

УДК 681.3;007.003;007.008;65.0

СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА УПРАВЛЯЕМЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

В.С. Смородин

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель

SYNTHESIS OF STRUCTURE OF THE TECHNOLOGICAL CYCLE OF MANAGED PRODUCTION SYSTEMS

V.S. Smorodin

F. Scorina Gomel State University, Gomel

Предлагается способ синтеза структуры технологического цикла для управляемых производственных систем на основе конечного множества математических моделей. В качестве инструмента реализации предлагаемого подхода используются динамические имитационные модели. Приводится теоретическое обоснование и технология применения динамической имитации как способа системного анализа сложных систем для класса управляемых производственных систем с вероятностными характеристиками их функционирования.

Ключевые слова: классы сложных систем, управляемые производственные системы, динамические имитационные модели, синтез структуры технологического цикла.

The method of synthesis of structure of the technological cycle for managed production systems based on a finite set of mathematical models is proposed. Dynamic simulations are used as an instrument for the implementation of the proposed approach uses. Theoretical basis and application of dynamic simulation technology as a method of system analysis of complex systems for a class of managed production systems with the probabilistic characteristics of their functioning are provided in the paper.

Keywords: classes of complex systems, managed production systems, dynamic simulations, synthesis of structure of the technological cycle.

Введение

Многообразие сложных технологических систем, в ходе реализации которых могут изменяться параметры их функционирования и структура технологического цикла, сложность возникающих практических задач при оценке уровня надежности и безопасности потенциально опасных промышленных объектов в настоящее время требуют разработки новых подходов и технических решений при оптимизации структуры производственных систем на стадии их проектного моделирования.

Эффективным средством решения актуальных проблем в подобных случаях является системный анализ объектов исследования [1], в качестве которых в данной работе рассматриваются управляемые производственные системы (УПС) с вероятностными параметрами их функционирования. При этом под вероятностными параметрами функционирования могут пониматься характеристики надежности функционирования оборудования, задействованного в ходе реализации технологического цикла производства, характеристики выполнения технологических операций, качественные характеристики используемых в процессе производства материалов и комплектующих изделий.

В данной работе для управляемых производственных систем как класса сложных систем предлагается гибкий математический аппарат

реструктуризации имитационных моделей, позволяющий представить объект исследования в виде конечного множества математических моделей. Подобное представление обеспечивает получение результирующей структуры технологического цикла, которая содержит оптимизированные (в рамках заданного критерия качества функционирования объекта исследования) схемы резервирования технологических операций в процессе имитации.

В качестве инструмента реализации предлагаемого подхода используется динамическое имитационное моделирование, базирующееся на разработке динамических имитационных моделей управляемых производственных систем. Управление производственной системой в контексте данной статьи понимается в смысле упреждения конфликтных ситуаций в процессе функционирования технологического цикла производственной системы.

Новизна предложенного подхода состоит в обеспечении возможности построения интегральной графовой структуры технологического цикла, что позволяет получить результирующую структуру, содержащую конкретные схемы резервирования технологических операций в зависимости от вероятностных параметров функционирования управляемой производственной системы.

Построенные при этом динамические имитационные модели могут быть использованы в качестве составных компонентов в системах анализа функционирования при автоматизации технологических процессов и производств, а также при разработке и автоматизации систем проектирования новых технологических объектов.

1 Описание математического аппарата, используемого при реструктуризации имитационных моделей

Возможность отказов оборудования управляемой производственной системы при выполнении агрегатов-имитаторов технологических операций [2] $AMTXO_{ij}$ ставит эксперта-технолога перед необходимостью на стадии проектирования предусмотреть выход из состояний, возникших после аварии. На этот случай в имитационной модели (ИМ) предусматриваются «резервные» цепочки $AMTXO_{ij}$, которые активируются только при появлении аварий. Переключение на «резервную» ветвь $AMTXO_{ij}$ реализуется за счёт использования булевой матрицы коммутации $\|\gamma_{ns}\|$, формируемой экспертом-технологом до начала имитации. Строками этой матрицы (n) являются номера агрегатов $AMTXO_{ij}$ на входе агрегата-события $ASOB_i$, а столбцами (s) являются номера резервных $AMTXO_{ij}$ на выходе $ASOB_j$, которые необходимо инициировать в поставарийной ситуации. Подобное «технологическое резервирование» является динамическим регулятором поставарийной ситуации в УПС.

Другим способом недопущения аварий оборудования является автоматический переход на резервные устройства, когда хотя бы для одного из устройств оборудования фактическая «наработка» превышает пороговые значения из множества $\{ind_r\}$. Элементы этого множества $\{ind_r\}$ поступают в подсистему $PS.OPEREX$, которая проверяет близость к пороговому значению наработки всех устройств оборудования. При достижении близости к пороговым значениям у нескольких устройств формируются следующие воздействия на ИМ: групповой переход на резервирование тех устройств, у которых наработка близка к критической (α_1); переход на общую профилактику оборудования из-за неэффективности группового резервирования или нехватки резервных устройств (α_2); допускается возможность аварии в тех случаях, когда процесс производства останавливать нельзя, и состояния индикаторов игнорируются (α_3); если оборудование изношено и общая профилактика будет неэффективна, принимается решение о досрочном завершении имитации h -го варианта ИМ

УПС, поскольку появление аварии для данного технологического процесса недопустимо (α_4).

