

Е. И. Сукач

г. Гомель, ГГУ им. Ф. Скорины

**МЕТОДИКА АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА
С ЭЛЕМЕНТАМИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ**

Исследования показывают, что определение стратегии надежной работы СУ ТПП, функционирующей в условиях влияния большого числа разнообразных факторов, влияющих как на

работу самой СУ, так и на реализацию ТПП, – сложный и трудоемкий процесс, требующий рассмотрения множества возможных интерпретаций, сравнений и сопоставлений, конечные результаты которого могут иметь достаточно приблизительный характер. С одной стороны необходимо обеспечить устойчивое безотказное функционирование СУ, с другой стороны, работа СУ должна обеспечивать генерацию и исполнение команд, позволяющих регулировать и упреждать возникновение опасных ситуаций в ходе реализации ТПП, включающего элементы потенциальной опасности. Такая стратегия может быть сформирована только в результате гармоничного объединения процесса планирования работы СУ и процесса прогнозирования изменений надежности ТПП в ходе многократного его повторения.

В статье предлагается один из подходов к решению поставленной задачи в виде методики анализа надежности СУ ТПП с элементами потенциальной опасности и средств ее автоматизации, представляющих собой систему вероятностно-алгебраического моделирования PALS [1], предметно-ориентированную на выявление вероятностных предельных значений надежности/безопасности структурных элементов СУ ТПП, исключающих аварии и обеспечивающих их надежное/безопасное функционирование как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации.

Методика проектного моделирования СУ ТПП. В ходе проектирования СУ ТПП с элементами потенциальной опасности оценивается надежность/безопасность их функционирования как объектов, которые включают в качестве элементов оборудование, надежность работы которого может иметь изменяющиеся во времени вероятностные характеристики надежности. СУ ТПП представляется как многоуровневая конструкция из взаимодействующих элементов (потенциально опасных элементов), объединяемых в подсистемы различных уровней иерархии. При формализации все элементы СУ описываются однотипным образом: выделяются состояния объектов (элементов/системы); задаются векторы вероятностей этих состояний:

$$P^{it} = (p_0^{it}, p_1^{it}, \dots, p_n^{it}), \sum_{j=0}^n p_j^{it} = 1, i = \overline{1, m}, t = \overline{1, T} \quad (1)$$

Связи между устройствами оборудования, обеспечивающие передачу актуальной управляющей информации, определяют структурную организацию СУ ТПП. Итогом процесса формализации СУ ТПП является графовая структура, описывающая h -ый вариант организации объекта исследования с выделением потенциально опасных элементов и их взаимосвязей на выбранном уровне детализации. Результат моделирования h -го варианта вероятностно-алгебраической модели представляется в виде изменяющегося во времени вектора вероятностей надежности СУ ТПП:

$$P^{st} = (p_0^{st}, p_1^{st}, \dots, p_n^{st}), \sum_{j=0}^n p_j^{st} = 1, t = \overline{1, T} \quad (2)$$

Методика заключается в поэтапном использовании одной из схем формализации [2] и последующей автоматизации создания и эксплуатации вероятностно-алгебраических моделей СУ ТПП. Первый этап направлен на формализацию СУ ТПП и проверку ее структурной сложности, позволяющей определить метод ее исследования. Для этого используются встроенные средства анализа в составе системы вероятностно-алгебраического моделирования PALS. Второй этап заключается в использовании одной из параметризованных моделей для создания моделей проектируемых СУ ТПП. Для СУ ТПП простой структурной организации выбирается модель, не имеющая ограничений на число элементов и их состояний. Для СУ ТПП с элементами структурно-сложной организации используется модель, реализующая методику сведения к совокупности бинарных моделей. Для СУ ТПП большой размерности реализуется расчетный метод вероятностно-алгебраического моделирования, базирующийся на представлении исследуемого объекта в виде структуры n -полюсника и последующего вероятностно-алгебраического умножения его подструктур. Следующий этап методики предполагает эксплуатацию готовой вероятностно-алгебраической модели СУ ТПП, результативность проведения которой гарантируется наличием встроенных средств расчета сопутствующих статистических характеристик, визуализации результатов моделирования и применения процедур выбора решений.

