

АГРЕГАТНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

ВЕРоятностных ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА

Abstract: Particularities of formalization of system realizing a modular way of imitation for probabilistic technological production processes are formulated. About composition and structure of system for automation of simulation realizing a modular way of imitation is reported. Problems of design modeling of similar processes by means of developed modeling system for automation are enumerated.

Key words: modeling system realizing a modular way of imitation, probabilistic technological processes of production, technology of design modeling.

Анотація: Формулюються особливості формалізації імовірних технологічних процесів виробництва за допомогою агрегатів. Повідомляється про склад і структуру системи автоматизації імітаційного моделювання, яка ґрунтується на агрегатному засобі імітації. Перераховуються задачі проектного моделювання подібних процесів за допомогою розробленої системи автоматизації моделювання.

Ключові слова: агрегатна система моделювання, імовірні технологічні процеси виробництва, технологія проектного моделювання.

Аннотация: Формулируются особенности формализации вероятностных технологических процессов производства с помощью агрегатов. Сообщается о составе и структуре системы автоматизации имитационного моделирования, основанной на агрегатном способе имитации. Перечисляются задачи проектного моделирования подобных процессов с помощью разработанной системы автоматизации моделирования.

Ключевые слова: агрегатная система моделирования, вероятностные технологические процессы производства, технология проектного моделирования.

1. Введение

Реализация управления технологическими производственными процессами с целью снижения рисков возникновения чрезвычайных ситуаций сталкивается с двумя основными их особенностями: скоростью протекания и многомерностью. Многомерность технологических процессов обусловлена следующими факторами:

- различной скоростью протекания во времени вероятностных технологических процессов производства (*ВТПП*) и реактивностью самого процесса в смысле управления его реализацией;
- иерархическим характером уровней организации *ВТПП* и вероятностным характером управления каждым из этих уровней;
- наличием оборудования, надежность характеристики функционирования которого должны быть достаточно высокими и каждый компонент которого обладает некоторым граничным значением (порогом) наработки, когда превышение этого порога неминуемо приводит к отказу функционирования оборудования;
- наличием резервного оборудования, которое включается при превышении наработки используемого процессом оборудования.

При высокой скорости протекания процесса проблему многомерности обычно преодолевают путем декомпозиции задачи управления с последующим решением отдельных подзадач теми или иными методами теории автоматического регулирования. При средних и низких скоростях протекания технологических процессов возможно применение для управления многомерных математических моделей. Однако с помощью известных аналитических методов, как показано в [1], не всегда удается получить желаемый результат.

На практике технологические процессы производства представляют собой множество взаимосвязанных микротехнологических операций $\{MTXO_{ij}\}$, где $i, j = \overline{1, n}$, характеристики выполнения которых являются вероятностными. Некоторые из связей между $MTXO_{ij}$ также могут быть случайными. По этой причине в качестве аппарата описания *ВТПП* в работе [2] было предложено использовать вероятностные сетевые графики (*ВСГР*) и сочетать их с имитационным моделированием и методиками Монте-Карло. В этих случаях *ВСГР* заменяется последовательностью $\{СГР_l\}$, $l = \overline{1, N}$, обычных сетевых графиков с постоянными параметрами $MTXO_{ij}$, где N – количество реализаций *ВСГР* по методу Монте-Карло. Анализ технологических возможностей систем автоматизации, выполненный в [1], показал на наличие ряда трудностей построения имитационных моделей (*ИМ*) $СГР_l$ с помощью известных систем автоматизации имитационного моделирования (*САИМ*). Эти обстоятельства и отсутствие инструмента исследования *ВСГР* определили актуальность разработки системы автоматизации имитационного моделирования *ВТПП*.

2. Особенности формализации вероятностных технологических процессов производства с помощью агрегатов

САИМ ВТПП реализует агрегатный способ имитации технологических процессов производства [3], что обеспечивает простоту перехода от *ВСГР* к структуре *ИМ ВТПП*. Достаточно заменить $MTXO_{ij}$ и SOB_i , где $i = \overline{1, n}$, соответственно агрегатами-имитаторами этих компонентов *ВСГР* в его текущей реализации $СГР_l$, чтобы получить *ИМ* l -й реализации *ВСГР* ($ВСГР_l$). Замена *ВСГР* последовательностью $\{СГР_l\}$ удобна в том случае, когда эти два основных типа программных модулей-агрегатов ($MTXO_{ij}$ и SOB_i) являются реентерабельными.

