

Д.В. ЕФРОСИНИН
(Российский университет дружбы народов, Москва)
М.П. ФАРХАДОВ (Институт проблем управления РАН, Москва)

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ С ПОСТЕПЕННЫМИ И ВНЕЗАПНЫМИ ОТКАЗАМИ

В данной работе рассматривается управляемая техническая система с наблюдаемым процессом деградации, где возникают постепенные и внезапные отказы. После постепенного отказа система переходит на следующую стадию деградации, где, в соответствии с заданной политикой управления, возможен профилактический ремонт с полным или частичным восстановлением. Система после внезапного отказа становится неработоспособной и после случайного времени восстановления переходит в абсолютно новое состояние. В работе формулируется задача оптимального управления профилактическим ремонтом с целью минимизации средних затрат в единицу времени при заданной структуре штрафов.

Введение

Для моделирования многих ненадежных технических систем, имеющих возможность мониторинга состояний, могут быть использованы модели с наблюдаемыми стадиями деградации. Это означает, что система помимо внезапных отказов, приводящих в состояние неработоспособности, может иметь также и постепенные отказы, когда система переходит от одной стадии деградации к другой, оставаясь при этом работоспособной, хоть и с меньшей эффективностью.

Рассматриваемая в работе система предполагается восстанавливаемой, причем в состоянии полного отказа система восстанавливается до абсолютно нового состояния, а на стадиях деградации - в соответствии с политикой управления, определяющей тип профилактического ремонта, а именно: частичное или полное восстановление системы. Необходимость управления профилактическим ремонтом связано с тем, что профилактика, проводимая на ранних стадиях деградации, может быть довольно дорогой, если время между последовательными ремонтами будет незначительно. На слишком поздних стадиях увеличивается вероятность внезапного отказа, вследствие чего система становится неработоспособной, что в свою очередь также связано с дополнительными затратами. Наличие возможности для частичного восстановления зависит от постановки задачи, так как не всегда систему необходимо или возможно восстанавливать до абсолютно нового состояния. Во многих случаях экономически выгоднее проводить частичный ремонт и поддерживать систему на определенном уровне работоспособности. Таким образом, задача управления восстановлением сводится к поиску некоторого баланса на множестве стадий деградации для достижения оптимальной надежности системы с точки зрения средних затрат, вероятности работоспособности и вероятности полного отказа.

В качестве примера деградирующей системы мы можем привести систему, описывающую динамическое поведение состояния антикоррозионного покрытия,

толщина которого постепенно уменьшается. Задача состоит в поиске оптимально толщины покрытия, когда необходимо его обновить или заменить. Если профилактический ремонт будет слишком задержан, это может привести к повреждению поверхности коррозией и отказу системы.

Различные типы систем с профилактическим ремонтом были исследованы многими авторами. Модели с периодическим восстановлением подробно описаны в [1]. Управляемая двухуровневой политикой система с повреждениями вследствие ударных нагрузок рассматривалась в работе [2]. В [3] был исследован марковский процесс деградации, описывающий износ оболочки подшипника скольжения и решена задача оптимального управления профилактическим ремонтом с целью минимизации средних затрат в единицу времени. Также задача оптимального управления процессом деградации использовалась в статье [4] для моделирования роста усталостных трещин. Для введенной структуры штрафов авторами была решена задача оптимального управления и была найдена двухуровневая оптимальная политика, в качестве параметров имеющая состояние деградации для сигнализирования необходимости проведения профилактического ремонта, производимого через случайное время, а также общее число стадий деградации до полного отказа системы. Различные типы управляемых и неуправляемых деградирующих систем с постепенными и внезапными отказами, а также их сравнительный анализ представлены в работе [5].

В данной работе мы также рассмотрим деградирующую систему, управляемую двухуровневой политикой. В отличие от работы [4], первый параметр политики управления в нашем случае указывает на определенную стадию деградации, где осуществляется профилактический ремонт системы. Вторым параметром используется для определения стадии возврата, т.е. начального состояния системы после профилактического ремонта и указывает на необходимость проведения полного или частичного восстановления. Задача оптимизации формулируется в общем виде для произвольных распределений соответствующих времен. В качестве специального случая рассматривается марковский процесс с введенной структурой штрафов, для которого решается задача оптимального управления и вычисляется функция надежности. Средние затраты в единицу времени представляются в виде функции, зависящей от параметров политики управления, с применением регенеративного подхода, а также с помощью стационарных вероятностей.

Статья организована следующим образом. В разделе 2 описывается математическая модель системы. Регенерирующий процесс в общем виде описан в разделе 3, где представлены выражения для средних потерь в единицу времени и асимптотическая формула функции надежности. Марковская модель с затратами и соответствующая задача оптимизации описаны в разделе 4. Раздел 5 содержит численные примеры и их краткое обсуждение. Раздел 6 заключает данную статью.