

**АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ
ТЕХНИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ****А. Ф. Берман, О. А. Николайчук, А. И. Павлов, А. Ю. Юрин (Иркутск)**

Аварии на сложных технологических комплексах (СТК), используемых для реализации опасных процессов при экстремальных значениях параметров взрывопожароопасных и токсичных сред являются источником техногенных чрезвычайных ситуаций. Социальные, экономические и экологические последствия подобных техногенных чрезвычайных ситуаций обуславливают необходимость совершенствования научных основ обеспечения техногенной безопасности. Значительное число аварий обусловлено отказами уникальных механических систем (УМС), входящих в состав СТК и реализующих экстремальные технологические операции. Под УМС понимаются механические системы, изготавливаемые в одном – пяти экземплярах, эксплуатируемые в отличающихся условиях и реализующие экстремальные технологические операции в составе СТК. Отказы УМС обусловлены процессами ухудшения (деградации) их свойств до такой степени, когда УМС перестают выполнять возложенные на них функции, в частности, обеспечение безопасности.

Задача предотвращения отказов УМС в значительной степени связана с задачей прогнозирования технического состояния. Динамика технического состояния определяется факторами, обуславливающими протекание деградационных процессов в элементах УМС. Под деградационным понимается механо-физико-химический процесс, протекающий в материале детали, обуславливающий изменение технического состояния следующих элементов иерархии «деталь – сборочная единица – механическая система» и приводящий к прекращению функционирования и/или нарушению безопасности эксплуатации [1, 2].

Применение современных технологий имитационного моделирования является одним из эффективных способов решения задачи прогнозирования и исследования технического состояния УМС. Так как УМС – это объект со сложной структурой, и его состояние складывается из состояний его элементов, для моделирования динамики технического состояния целесообразно использовать подход «Агентное моделирование» [3, 4, 5].

Данный подход позволяет моделировать поведение сложно-структурированных объектов и предназначен для моделирования систем, содержащих большое количество подсистем, обладающих индивидуальным поведением. [4, 5].

Очень важным для рассматриваемой проблемы преимуществом агентного моделирования является то, что, в отличие от моделей системной динамики или дискретно-событийных моделей, здесь нет необходимости подробно определять поведение системы в целом, разработка модели возможна при отсутствии глубоких знаний о глобальных зависимостях. Агентную модель можно построить, опираясь на знания об индивидуальной логике поведения объектов. А информацию об особенностях динамики системы в целом можно вывести из результатов исследования поведения модели. Агентную модель проще поддерживать: уточнения обычно делаются на локальном уровне и не требуют глобальных изменений [4, 5].

В процессе создания имитационной модели динамики технического состояния УМС для каждого уровня структурной иерархии необходимо построить соответствующую модель агента. Первым рассматриваемым уровнем является уровень «деталь». Агенты данного уровня могут находиться в одном из следующих состояний: исходная дефектность – повреждение – разрушение – отказ [6]. Процесс изменения состояния детали определяется деградационным процессом, протекающим в ее материале. Воз-

никновение деградиционного процесса обуславливается совокупностью факторов, воздействующих на деталь. Воздействующими факторами являются: контактная среда (вода различной степени очистки, кислоты, щелочи и т. п.) и нагрузки (растягивающие, сжимающие, циклические, ударные и т. д.). Переходы между состояниями детали зависят от микро- и (или) макроскопических явлений, возникающих как реакция материала на воздействия во времени (рис. 1).