$PS.ANALEX$ использует статистику имитаций $\{ST_k\}$ и множество откликов модели $\{Y_{oj}\}$. Откликами Y_{oj} являются усреднённые по числу реализаций N их интегральные значения для h -го варианта УПС: критическое время выполнения (T_{KPh}) технологического цикла производства, стоимость его реализации (C_{oh}), интегральный расход материалов и комплектующих изделий (mt_{oh}), количество использованных ресурсов r -го номера ($v_{\Sigma rh}$), суммарная стоимость ликвидации аварий (C_{ABh}), общие потери времени на профилактику (T_{OPh}). Интегральные отклики модели составляют многомерный вектор откликов V_{Oh} варианта структуры УПС, у которого все компоненты требуют минимизации, но имеют различную размерность и диапазоны изменения. Поэтому необходима нормировка компонентов этого вектора максимальными их значениями из всех вариантов организации структуры технологического цикла. Для сравнения вариантов структуры осуществляется «свёртка» этого вектора к скалярному показателю W_h способом весовых коэффициентов важности ($\Sigma_j \delta_j = 1; 0 \leq \delta_j \leq 1$) откликов с номером j . Вариантам организации структуры УПС соответствуют значения вектора параметров $\{X_{ojh}\}$ и постоянных параметров имитации множества $\{G_h\}$. Каждая из составляющих векторов параметров может меняться на различных уровнях. Поэтому общее количество вариантов N_h ($h = \overline{1, K_0}$) определяется стратегией изменения каждого уровня параметров. Выбор оптимальной стратегии осуществляется на основе классических методов планирования экспериментов. Эксперт с помощью воздействия θ_3 инициирует подсистему $PS.ANALEX$ и последующий запуск h -го варианта ИМ УПС. Минимальное значение W_h по всему множеству вариантов с номером h будет решением задачи построения оптимального варианта организации структуры УПС.

Важной статикой реализации имитационной модели является граф критических путей ($GRKRP_h$), который получен после наложения всех реализовавшихся критических путей. С помощью сообщений θ_4 подсистема $PS.ANALEX$ выдаёт эксперту графики расхода (в модельном времени t_0) ресурсов r -го типа $Z_{1rh}(t_0)$, финансовых средств $Z_{2rh}(t_0)$, а также временные диаграммы использования оборудования и исполнителей ($DIAGR_{rh}$). Оперативная статистика

реализации ИМ в виде сообщения θ_4 предоставляется эксперту-технологу для принятия решений на основе классической теории принятия решений. В результате эксперт формирует набор управляющих воздействий ($\theta_1, \theta_2, \theta_3$ и θ_5), которые затем через подсистему принятия решений *SPRESH* обеспечивают возможность досрочной остановки l -й реализации имитационной модели, перевод всех устройств оборудования на профилактику, оперативное изменение характеристик надёжности функционирования оборудования.

2 Оптимизация схем резервирования технологических операций

При оптимизации схем резервирования технологических операций на стадии проектного моделирования эксперт-технолог может использовать следующие стратегии: задание начальных значений множества констант-характеристик процесса $\{H\}$, определяющих состав ресурсов предприятия; выбор алгоритмов модификации структуры технологического цикла при возникновении аварий в ходе реализации технологических операций $AMTXO_{ij}$; выбор оборудования, обладающего необходимой надёжностью функционирования и удовлетворительными временами восстановления работоспособности; изменение ценовой политики, определяющей стоимостные показатели реализации всех технологических операций. При этом варианты организации УПС будут отличаться составом множества $\{X\}$ параметров $AMTXO_{ij}$. Общее число (m) вариантов организации УПС определяется количеством комбинаций уровней элементов множества $\{X\}$.

Откликами имитационной модели УПС являются:

$\{Y_1\}$ – вектор усреднённых значений коэффициентов растяжения времени выполнения технологических операций $\{MTXO_{ij}\}$ из-за отказов и ликвидации аварий $\{\bar{\rho}_{ij}\}$, где $\bar{\rho}_{ij} = \frac{\tau_{Bij}}{\tau_{ij}}$;

$\{Y_2\}$ – вектор стоимостных показателей реализации УПС, состоящий из трех компонентов (реализации структуры при безотказной работе $\{Y_{21}\}$, стоимости восстановительных работ $\{Y_{22}\}$ и стоимости ликвидации аварий $\{Y_{23}\}$);

$\{Y_3\}$ – вектор суточного расхода материалов и комплектующих изделий;

$\{Y_4\}$ – вектор коэффициентов использования ресурсов технологического цикла;

$\{Y_5\}$ – вектор коэффициентов использования места на общих ресурсах;

$\{Y_6\}$ – вектор использования индивидуального оборудования с учетом наличия отказов и восстановлений его работоспособности;

$\{Y_7\}$ – вектор значений времени реализации технологического цикла при безотказной работе оборудования (Y_{71}) и при наличии отказов оборудования (Y_{72}).

