

В.С. СМОРОДИН

МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОЙ ИМИТАЦИИ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

***Анотація.** Запропоновано метод проектного моделювання імовірнісних виробничих систем на основі побудови динамічних імітаційних моделей об'єктів дослідження. Наведені теоретичне обґрунтування методу дослідження і технологія побудови імітаційних моделей на основі агрегатної системи автоматизації моделювання. Обґрунтовано можливість використання методу динамічної імітації імовірнісних виробничих систем для рішення задачі синтезу оптимальної структури технологічного циклу з урахуванням характеристик надійності функціонування обладнання.*

***Ключові слова:** метод проектного моделювання, динамічні імітаційні моделі, синтез оптимальної структури, технологія динамічного моделювання.*

***Аннотация.** Предложен метод проектного моделирования вероятностных производственных систем на основе построения динамических имитационных моделей объектов исследования. Приведены теоретическое обоснование метода исследования и технология построения имитационных моделей на основе агрегатной системы автоматизации моделирования. Обоснована возможность использования метода динамической имитации вероятностных производственных систем для решения задачи синтеза оптимальной структуры технологического цикла с учетом характеристик надежности функционирования оборудования.*

***Ключевые слова:** метод проектного моделирования, динамические имитационные модели, синтез оптимальной структуры, технология динамической имитации.*

***Abstract.** The method of project probabilistic production systems modeling based on the building of dynamic simulated models of observable objects is proposed. Theoretical justification of the investigative techniques and building technology of simulated models based on the aggregate system of modeling automation is given. The possibility of using the animated emulation of the probabilistic production systems method for solving the synthesis problem of optimal technological cycle taking into account the characteristics of the reliable operation of equipment is justified.*

***Keywords:** method of project modeling, dynamic simulated models, synthesis of optimal structure, animated emulation technology.*

1. Введение

Эффективным средством решения актуальных проблем анализа функционирования и синтеза оптимальной структуры производственных систем с вероятностными параметрами их функционирования является системный анализ объектов исследования [1]. Под вероятностными параметрами функционирования понимаются характеристики надежности функционирования оборудования, используемого в ходе реализации технологического цикла производства, характеристики выполнения технологических операций, качественные характеристики используемых в процессе производства материалов и комплектующих изделий.

Следует отметить, что в настоящее время многообразие существующих сложных технологических систем, в ходе реализации которых могут изменяться параметры их функционирования и структура технологического цикла, а также сложность практических задач, возникающих при оценке уровня надежности и безопасности функционирования потенциально опасных промышленных объектов [2], требуют разработки специфических подходов и новых технических решений при оптимизации структуры производственных систем на стадии их проектного моделирования.

В данной работе предлагается гибкий математический аппарат для реструктуризации моделей вероятностных производственных систем (ВПС), позволяющий представить

функционирование объекта исследования в виде конечного множества имитационных моделей. В качестве инструмента реализации предлагаемого подхода используется динамическое имитационное моделирование, базирующееся на разработке динамических имитационных моделей. Подобное представление обеспечивает получение в процессе имитации результирующей структуры технологического цикла, которая содержит оптимизированные схемы резервирования технологических операций в рамках заданного критерия качества функционирования объекта.

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 параметров надежности функционирования оборудования. Разработанные имитационные модели могут использоваться в качестве составных элементов систем анализа функционирования существующих технологических объектов при автоматизации технологических процессов и производств, разработке и автоматизации систем проектирования новых технологических объектов.