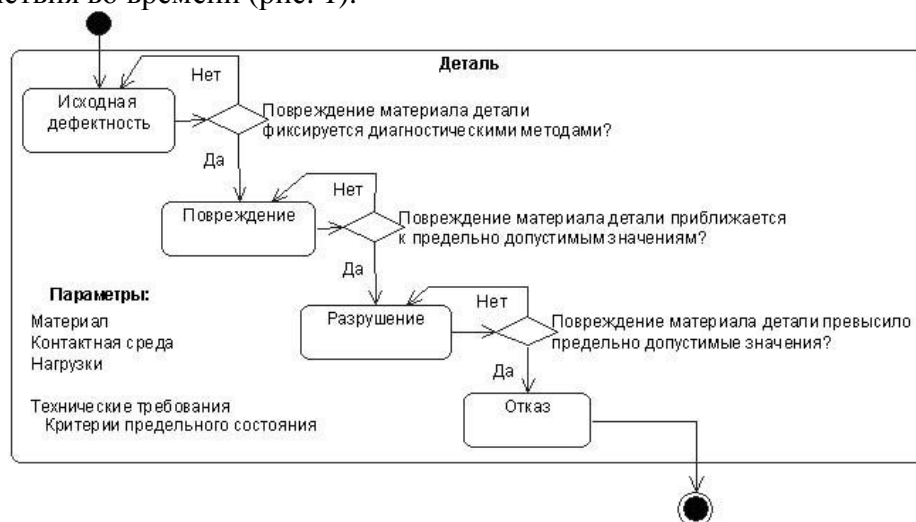


Рис. 1. Карта состояний агента, моделирующего деталь

Условием перехода детали из состояния исходной дефектности в состояние повреждения является переход процесса деградации с субмикроуровня на микроуровень. На стадии применения это означает, что состояние повреждения материала детали можно определить с использованием стандартных диагностических методов и средств.

Переход детали из состояния повреждения в состояние разрушения происходит в тот момент, когда параметры повреждения материала детали вплотную приближаются к пределу допустимых значений согласно техническим требованиям.

Переход детали из состояния разрушения в состояние отказа фиксируется в момент, когда параметры повреждения материала детали выходят за пределы допустимых эксплуатационных значений.

Следующим рассматриваемым уровнем является уровень «сборочная единица». Агенты данного уровня могут находиться в следующих состояниях: исправное – работоспособное – отказ [6] (рис. 2). Условием перехода сборочной единицы из одного состояния в другое является отказ какой-либо из входящих в ее состав деталей. Если последствия отказа детали являются недопустимыми согласно техническим требованиям, то происходит отказ сборочной единицы.

Модель агента уровня механической системы имеет аналогичную карту состояний, за исключением того, что переходы между состояниями инициируются отказами входящих в состав механической системы сборочных единиц.

Наибольший интерес для исследования представляет моделирование процесса деградации на уровне детали, т.к. отказы деталей являются первопричиной отказов механических систем и моделирование этого процесса позволяет получить детерминированные оценки времени отказа, что особенно важно в случае УМС, когда отсутствует возможность использования статистической информации для определения вероятности отказа. Рассмотрим работу алгоритма моделирования процесса деградации для детали «гну́тая труба», исходными значениями параметров, моделирующих деталь агента, являются: материал детали – низколегированная сталь (Cr – Ni – Mo); контактная среда – химически очищенная вода; нагрузки – растягивающие напряжения (около 1020 МПа).

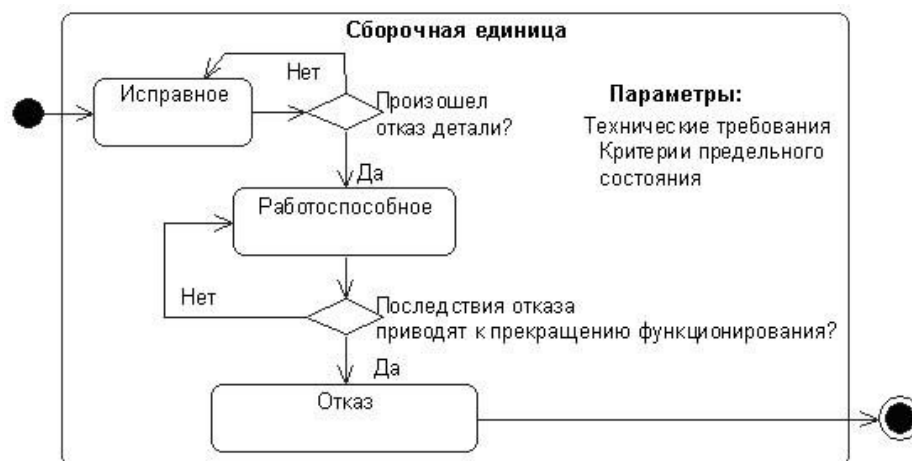


Рис. 2. Карта состояний агента, моделирующего сборочную единицу

Первым шагом алгоритма является определение деградиационного процесса. Для определения вероятного деградиационного процесса используется прецедентная экспертная система [7], осуществляющая поиск прецедентов, в которых аналогичный материал подвергался аналогичным воздействиям. В том случае, если аналог не был найден или близость найденного прецедента недостаточна, используется производственная экспертная система [8], определяющая деградиационный процесс с помощью информации о свойствах материала детали, контактной среде и нагрузках. В рассматриваемом случае деградиационным процессом будет коррозионное растрескивание [1], которое приводит к развитию и росту трещин из существующих дефектов.