Основными элементами $ВСГР_l$ являются два типа составляющих его компонентов: микротехнологические операции $MTXO_{ij}$ и события SOB_i . Первый тип компонентов $ВСГР_l$ представлен агрегатом-четыреполюсником $AMTXO_{ij}$, на входы которого поступают два типа сигналов и с выходов которого формируются также два типа выходных сигналов. Второй тип компонентов $ВСГР_l$ представляет собой агрегат-многополюсник $ASOB_i$, который может иметь α_1 входов и несколько видов выходов (k_1 разветвлений первого типа, k_2 кустовых выходов второго типа, k_3 кустовых выходов третьего типа). Связь между агрегатами $ASOB_i$, $AMTXO_{ij}$, $ASOB_j$ осуществляется с помощью сигналов, которые могут быть действительными (Sgd) или фиктивными (Sgf). Отличие сигналов друг от друга в агрегатной *ИМ* состоит в том, что Sgd инициируют выполнение агрегата $AMTXO_{ij}$, а Sgf обходят алгоритм выполнения агрегата, не

имитируя при этом выполнение агрегата $AMTXO_{ij}$. На выходах $ASOB_i$ первого типа формируются только действительные сигналы Sgd . На выходах $ASOB_i$ второго типа (число которых равно k_2), являющихся «кустом» с разветвлением из S_2 сигналов, только один из сигналов с номером s , $s = \overline{1, S_2}$, является действительным. На выходах третьего типа (число которых равно k_3), называемых резервными, сигналы формируются согласно матрице управления $\|\gamma_{ns}\|$, задаваемой до начала имитации технологом на случай отказа оборудования. Резервный сигнал формируется в том случае, если на n -й вход агрегата $ASOB_j$ поступает сигнал Sgd с агрегата $AMTXO_{ij}$, во время выполнения которого была авария на закрепленном за ним на время выполнения оборудовании. Предусматривая возможность возникновения аварийной ситуации, технолог производственной системы на основе задания значений матрицы управления обеспечивает включение резервных $AMTXO_{js}$ с помощью соответствующих сигналов Sgd . На всех остальных разветвлениях выхода $ASOB_j$ третьего типа будут формироваться фиктивные сигналы Sgf .

Следующей особенностью использования $BCGP$ для отображения $ИМ ВТПП$ является возможность задания вероятностных параметров агрегата $AMTXO_{ij}$ с помощью соответствующих функций распределения: времени выполнения $F_{1ij}(\tau)$, размеров ресурсов r -го типа $F_{2rij}(V)$, стоимости $F_{3ij}(c)$, количеств материалов и комплектующих r -го типа $F_{4rij}(mt)$ и $F_{5rij}(ko)$. Кроме вероятностных параметров, для выполнения $AMTXO_{ij}$ задаются списки индивидуальных ресурсов $SP.INR_{ij}$, индивидуального оборудования $SP.OBOR_{ij}$ и исполнителей $SP.ISP_{ij}$. Эти потребности $AMTXO_{ij}$ закрепляются за агрегатом на время имитации его выполнения. Задаются также и характеристики надежности агрегатов-имитаторов оборудования $AOBIN_r$ с помощью функций распределения длин интервалов: между отрезками безотказной работы r -го устройства $\Phi_{1ijr}(\tau_{BO})$ и отрезками восстановления его работоспособности $\Phi_{2ijr}(\tau_{BO})$.

В результате N реализаций $BCGP$ фиксируются следующие статистики функционирования компонентов CPI_1 :

- для $ASOB_i$ формируются ранние t_{pil} , поздние сроки t_{nil} и резервы R_{il} свершения событий;
- для $AMTXO_{ij}$ фиксируются фактические значения τ_{Bijl} времени их выполнения и стоимости выполнения c_{Bijl} .