2. Особенности формализации и организации резервирования технологических операций

В основу формализации функционирования ВПС положено их описание на основе использования аппарата вероятностных сетевых графиков (ВСГР) [3]. Применение динамической имитации обеспечивается сочетанием процедуры Монте-Карло и агрегатной системы автоматизации моделирования [4]. При этом множество l -х реализаций имитационной модели (ИМ) дает возможность представить исходную производственную систему в виде конечного множества детерминированных сетевых графиков $\{SGR_l\}$. Каждый детерминированный сетевой график SGR_l , в свою очередь, состоит из множества технологических операций, имитируемых соответствующими агрегатами-имитаторами операций $AMTXO_{ij}$, соединение между которыми осуществляется с помощью агрегатов-имитаторов событий $ASOB_i$ и $ASOB_j$. Они представляют собой реентерабельные программы-подмодели, которые имеют свой набор переменных моделирования и статистик имитации, соответствующий номеру компонента-подмодели в базе данных имитационной модели для соответствующего элемента ВСГР.

В процессе функционирования динамической имитационной модели наличие отказов оборудования при выполнении агрегатов-имитаторов $AMTXO_{ij}$ может оказывать существенное влияние на динамику имитации последующих технологических операций. Особенностью динамической имитационной модели является наличие в ней механизма переключения сигналов, поступающих от агрегатов-имитаторов технологических операций в процессе имитации, а также механизма реагирования на эти сигналы агрегатов-имитаторов событий, происходящих в ходе имитации динамики функционирования вероятностного технологического процесса.

Действие механизма переключения сигналов основано на применении в динамической имитационной модели многополюсных агрегатов-имитаторов, имеющих многокомпонентную систему выходов, обеспечивающих оперативное реагирование имитационной модели на возникновение «нештатных» ситуаций. Для этой цели используются специальные выходные сигналы агрегатов $ASOB_j$, которые являются «кустовыми» и называются резервными выходами. С их помощью реализуется так называемое «технологическое резервирование». Наличие множественных отказов оборудования при выполнении различных $AMTXO_{ij}$ приводит к необходимости использования на выходах $ASOB_j$ нескольких цепочек резервных $AMTXO_{ij}$, которые активизируются только при возникновении аварий во время имитации выполнения технологических операций $MTXO_{ij}$ на агрегате-имитаторе

оборудования $AOBIN_r$, для обеспечения ликвидации их последствий. Если аварии не происходит, то активизируются «штатные» $AMTXO_{ij}$. При этом переключение ветвей $AMTXO_{ij}$ должно быть оперативным и зависеть от наличия отказов оборудования, используемого агрегатами-имитаторами $AMTXO_{ij}$, которые являются входными для события $ASOB_j$. Функция переключения сигналов на агрегате $ASOB_j$ осуществляется с помощью формирования динамической моделью комбинации фиктивных и действительных сигналов на «кустовых» выходах третьего типа [3].

Механизм формирования действительных сигналов у «кустовых» выходов третьего типа основан на применении булевой матрицы $\|\gamma_{nr}\|$. Наличие единицы на пересечении n -й строки с r -м столбцом в этой матрице означает необходимость включения резервных технологических операций $MTXO_{ij}$ с признаком $\pi_{avr} = 1$, свидетельствующим о наличии ранее случившейся аварии. Это означает, что на n -м разветвлении r -го кустового выхода третьего типа формируется действительный сигнал Sgd_i только в том случае, если станет истинной булева функция $z = \gamma_{nr} \cup \pi_{avr}$, где r – номер входа агрегата $ASOB_j$. С помощью этого механизма кустовые выходы третьего типа становятся динамическими регуляторами подключения резервных $AMTXO_{jh}$, если на входы $ASOB_j$ поступают сигналы с $AMTXO_{ij}$, во время выполнения которых на оборудовании, находящемся в их распоряжении, происходили аварии. Таким же образом с помощью комбинаций различных типов кустовых выходов и задания числа их разветвлений для каждого кустового выхода обеспечивается возможность динамического регулирования реализовавшейся структуры технологического цикла в зависимости от сложившейся операционной обстановки в ходе реализации проектного моделирования технологического процесса.

