

УДК 681.3

Имитационное моделирование технологических процессов производства с вероятностной структурой

В. С. СМОРОДИН

Введение

Дискретные технологические процессы производства (ДТПП) обычно характеризуются сложной динамикой развития. Для их исследования разработан специальный аналитический аппарат, называемый сетевым планированием [1], использующий в качестве основной модели исследования сетевые графики (СГР). При детерминированной структуре СГР аппарат сетевого планирования позволяет проводить анализ и прогноз развития ДТПП. Когда параметры технологических операций (ТХО) ДТПП имеют вероятностную природу исследователи сталкиваются со значительными трудностями при использовании СГР [2].

Кроме того, при моделировании дискретного технологического процесса с переменной структурой, комплекса взаимосвязанных технологических операций, а также анализе динамики изменения характеристик надежности и безопасности в процессе их реализации возникает ряд существенных вопросов, связанных с анализом и прогнозом запаса ресурсов моделируемой системы при наличии случайных воздействий на технологический процесс производства, что обуславливает необходимость развития новой инструментальной системы имитационного моделирования (ИСИМ) для решения возникающего в данном случае класса задач [3-4].

В настоящей работе излагаются способы формализации технологических процессов производства вышеупомянутой природы, состав инструментальных средств, объединенных в ИСИМ, а также технология разработки [5], испытания и использования имитационных моделей.

1. Формализация взаимодействий комплекса взаимосвязанных МТХО_{i,j}

В рассматриваемой области использования ИСИМ объектом моделирования являются дискретные технологические процессы, описываемые аппаратом сетевого планирования, для случая, когда параметры МТХО_{i,j} имеют вероятностную природу. Наряду с традиционным представлением технологических процессов производства (ТПП) в виде сетевых графиков с детерминированными последовательностями МТХО_{i,j} и нормативными значениями времен их выполнения ($\tau_{i,j}$) [1], используются {МТХО_{i,j}} с вероятностными параметрами. Элементы выходов из состояний сетевого графика будем называть «вероятностными кустами выходов» МТХО_{i,j} (ВКР_{i,j}). Таким образом, ТПП здесь представляет собой множество выходов МТХО_{i,j}, один из которых имеет детерминированный характер выполнения, а остальные являются вероятностными. Кроме списка необходимых ресурсов, являющегося параметром МТХО_{i,j}, в описании ВКР_{i,j} задается вектор вероятностей ($P_{i,j}$) выбора следующей МТХО_{i,j+1} после завершения данной технологической операции. Добавление в описании МТХО_{i,j} дополнительных характеристик использования ресурсов, задаваемых либо в виде функций распределения, либо набором списков требуемых ресурсов системы, является существенным расширением аппарата формализации ТПП на основе сетевых графиков выполнения работ. В общем случае для каждой МТХО_{i,j} задаются: стоимость ее выполнения ($CT_{i,j}$), требуемые затраты материалов или комплектующих изделий ($MT_{i,j}$), состав ресурсов системы ($PEC_{i,j}$), список используемого оборудования ($OB_{i,j}$), список исполнителей ($ИСП_{i,j}$) и длительность ее выполнения ($\tau_{i,j}$). При этом для имитации выполнения МТХО_{i,j} задаются функции распределения времени выполнения ($F_{1i,j}(\tau)$) и стоимости ($F_{2i,j}(CT)$) реализации этих операций. Параметризация выполнения МТХО_{i,j} позволяет наряду с традиционной оптимизацией ДТПП методами

сетевого планирования в ходе имитации формировать временные диаграммы использования ресурсов, материалов, оборудования и исполнителей.