Технология выбора управляющего воздействия на производственную систему при возникновении отказов и аварий оборудования предполагает предварительную их имитацию. Для принятия обоснованного решения необходимо выполнить следующую последовательность действий: ввод в базу данных модели исходной информации о структуре технологического процесса; задание начальных значений ресурсов согласно плану имитационных экспериментов; составление матрицы переключения резервных агрегатов $AMTXO_{ij}$ для каждого кустового выхода агрегата $ASOB_j$; выбор весовых коэффициентов δ_i откликов моделирования на основе априорной информации и стратегий управления; составление плана и проведение серий имитационных экспериментов, в ходе которых определяется статистика и вычисляются значения откликов моделирования $\{Y_i\}$; приведение откликов к одному масштабу и типу с последующим расчетом интегрального показателя L_{ks} и формирование матрицы решений; использование одного из классических критериев принятия решений для выбора рационального состава ресурсов технологического цикла.

3 Процедура реализации динамических имитационных моделей

Построение и использование динамических имитационных моделей управляемых производственных систем реализуется следующей последовательностью этапов.

На *этапе 1* задаётся начальная структура исходной имитационной модели вероятностного процесса с помощью операторов подсистемы формирования модели *PS.FORMMSG*.

На *этапе 2* реализуется натурный эксперимент с целью получения исходной информации для последующей проверки адекватности имитационной модели реальному объекту имитации. В случаях, когда не удаётся найти аналитический вид функций распределения, используется табличная форма их представления.

На *этапе 3* осуществляется верификация базового варианта имитационной модели. Задаётся начальный состав ресурсов, материалов, исполнителей и оборудования. Далее формируются управляющие таблицы-справочники и таблицы базы данных для хранения статистики имитации, используемые в дальнейшем при организации имитационного эксперимента.

На *этапе 4* реализуются функции испытания и анализа свойств имитационной модели,

которая представляет собой многошаговую процедуру использования стандартных методик испытания сложных систем, в процессе которой реализуются типовые этапы испытания имитационных моделей.

На *этапе 5* осуществляется контроль реализации имитационной модели в пошаговом режиме через случайные интервалы времени (до следующего события) с одновременной проверкой текущего состояния управляемой производственной системы на соответствие базовому варианту модели.

При наличии полного соответствия объекту имитации модельное время переводится на следующее событие, и функционирование имитационной модели продолжается. При изменении текущей структуры производственной системы производится запись реализовавшейся части технологического цикла в базу данных модели. Последнее свершившееся событие фиксируется в качестве начального для дальнейшего продолжения имитации, после чего выполняется возврат на *этап 1*.

По окончании имитации в базе данных модели завершается процесс формирования оптимизированной структуры технологического цикла, построенной в режиме модельного времени в соответствии с выбранным критерием качества функционирования объекта имитации.

Заключение

В работе предложен способ синтеза структуры технологического цикла управляемых производственных систем на основе конечного множества математических моделей на стадии их проектного моделирования. При реализации данного подхода предложено использовать динамические имитационные модели. Приведено теоретическое обоснование и технология применения динамической имитации как способа системного анализа сложных систем для класса управляемых производственных систем с вероятностными характеристиками их функционирования.

Дано описание математического аппарата, используемого при реструктуризации имитационных моделей. Показано, что новизна предложенного подхода состоит в предоставлении способа построения интегральной графовой структуры технологического цикла, который позволяет получить результирующую структуру, содержащую оптимизированные схемы резервирования технологических операций в рамках выбранного критерия функционирования объекта исследования.

Полученные результаты могут быть использованы в качестве составных компонентов в системах анализа функционирования при автоматизации технологических процессов и производств, а также при разработке и автоматизации систем проектирования новых технологических объектов.

Изложенный способ построения динамических имитационных моделей опирается на применение агрегатной системы автоматизации имитационного моделирования и ориентирован на случаи, когда динамику функционирования имитационных моделей управляемых производственных систем можно описать на уровне элементов управления со сложной логикой с использованием процедур метода Монте-Карло. В основу формализации управляемых производственных систем положены вероятностные графовые структуры [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Клир, Дж.* Системология. Автоматизация решения системных задач; пер. с англ. / Дж. Клир. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с.
2. *Сморodin, В.С.* Агрегатная система автоматизации моделирования вероятностных технологических процессов производства / В.С. Смородин // Математичні машини і системи (Mathematical Machines and Systems). – 2007. – № 1. – С. 105–110.

Поступила в редакцию 29.03.12.