3. Технология построения динамической имитационной модели вероятностного сетевого графика

Для реализации процедуры формирования структуры и технологии построения динамической имитационной модели используется подсистема $PS.FormSGR$ агрегатной системы автоматизации моделирования [4], которая обеспечивает ввод исходной информации о структуре имитационной модели вероятностного сетевого графика, осуществляет проверку правильности описания структуры вероятностной производственной системы, проводит процедуру определения ошибок коммутации агрегатов-имитаторов ВСГР, осуществляет актуализацию базы данных агрегатов динамической имитационной модели, проводит верификацию функционирования построенных имитационных моделей, осуществляет текущий контроль версий динамических имитационных моделей при их хранении в библиотеке моделей $Lib.Agregat$. Ввод исходной информации о начальной структуре ВСГР осуществляется операторами описания исходной информации в следующей последовательности.

1. На первом шаге задаются состав и структура множества событий $\{ASOB_i\}$. Оператором $ABSSOB(i)$, где $i = \overline{1, n}$, задается общее число событий. Далее для каждого агрегата $ASOB_i$ оператором $INOUTSOB(a_i, b_i)$ задается количество входов (a_i) и выходов (b_i). Структура кустового выхода $ASOB_i$ определяется оператором структуры $STROUTSOB_i(k_i, \omega_i, d_{ki}, z_i)$, в котором указываются номер выхода (k_i), тип кустового выхода (ω_i), количество разветвлений d_{ki} , признак z_i для формирования действительных (Sgd_i) и фиктивных (Sgf_i) сигналов на l -х разветвлениях выхода k_i . Для кустового выхода первого типа ($\omega_i = 1, z_i = 0$) на всех разветвлениях d_{ki} формируются только действительные сигналы Sgd_{ki} . В случае вероятностного кустового выхода ($\omega_i = 2, z_i = \{P_{ir}\}$) на одном из выходов формируется действительный сигнал Sgd_{ki} , а на остальных ($d_{ki}-1$) выходах формируются фиктивные сигналы Sgf_{ki} . Для кустового выхода третьего типа ($\omega_i = 3, z_i = \|\gamma_{rh}\|$), где $\|\gamma_{rh}\|$ является матрицей планирования формирования действи-

тельных сигналов Sgd_{jk} на резервных выходах агрегата $ASOB_j$ в случае, если на $AMTXO_{ij}$, посылающих входные сигналы на $ASOB_j$, возникали аварии, соответствующие выходные сигналы моделируются аналогично. Для кустовых выходов четвертого типа ($\omega_i = 4$) задается матрица $\|\omega_{rh}\|$, согласно которой выбираются $ATOP_{ij}$, корректирующие содержимое компонентов вектора управления U_k посылкой на агрегаты-корректировщики действительных сигналов Sgd_{ki} согласно вышеизложенному алгоритму.

2. Вторым шагом ввода исходной информации для динамической имитационной модели является формирование базы данных модели (BDIM) последовательно для каждого $ATOP_{ij}$ в любом порядке следования этих агрегатов. Состав ресурсов технологического цикла для таких агрегатов задается оператором $SOSTAGR_{ij}(\eta_k)$, где η_k – количество устройств для k -го типа ресурсов, $k = \overline{1, n}$. Далее следуют операторы заказа ресурсов каждого типа. Оператор заказа состава оборудования индивидуального пользования $AOBIN_r$ имеет вид: $SOSTOBIN_{ij}(v_r, num_r, rtype_r, h_r, zstr_r)$, где r – номер ресурса, v_r – количество устройств r -го ресурса, num_r – номер устройства r -го ресурса, $rtype_r$ – вид заказа устройства с номером r (0 – табличная функция распределения, 1 – стандартная функция распределения, 2 – списковая структура, 3 – одиночные значения), h_r – число интервалов табличной функции распределения, длина списка или номер стандартной функции распределения (1 – нормальное, 2 – экспоненциальное, 3 – равномерное) распределяемого ресурса, $zstr_r$ – структура заказа, зависящая от его типа (в случае табличной функции $zstr_r$ представляет собой последовательность $\{X_{li}, P_{li}\}$, $i = \overline{1, r}$; для списковой структуры $zstr_r$ представляет собой список номеров устройств длиной h_r ; для стандартных распределений $zstr_r$ означает список параметров стандартных функций распределения). Операция ввода в базу данных продолжается до тех пор, пока не будет занесена вся информация по множеству агрегатов $\{ATOP_{ij}\}$.