Поскольку между $AMTXO_{ij}$ существует конкуренция за ресурсы, то выполняются неравенства $\tau_{Bijl} \geq \tau_{ijl}$ и $c_{Bijl} \geq c_{ijl}$. Увеличение общей стоимости может происходить за счет ликвидации возникающих аварий оборудования, используемого $AMTXO_{ij}$. Особенностью формализации является то, что вычисление t_{pil} осуществляется в режиме прямой имитации, а определение t_{nil} проводится в режиме инверсной имитации.

Полученные согласно процедуре Монте-Карло перечисленные статистики [4] по завершении l -ой реализации запоминаются в базе данных модели (БДМ). В момент перехода на следующую $(l+1)$ -ю реализацию все рабочие массивы обнуляются, и далее весь процесс реализации $BCGP_{l+1}$ повторяется с фиксацией в БДМ статистик выполнения $ASOB_i$ и $AMTXO_{ij}$ в новой реализации $BCGP$. По завершении N реализаций в БДМ будут накоплены выборки перечисленных статистик имитации объема N : $\{t_{pil}\}$, $\{t_{nil}\}$, $\{R_{il}\}$. По этим выборкам определяются математические ожидания и выборочные дисперсии статистик свершения событий, а также формируется граф реализации критических путей $\{GRKRP\}$.

3. Состав и структура агрегатной системы автоматизации имитационного моделирования вероятностных технологических процессов производства

Исследование данной предметной области агрегатным способом имитации [2] автоматизируется с помощью *САИМ*, которая состоит из следующих компонентов:

- библиотеки *LIB.AGREG* типовых имитационных моделей агрегатов $AMTXO_{ij}$ и $ASOB_i$;
- подсистемы *PS.FORMGR* формирования имитационных моделей агрегатов в имитационную модель $BCGP_l$;
- подсистемы *PS.MONTEK* реализации имитационных экспериментов (ИЭ) согласно процедуре Монте-Карло;
- подсистем *PS.OBRAB* обработки статистики $BCGP_l$ и *PS.VIZUAL* визуализации результатов имитации;
- подсистемы *PS.SPRESH* анализа результатов и принятия решений;
- управляющей программы *UPMA* моделирования агрегатов.

Рассмотрим назначение перечисленных компонентов *САИМ*. Библиотека *LIB.AGREG* содержит набор реентерабельных программ агрегатов-имитаторов $AMTXO_{ij}$ и $ASOB_i$, обслуживающих все элементы $BCGP_l$ при каждой реализации в обоих режимах (прямой и инверсной) имитации. За время постановки имитационного эксперимента для каждой l -ой реализации $BCGP$ эти агрегаты циклически переходят в различные состояния под управлением

управляющей программы *UPMA*. Программы *AMTXO_{ij}* и *ASOB_i* библиотеки *LIB.AGREG* используются в качестве «заготовок» для конструирования *ИМ ВСГР*. В этой библиотеке также хранятся программы еще двух типов агрегатов: имитаторов оборудования *ВТПП* *r*-го типа *AOBOR_r* и имитаторов процедур ликвидации аварий *APROC_k*.

Подсистема *PS.FORMGR* организует ввод исходной информации, проверяет правильность описания состава сигналов и структуры *ИМ ВСГР*, сообщает разработчику *ИМ* о наличии ошибок коммутации в модели *ВСГР*, организует работу с базой данных модели, проводит верификацию функционирования вновь разработанных *ИМ ВТПП*. Подсистема *PS.MONTEK* содержит библиотеку процедур формирования случайных значений, программы реализации процедуры Монте-Карло и вычисления оценок математического ожидания и дисперсий откликов моделирования. Подсистема *PS.OBRAB* автоматизирует все операции обработки статистики моделирования *ВТПП*, являясь при этом адаптацией известного пакета STATISTIKA [5]. Подсистема *PS.VIZUAL* формирует временные диаграммы использования ресурсов и оборудования предприятия, а также графики расхода в модельном времени t_0 финансов, материалов и комплектующих изделий для *l*-х реализаций *ВСГР*. Управляющая программа моделирования *UPMA* организует переход агрегатов из состояния в состояние, обеспечивает сочетание способов прямого и инверсного изменения модельного времени t_0 с реализацией процедур Монте-Карло, а также контроль за моментом вычислений t_{pil} и t_{nil} агрегатов *ASOB_i*. Важной функцией *UPMA* является контроль передачи сигналов агрегатами с выхода *ASOB_i* на вход *AMTXO_{ij}*, а затем с выхода *AMTXO_{ij}* на вход *ASOB_j* в режиме прямой имитации, и обратно, в режиме инверсной имитации.