Методика реализации адаптивного вероятностно-алгебраического моделирования ТПП с элементами потенциальной опасности. Конечной целью работы СУ является фиксирование и анализ происходящих изменений в процессе реализации ТПП и своевременная реализация управляющих воздействий, позволяющих исключить возможность возникновения опасных ситуаций в ходе реализации технологического цикла, обеспечивающая надежность выполнения

последовательности технологических операций (ТХО) в приемлемых границах изменения их рабочих параметров. В этом случае параметризованные вероятностно-алгебраические модели ТПП служат основным звеном, позволяющим выбрать направление и состав корректирующих воздействий, определяющих ход технологического процесса производства. Модели позволяют рассмотреть объект на разных уровнях детализации, определив состав элементов и указав семантику состояний этих элементов.

Методика реализации вероятностно-алгебраического моделирования ТПП, как основного элемента СУ, генерирующей управляющие воздействия на основе предварительного расчета вероятностных характеристик надежности/безопасности реализации ТПП реализуется последовательностью следующих этапов.

Этап 1. Формирование статистической информации об отказах выполнения ТХО на очередном временном интервале. В ходе многократной реализации цикла ТПП на очередном временном интервале из множества $\{\Delta t_i, i = \overline{1, n}\}$, в совокупности покрывающих временной интервал Т, учитываются изменения, происходящие с элементами технологического процесса (ТХО). Информация об отказах при выполнении ТХО, поступающая с приборов индикации, с использованием устройств сопряжения СУ фиксируется в информационной базе данных (БД) системы моделирования и представляет собой исходные данные для расчёта начальных параметров моделирования.

Этап 2. Классификация отказов выполнения ТХО. В процессе анализа статистической информации, поступившей в БД, выделяются опасные отказы, приводящие к авариям и чрезвычайным ситуациям на уровне всей системы, и отказы, когда возможно проведение профилактических ремонтных работ по восстановлению надежности выполнения ТХО путем ремонта технологического оборудования, использования резервного оборудования, восполнения запасов материалов и комплектующих, необходимых для выполнения ТХО. Согласно выделенным типам отказов множество всех состояний ТХО разбивается на следующие группы: состояния надежного выполнения ТХО $\{S_n\}$; состояния выполнения ТХО, обусловленные простыми отказами $\{S_o\}$; аварийные состояния выполнения ТХО $\{S_a\}$.

Этап 3. Расчет текущих параметров моделирования ТПП. По имеющимся статистическим данным рассчитываются вероятности состояний надежности реализации ТХО в виде векторов (1) для текущего временного интервала Δt_i , а именно: состояний надежного выполнения ТХО; состояний, характеризующихся отказами в ходе выполнения ТХО; состояний, отражающих возникновение опасных отказов в процессе выполнения ТХО.

Этап 4. Реализация i-ой итерации вероятностно-алгебраического моделирования. Параметры моделирования в виде векторов вида (1) поступают на вход параметризованной модели ТПП, структурно отражающей последовательность выполнения ТХО. Для заданных параметров моделирования реализуется i-ый цикл моделирования, результатом которого являются вектора вида (2), которые вместе с исходными параметрами i-ой итерации моделирования поступают в БД системы моделирования и анализируются блоком управления динамикой моделирования.

Этап 5. Анализ результатов i-ой итерации вероятностно-алгебраического моделирования ТПП. В результате анализа наиболее вероятных состояний надежности выполнения ТХО и реализации технологического цикла в целом устанавливаются значения признаков аварийности для всех ТХО $\alpha_{ij}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$ и ТПП в целом α_s . Значение признака $\alpha_{ij} = 0$ определяет надежное выполнение ТХО_j на временном интервале Δt_i . При $\alpha_{ij} = 1$ выполнение ТХО_j сопровождается простыми отказами и возможно восстановление надежности выполнения ТХО_j путем реализации операций замены или упреждающего перехода на одну из схем одиночного или группового резервирования, обновления состава оборудования, изменения параметров выполнения ТХО_j. При $\alpha_{ij} = 2$ считается, что велика вероятность возникновения опасной аварии при выполнении ТХО_j, имеющей разрушительные последствия на уровне всей системы.