С каждым деградиационным процессом связана информация о реакции материала на его воздействие, а также информация о механизме воздействия данного процесса на материал детали, чаще всего это полученные эмпирическим путем математические закономерности, описывающие протекающие в материале процессы, такие, как рост трещин, увеличение глубины коррозии, износ и т.д. В процессе моделирования данные эмпирические закономерности используются для определения текущего состояния детали. Коррозионное растрескивание характеризуется скоростью роста глубины трещин, а наблюдаемым параметром является глубина трещины. Полученная зависимость используется для вычисления количества времени необходимого для достижения трещиной недопустимой глубины (рис. 3).

При этом условием перехода рассматриваемой детали из состояния исходной дефектности в состояние повреждения является появление на поверхности детали линий и полос скольжения, а также трещин длиной более 100 мкм.

Переход детали из состояния повреждение в состояние разрушения происходит при появлении на поверхности детали питтингов диаметром 1–2 мм, глубиной 1–2 мм; язв диаметром 3–5 мм, глубиной 1–3 мм и трещин глубиной не более 3 мм.

Переход в состояние отказа осуществляется при увеличении глубины и длины трещин до величины более 3 мм и 5 мм соответственно.

Представление УМС в виде иерархии взаимодействующих между собой агентов, благодаря рассмотрению отказа детали в качестве результата деградиационного процесса, а не как события с некоторой вероятностью, обеспечивает возможность получения более точных результатов прогнозирования динамики технического состояния УМС. Также следует отметить, что существующие механизмы воздействия деградиационных процессов на материал детали в большинстве случаев описаны только эмпирическими зависимостями, и для их совершенствования необходимы дальнейшие исследования. В частности, существует трудность оценки времени перехода детали из состояния ис-

ходной дефектности в состоянии повреждения, т.к. наблюдения затруднены необходимостью получения информации о параметрах повреждения материала на субмикровывне.



Рис. 3. Схема работы агента, моделирующего поведение детали

Результаты имитационного моделирования механических систем можно использовать на этапе проектирования для выявления возможных деградационных процессов, обоснования наиболее подходящего материала и структуры. На этапе эксплуатации модель может быть использована для определения остаточного ресурса и обоснования периодичности технического обслуживания и ремонта.

Литература

1. Берман А. Ф. Деградикация механических систем. Новосибирск: Наука, 1998. 320 с.
2. Берман А. Ф., Николайчук О. А., Юрин А. Ю. Автоматизация прогнозирования технического состояния и остаточного ресурса деталей уникальных машин и аппаратуры // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2009. № 3. С. 48–57.
3. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 400 с.
4. Борщёв А. В. От системной динамики и традиционного ИМ – к практическим агентным моделям: причины, технология, инструменты. // URL: <http://www.gpss.ru/paper/borshevarc.pdf>.
5. Паринов С. И. Новые возможности имитационного моделирования социально-экономических систем // Ежеквартальный Интернет – журнал «Искусственные общества» Том 2, номера 3–4, III–IV кварталы 2007. С.26–62 URL.
6. Берман А. Ф., Николайчук О. А. Пространство технических состояний уникальных механических систем // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2007, № 1, с.14–22.
7. Павлов А. И., Юрин А. Ю. Компонентный подход: модуль правдоподобного вывода по прецедентам. // Программные продукты и системы. 2008. № 3. С. 55–58.
8. Николайчук О. А., Павлов А. И., Юрин А. Ю. Компонентный подход: модуль производственной экспертной системы. // Труды международных научно-технических конференций «Интеллектуальные системы» (AIS'08) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2008), Дивноморское, 3–10 сентября, 2008. В 3 т. М.: Физматлит, 2008. Т. 2. С. 3–7.