3. На третьем шаге состав устройств оборудования ВПС задается оператором $STOBIN_{ij}(\mu_1, \mu_2)$, в котором μ_1 означает общее число устройств индивидуального оборудования, а μ_2 указывает общее число устройств оборудования общего пользования.

Для каждого агрегата $AOBIN_k$ далее μ_1 раз задаются надежностные характеристики функционирования. Исходная информация для устройств определяется операторами $STOBIN_{ij}(r, p_{avn}, stype_n, h_n, zstr_n)$, где r – номер устройства, p_{avn} – вероятность возникновения аварии при отказах устройства, $stype_n$ – тип и назначение функции распределения (для $n = 1$ – функция распределения $\Phi_{1s}(\tau_{bo})$ интервалов безотказной работы $AOBIN_k$; для $n = 2$ – функция распределения $\Phi_{2s}(\tau_{vo})$ интервалов восстановления $AOBIN_k$; для $n = 3$ – функция распределения $\Phi_{3s}(\tau_{avk})$ интервалов ликвидации аварии; для $n = 4$ – функция распределения $\Phi_{4s}(\Delta C_{vo})$ дополнительной стоимости восстановительных операций; для $n = 5$ – функция распределения $\Phi_{5s}(\Delta C_{av})$ интервалов дополнительной стоимости работ по ликвидации аварии).

Затем следует задание надежностных характеристик для агрегата $AOBOP_k$ оборудования общего пользования. Для каждого из них задается исходная информация с помощью операторов $STOBOP_{ij}(r, V_{or}, stype_r, h_r, zstr_r)$, где r – номер устройства, V_{or} – общий размер места на совместно используемом оборудовании с номером r . Параметры оператора $stype_r, h_r, zstr_r$ имеют аналогичное $AOBIN_k$ содержание (определяют в совокупности надежностные характеристики оборудования общего пользования).

4. На четвертом шаге в базу данных модели вводится информация о процедурах ликвидации аварий ($PROC_k$). Имитационная модель процедуры ликвидации аварии реализована агрегатом-имитатором $APROC_k$, параметры которого задаются составным оператором $SOSTPROC_{ij}(k, STRPROC_k)$, в котором k представляет собой общее число агрегатов-имитаторов функционирования процедур ликвидации аварий $PROC_k$, а параметр

$STRPROC_k$ задает состав ресурсов предприятия, которые могут быть задействованы на реализацию процедур ликвидации аварии (материалы, комплектующие изделия, финансовые и временные затраты).

Для занесения в базу данных имитационной модели $BDIM$ для каждого агрегата $APROC_k$ задается исходная информация с помощью операторов $STPROC_{ij}(num, stype_r, h_r, zst_r)$, где num – номер $APROC_k$, $stype_r$ – тип функции распределения r -го ресурса, h_r – число интервалов табличной функции распределения ($stype_r = 0$) или количество параметров стандартной функции распределения ($stype_r = 1$), zst_r – содержимое табличной функции распределения $\{X_k, P_k\}$, где $k = \overline{1, n}$, или список параметров.

5. На пятом шаге вводится интегральный состав других видов ресурсов вероятностной производственной системы. Составы индивидуальных ресурсов (sz_1), исполнителей (sz_2) и бригад исполнителей (sz_3) задаются с помощью операторов $SOSTINRES_{ij}(sz_1, sz_2, sz_3)$. Состав и начальные значения общих ресурсов (sz_4, V_{04}), материалов (sz_7, V_{07}) и комплектующих изделий (sz_8, V_{08}) определяются оператором $INTRES_{ij}(sz_4, V_{04}, sz_7, V_{07}, sz_8, V_{08})$.