Структура *ВСГР* формируется последовательностью взаимодействий разработчика с *PS.FORMGR*, в результате чего осуществляется формирование таблиц структуры *AMTXO_{ij}* и *ASOB_i*, таблиц коммутации агрегатов, таблиц состава и структуры оборудования, используемого агрегатами *AOBIN_r*. При этом сама структура сигналов также формируется исследователем в режиме диалога при описании *ВСГР_l*. Окончание формирования базы данных модели означает завершение «запитки» *ИМ ВТПП* реальной статистикой исследуемого *ВТПП* или же экспертными данными (на случай проектирования структуры *ВТПП*). Отметим, что при создании таблиц коммутации агрегатов проверяется соответствие входов и выходов у агрегатов *ASOB_i* и *AMTXO_{ij}*.

4. Выводы

В работе предложена методика решения основных задач исследования *ВТПП* с помощью *САИМ*, которые имеют важное значение для практики организации вероятностных

технологических процессов производства. Наряду с возможностью решения задач проектного моделирования технологических процессов [6], в первую очередь, система автоматизации имитационного моделирования позволяет решать следующие задачи:

1. Оценка величины пропускной способности вариантов организации *ВТПП* с учетом общей стоимости их реализации при имеющемся на предприятии составе ресурсов. Из-за вероятностного характера технологических характеристик производственных систем, значения времени реализации комплекса технологических операций можно оценить только на имитационной модели с высоким уровнем детализации процессов использования средств и ресурсов предприятия.

2. Нахождение наиболее вероятного критического пути в технологии производственного цикла означает определение «узких мест» в технологическом процессе. Ввиду вероятностного характера взаимодействия микротехнологических операций поиск «узких мест» представляет собой итеративную процедуру, поскольку при каждой реализации *ВТПП* формируется свой критический путь. В связи с этим исследователю необходимо анализировать полученный граф критических путей. В основу итерационного процесса положена методика выбора наиболее вероятного критического пути и, таким образом, определения тех операций, от которых зависит реализация всего технологического процесса.

3. Выбор из множества возможных рационального варианта состава ресурсов и оборудования *ВТПП* по критериям минимальной стоимости и его максимальной пропускной способности. Решение данной задачи также требует значительного числа имитационных экспериментов, поэтому использование *САИМ* позволит автоматизировать этот процесс, что в итоге дает возможность упростить и удешевить проектное моделирование *ВТПП*.

Таким образом, способ формализации *ВТПП* с помощью *ВСГР* и использование системы автоматизации имитационного моделирования позволяют исследовать структуру производственной системы, выбрать рациональный вариант организации *ВТПП* и решать задачи проектного моделирования технологических процессов промышленных предприятий.

Простота описания имитационной модели и высокий уровень автоматизации исследований с помощью системы автоматизации имитационного моделирования обеспечивают перспективу ее дальнейшего использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимей И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 222 с.
2. Максимей И.В., Смородин В.С., Сукач Е.И. Методика исследования вероятностных технологических процессов производства с помощью агрегатного способа имитации // Управляющие системы и машины. – 2006. – № 2. – С. 35–42.
3. Максимей И.В., Смородин В.С., Сукач Е.И. Система автоматизации экспериментов, реализующая агрегатный способ имитации технологических процессов // Информатика. – 2005. – № 1. – С. 25–31.
4. Смородин В.С. Организация контроля и сбора статистики имитационного моделирования технологических процессов опасного производства // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2006. – Т. 8, № 2. – С. 38–52.
5. Боровиков В.П. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.
6. Смородин В.С. Методика контроля и принятия решений при имитационном моделировании технологических процессов опасного производства // Проблемы управления и информатики. – 2006. – № 5. – С. 79–91.