На основе полученных значений признаков α_{ij} аварийности выполнения последовательности ТХО_j для очередного временного интервала Δt_i определяется признак аварийности всего ТПП α_s , на основе которого делаются выводы о возможности реализации ТПП на следующем интервале Δt_{i+1} в установленном режиме либо о необходимости генерации управляющих воздействий.

С учетом эвристических правил, установленных экспертом-технологом для исследуемого ТПП в блоке управления динамикой моделирования, в процессе анализа результатов моделирования для Δt_i интервала моделирования ТПП формируется набор корректирующих мер, определяющих те управляющие воздействия, которые обеспечат последующее надежное функционирование ТПП и позволят предупредить возникновение аварий в процессе выполнения циклов производственного процесса на следующем временном интервале Δt_{i+1} . Корректирующие меры включают три вида воздействий: обновление/изменение параметров выполнения ТХО; переход к одному из вариантов резервирования ТХО (частичное изменение структурной организации ТСП); изменение структурной организации ТПП.

В том случае, если значение признака аварийности $\alpha_{ij} \neq 0$ в соответствии с правилами моделирования принимаются решения по модификации структурной организации ТПП и корректировке нагрузки. При аварийном выполнении ТХО ($\alpha_{ij} = 2$) по функции распределения разыгрывается время (t_v), необходимое для проведения работ по ликвидации последствий отказов и аварий, возникших в ходе выполнения ТХО_j и направленных на восстановление надежности/безопасности выполнения ТХО_j, определяющее число итераций моделирования, на которых соответствующий элемент модели исключается из ее структурного состава, таким образом приводя в соответствие организацию ТПП с полученными оценками надежности выполнения ТХО и ТПП в целом. В случае признака аварийности $\alpha_{ij} = 1$, корректируются параметры элемента модели, описывающей выполнение ТХО_j. Если удастся описать процесс изменения надежности реализации ТХО_j Марковской моделью, корректирующее воздействие может означать, например, переход к описанию процесса изменения надёжности выполнения ТХО_j моделью с восстановлением. При $\alpha_s = 2$ генерируются возможные варианты модификации всего ТПП, среди которых выбирается лучший с учетом установленного критерия сопоставления.

Этап 6. Реализация адаптивного вероятностно-алгебраического моделирования вариантов модификации ТПП. Оценки вероятностно-алгебраического моделирования ТПП на очередной i -ой итерации представляют собой исходную информацию для генерации блоком управления системы моделирования вариантов модификации ТПП, включающих изменение параметров выполнения отдельных ТХО и модификацию структурной организации всего ТПП с учетом установленного типа отказа. Для каждого из вариантов модификации ТПП реализуются модельные эксперименты, исходные параметры (1) и результаты (2) которых поступают в БД моделирования и анализируются в соответствии с заданным критерием надежности/безопасности. По результатам анализа выбирается оптимальный вариант модификации ТПП.

Этап 7. Реализация оптимального варианта модификации ТПП. С использованием устройств синхронизации СУ реализуются изменения параметров и структурной организации в самом объекте моделирования. Выполнение ТПП на временном интервале Δt_{i+1} реализуется с учетом внесенных изменений (обновления технологического оборудования, использования схем резервирования, выполнения ТХО в режиме профилактического ремонта оборудования, изменения структуры ТПП и др.) которые обеспечат надежность выполнения отдельных ТХО и безопасность реализации ТПП. Для обновленного варианта организации ТПП реализуется переход на этап 1.

Предложенная методика обеспечивает объективный подход при анализе надежности СУ ТПП и оценке вероятности наступления опасного состояния в ходе ее работы в перспективном периоде с учетом ее адаптации и возможности моделирования прогнозных вариантов модификации ТПП с элементами потенциальной опасности.

Список использованных источников

- 1 Сукач, Е. И. Компьютерная система вероятностно-алгебраического моделирования сложных систем со многими состояниями / Е. И. Сукач, А. Б. Демуськов, Д. В. Ратобыльская // Математические машины и системы. – 2011. – № 3. – С. 32–39.
- 2 Сукач, Е. И. Способ формализации объектов графовой структуры с вероятностными параметрами функционирования / Е. И. Сукач, Д. В. Ратобыльская, Ю. В. Жердецкий, Г. А. Мальцева // Известия Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины. – 2012. – № 5. – С. 195–202.