Приведенный состав операторов взаимодействия агрегатов имитационной модели с базой данных модели используется также соответствующими подсистемами управления динамической имитацией и управляющей программой моделирования ($UPMDSIM$).

4. Управление динамической имитацией на стадии проектирования структуры технологического цикла

Управляющая программа моделирования $UPMDSIM$ организует взаимодействие агрегатов-исполнителей с агрегатами синхронизации с помощью сигналов на основе агрегатного способа имитации в процессе динамической имитации. Каждый агрегат-исполнитель представляет собой объединение нескольких активностей и заканчивается одним из операторов синхронизации или оператором посылки сигнала на агрегаты-синхронизаторы. При запуске этих операторов выполнение алгоритма агрегата прерывается, что означает окончание соответствующей активности агрегата и возврат из программы агрегата на управляющую программу $UPMDSIM$. Регулярно проверяется выполнение всех условий ожидания агрегатов и запуска тех активностей агрегатов, для которых завершается условие выполнения запросов на их активизацию.

В составе средств автоматизации динамической имитации используются универсальные подсистемы визуализации результатов моделирования $PS.VIZUAL$, управления оборудованием технологического цикла $PS.CONTROL$, обработки результатов имитационных прогонов $PS.OBRAB$, а также состоящая из нескольких подсистем, которые реализуют методику использования классических методов принятия решений, система принятия решений $SP.RESHEN$.

5. Выводы

1. В работе предложен метод динамической имитации вероятностных производственных систем с параллельно-последовательной организацией для решения задачи синтеза оптимальной (в рамках заданного критерия качества функционирования объекта исследования) структуры технологического цикла на стадии проектирования. В основу формализации производственных систем с параллельно-последовательной организацией положены математические модели, построенные с помощью вероятностных сетевых графиков.

2. При построении динамических имитационных моделей использован гибкий математический аппарат, допускающий реструктуризацию технологического цикла производства в зависимости от сложившейся операционной обстановки на основе использования для мо-

делирования компонентов производственной системы агрегатов-имитаторов сложной логической структуры и конечного множества имитационных моделей детерминированных сетевых графиков.

3. Основанный на динамической имитации подход к решению задачи синтеза оптимальной структуры технологического цикла опирается на применение агрегатной системы автоматизации имитационного моделирования и ориентирован на случаи, когда динамику функционирования вероятностных производственных систем можно описать на уровне элементов управления со сложной логикой с использованием процедур метода Монте-Карло.

4. Разработанная технология применения динамической имитации как способа системного анализа сложных систем для класса производственных систем с вероятностными характеристиками надежности оборудования позволяет обеспечить возможность применения разработанных имитационных моделей при построении интегральной графовой структуры технологического цикла, содержащей оптимизированные схемы резервирования технологических операций, которые используют оборудование с низким уровнем надежности.

5. Полученные результаты могут быть использованы в качестве составных компонентов для систем анализа функционирования объектов при автоматизации технологических процессов и производств, разработке систем автоматизации проектирования, а также при реализации проектов на стадии проектного моделирования новых технологических объектов и выработке проектных решений в условиях недостатка информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач / Клир Дж.; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с.
2. Смородин В.С. Система управления надежностью оборудования вероятностных технологических процессов опасного производства / В.С. Смородин // Проблеми програмування. – 2007. – № 3. – С. 107 – 123.
3. Смородин В.С. Методы и средства имитационного моделирования технологических процессов производства: монография / В.С. Смородин, И.В. Максимей. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2007. – 369 с.
4. Смородин В.С. Агрегатная система автоматизации моделирования вероятностных технологических процессов производства / В.С. Смородин // Математичні машини і системи. – 2007. – № 1. – С. 105 – 110.

Стаття надійшла до редакції 14.12.2011