

Можно выделить несколько видов имитационных испытаний, отличающихся целью и используемыми моделями. Испытания технологических алгоритмов проводятся на исправных технических средствах или моделях с целью подтверждения безопасного функционирования при отказах внешних датчиков и неправильных действиях оператора. Для имитации внешних датчиков и действий оператора разрабатывается имитатор технологических ситуаций. Испытания аппаратных средств при сбоях и отказах выполняются с использованием пакета схемотехнического моделирования *PSpice* с целью доказательства отсутствия отказов и сбоев элементов, приводящих к опасному отказу всей системы. Имитационные испытания программно-технических средств выполняются с помощью разработанного в лаборатории «Безопасность и ЭМС технических средств» программного комплекса для проведения имитационных испытаний на безопасность функционирования КИИБ. При этом моделируются различные неисправности программируемых БИС и определяются достоверность контроля исправности вычислительных каналов и способность обнаружения отказов средствами программного обеспечения.

Проведение имитационных испытаний требует значительных подготовительных работ, включающих в себя анализ функционирования изделия, определение временных и электрических характеристик на входах и выходах отдельных частей схемы, разработка недостающих моделей и их аттестация, определение критериев опасного отказа для каждой части схемы и разработка программ и методик имитационных испытаний на безопасность функционирования.

Для более широкого применения имитационных испытаний необходимо включить имитационные испытания на безопасность функционирования в перечень обязательных испытаний при сертификации систем железнодорожной автоматики, разработать или дополнить существующие нормативные документы по испытаниям на безопасность функционирования конкретными методиками, регламентирующими вопросы выбора системы моделирования, виды и кратность моделируемых отказов и способы их имитации. В этом случае имитационные испытания, проводимые в разных испытательных лабораториях и разработчиками систем, будут иметь одинаковые результаты и станет возможным их взаимное признание.

УДК 656.25-52

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИКИ

В. И. ШАМАНОВ, А. В. ПУЛЬТЯКОВ

Иркутский государственный университет путей сообщения

Внедрение микропроцессорных систем телеконтроля, телеизмерения и удаленного мониторинга позволяет ставить задачи оптимизации процессов эксплуатации больших технических систем, к которым относятся и системы железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). Такой задачей является минимизация расходов ЖАТ при использовании более передового метода технического обслуживания – “по состоянию”.

Поведение больших технических систем удобно описывать с использованием математического аппарата цепей Маркова, однако надежность системы при проявлении деградиационных процессов лучше описывается так называемыми “стареющими законами”, учитывающими далекую предисторию. Марковскую аппроксимацию процессов старения можно обеспечить за счет нелинейного преобразования – квантования по уровню случайных функций, характеризующих изменение во времени обобщенного параметра устройства или системы.

Такое нелинейное преобразование вполне естественно для систем ЖАТ, так как при их эксплуатации параметры измеряются обычно в дискретные и, как правило, равноотстоящие моменты времени. Математическая модель такого процесса включает в себя вектор-столбец, задающий вероятностное распределение состояний в нулевой момент времени, и стохастическую матрицу вероятностей переходов из одного состояния в другое.

Для практического применения наиболее удобны эргодические матрицы, у которых из каждого состояния можно попасть в любое другое состояние и предельные значения вероятностей состояний не зависят от начальных условий. Матрица-строка предельных вероятностей для эргодических цепей может быть найдена согласно теореме Маркова возведением матрицы переходов в достаточ-

но большую степень. Так удобно описывать процессы, которые развиваются естественным образом, без вмешательства извне. Если на каждом шаге принимать решение (управление) о переводе системы в другое конкретное состояние, то процесс становится управляемым. В случаях, когда выбираемое управление в конкретный момент времени зависит только от значения процесса в этот момент и не зависит от времени, управление называется марковским однородным.

Основную задачу эксплуатации систем ЖАТ можно сформулировать как обеспечение требуемого уровня их безопасности при минимальных эксплуатационных расходах. В эти расходы необходимо включать затраты на профилактические и ремонтные работы, на восстановление работоспособности отказавших устройств, на потери в поездной работе при отказах. Тогда оптимальная марковская стратегия (набор управлений) должна обеспечивать минимизацию эксплуатационных расходов при включении ограничений по безопасности.

Для вычисления оптимальных марковских однородных стратегий применяется обычно метод динамического программирования. Если уравнение Беллмана имеет единственное решение при существовании оптимальной марковской однородной стратегии, то это решение является оптимальной функцией потерь.

При исследовании процессов технического обслуживания более удобной оказывается формулировка задачи управления для поиска оптимальной стратегии в виде задач линейного программирования. При этом влияние различных факторов может быть уточнено либо введением соответствующих дополнительных условий в систему ограничений, либо модернизацией целевой функции. При этом можно учитывать, например, такие факторы, как недостоверный контроль, допустимый уровень вероятности опасных отказов, неполное восстановление за счет невозможности или ограниченной возможности проведения технического обслуживания.

Для систем ЖАТ весьма характерной является задача построения правил технического обслуживания, которые обеспечивали бы удовлетворение требований, когда вероятность опасных отказов системы не может превышать некоторого заданного уровня. В этом случае вводят дополнительное ограничение, соответствующее условию, чтобы вероятность опасного отказа на очередном шаге не превысила некоторого заданного значения.

Заданное значение вероятности опасного отказа не должно быть меньше минимально возможного значения в системе, задаваемого исходной матрицей вероятностей переходов. При нарушении этого условия система ограничений становится противоречивой. Уменьшение вероятности опасного отказа означает требование обеспечить на очередном шаге меньшую вероятность опасного отказа. Это может быть достигнуто только при более частом проведении предупредительных работ, что соответствует снижению уровня оптимальной остановки.

Более общей является задача, когда при организации технического обслуживания учитывается неполное восстановление системы и требуется обеспечить вероятность опасного отказа в течение очередного шага не выше заданной. Математически такая задача сводится к задаче линейного программирования по минимизации целевой функции при двух дополнительных ограничениях.

В такой постановке задача не всегда имеет решение, так как общая система ограничений может оказаться противоречивой. Для проверки возможности решения используют теорему Кронекера-Капелли, в соответствии с которой достаточным условием непротиворечивости системы линейных уравнений (ограничений) является равенство рангов исходной и расширенной матриц. Если ранг расширенной матрицы больше ранга исходной матрицы, то система ограничений противоречива и задача линейного программирования решения не имеет.

Решение может существовать при больших абсолютных значениях ограничений. Увеличение ограничения по полноте восстановления системы приводит, например, к допуску больших остаточных уровней износа в её элементах. Увеличение ограничения по вероятности опасных отказов означает, что допускается больший риск, связанный с появлением опасного отказа и его последствиями. Возможность обеспечить функционирование системы с заданными значениями вероятностей опасных отказов состоит в улучшении её характеристик надежности, т. е. в уменьшении значений элементов матрицы переходных вероятностей.

Для построения Марковской стратегии управления техническим обслуживанием систем ЖАТ необходимо знать статистические характеристики случайного процесса. При этом прежде всего необходимо оценить, описывается ли процесс изменения состояний системы простой цепью Маркова (цепью Маркова первого порядка) и стационарна ли эта цепь.