М. Моделирование изменения технического состояния сложных механических систем // Машиностроение и инженерное образование - М., 2012.- С.14-18.
4. Гриб В.В., Жуков Р.В., Петрова И.М., Буяновский И.А. Диагностические модели изменения технического состояния механических систем. Ч.1. / Под общ. ред. В.В.Гриба / МАДИ(ГТУ) – М.,2007. – 300 с.
5. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. Части 1,2. – Новосибирск: Наука, 2005.
6. Трение, износ, смазка (трибология и триботехника) / Под ред. А.В.Чичинадзе. - М.: Машиностроение, 2003. – 576 с
7. Гриб В.В., Сафонов Б.П., Жуков Р.В. Динамика механизма движения поршневого компрессора с учетом зазоров в подвижных
8. Луканин В.Н., Гриб В.В., Сафонов Б.П., Жуков Р.В. Динамический анализ стержневых механизмов с зазорами. - М.:МАДИ(ГТУ). 2000, - 35 с.
9. Гриб В.В. Взаимосвязь динамики и износа трибосопряжений машин. //Трение и износ в машинах и механизмах. 2009. №1.- С.34-38.
10. Петрова И.М., Москвитин Г.В., Гриб В.В.. Влияние износа на накопление усталостных повреждений// Заводская лаборатория. 2006. № 11.С. 49-52.
11. Гриб В.В., Жуков Р.В., Петрова И.М. Моделирование изменения технического состояния сложных механических систем. // Машиностроение и инженерное образование, 2012, № 4, с. 28-32.
12. Гриб В.В. Решение триботехнических задач численными методами. – М.: Наука,1982.
13. Гриб В.В. Методология исследования и расчета узлов трения как сложных систем. // Машиноведение, 1984, № 6, - с. 65-71.
14. Гриб В.В., Петрова И.М., Жуков Р.В. Компьютерное моделирование изменения технического состояния механизма ДВС в процессе эксплуатации. // Вестник МАДИ(ГТУ), вып. 2, 2004
15. Гриб В.В., Петрова И.М. Накопление усталостных повреждений и оценка остаточного ресурса деталей с учетом изнашивания трибосопряжений в машине. // Вестник МАДИ(ГТУ). 2005. Вып. 4. - С. 22-25.
16. Гриб В.В Диагностическое моделирование механических систем. – СПб. Экспертные решения, 2014 – 448 с.

**THE CHANGING OF TECHNICAL STATE OF COMPLEX MECHANICAL SYSTEMS**

V.V. Grib, R.V. Zhukov, I.M. Petrova

The Moscow automobile road state technical university

In this report discusses general methodological approach to modeling of machine behavior changing during wear. In this case the assemblies and the processes running in them are considered as complex multiple – factor systems. The method of solving such problem consists in discretizing a mechanical system being examined in time and space and in implementing the numerical solution methods and its computer’s realization.

**Keywords:** technical state, modeling, degradation processes, wear, destruction.