При использовании ПТКИ ИСИМ объектом исследования могут быть также технологические процессы, реализующие ремонтные операции изделий и технологические операции, выполнение которых может привести к чрезвычайным последствиям (аварийным ситуациям техногенного характера). В обоих случаях структура изделия или опасный технологический процесс описываются иерархическим графом (GR_4) во взаимосвязи микротехнологических операций, выполняемых при разборке изделий, либо $MTXO_{ij}$ с высокой вероятностью появления аварии в системе на h -м уровне иерархии (GR_5), у которого узлами ($UZL_{h,i}$) являются состояния i -го типа, либо операции, представляющие собой «разборку» элементов изделия на h -ом уровне иерархии $MTXO_{ij}$, либо это операции «сборки» элементов ($h+1$) уровня иерархии в изделии. Поэтому GR_5 состоит из множества $\{MTXO_{ij}\}$, множества операций «разборки» $\{RZB_{i,h}\}$ на более мелкие компоненты изделия, множества операций «сборки» $\{SBR_{i,h+1}\}$ компонентов $h+1$ уровня в составные компоненты h -го уровня иерархии комплектации изделия. Все эти операции представляют собой связи, объединяющие узлы графа GR_5 на каждом уровне комплектации изделия.

Вводятся также дополнительные параметры, характеризующие надежность и опасность выполнения $MTXO_{ij}$. Такими вероятностными характеристиками являются вероятность $P_{Oth,j}$ отказа узла $UZL_{h,i}$ и вероятность $P_{Avh,j}$ появления опасного отказа при выполнении $MTXO_{ij}$.

У каждой $MTXO_{ij}$ в ходе исследования на основе использования процедур метода статистических испытаний [6] формируются два булевых признака их реализации:

- возникновение неисправности $UZL_{h,i}$ при выполнении $MTXO_{ij}$ ($\Pi_{1ij}=1$);
- возникновение аварийной ситуации при выполнении $MTXO_{ij}$ ($\Pi_{2ij}=1$).

Эти признаки формируются в ходе реализаций графа GR_5 по методу Монте-Карло (с общим числом реализаций N). Их актуализация в каждой реализации ведется снизу вверх согласно графу комплектации изделий GR_5 . Срабатывание жребиев отказа по вероятностям $P_{Oth,j}$ и $P_{Avh,j}$ приводит к установке значений «истина» соответственно у признаков Π_{1ij} и Π_{2ij} .

Введение дополнительных признаков у $MTXO_{ij}$ позволяет решать с помощью ПТКИ ИСИМ, используя метод Монте-Карло, следующие задачи:

- расчет характеристик надежности всех компонентов изделия для каждого уровня иерархии комплектации (согласно графу GR_5 при заданных вероятностях $P_{Oti,j}$ у компонентов самого нижнего уровня);
- расчет вероятности появления аварии при реализации технологического процесса (при заданных вероятностях опасного отказа $P_{Avi,j}$ всех $MTXO_{ij}$, входящих в GR_5 в качестве узлов).

В ходе имитации одной реализации GR_5 по методу Монте-Карло фиксируются следующие статистики имитации: время T_{50l} одной реализации GR_5 для случая отсутствия отказов и аварий при выполнении $MTXO_{ij}$; время T_{OVI} выполнения GR_5 при наличии отказов и восстановлений; интервал T_{ABV} функционирования технологического процесса до возникновения аварийной ситуации; суммарное время $T_{ПОI}$ потерь на восстановление работоспособности $MTXO_{ij}$.

По завершении N реализаций имитации выполнения технологического процесса для всех статистик формируются выборки объема N . По выборкам этих статистик можно вычислить средние значения и выборочные дисперсии, а также сформировать эмпирические функции распределения, которые используются при решении задачи анализа технологических процессов данной предметной области применения ПТКИ.

2. Состав и структура ПТКИ ИСИМ

Инструментальная система имитации (ИСИМ) состоит из следующих компонентов: программы реализации алгоритмов, имитирующих функции $MTXO_{ij}$ (ПАТОП) и программы, реализующей алгоритмы наступления событий SOB_j (ПАСОВ) в ВСГР, а также управляющей

программы моделирования (УПМ), программ инициирования (НАЧИМ) и завершения (ЗАВИМ) имитационных экспериментов (ИЭ), программ, реализующих процедуру метода Монте-Карло (МОНТЕ) и вычисления характеристик надежности реализации ВТПП (НАДЕЖ). Остальные компоненты ИСИМ являются стандартными, выполняя обычные функции организации ИЭ: блок сбора статистики (БСБСТ), программы обработки статистики (ПОБСТ), библиотека процедур формирования по функциям распределений случайных величин (LIB.SLUCH), библиотека процедур визуализации результатов ИЭ (LIB. VIZUAL), библиотека процедур верификации (LIB. ISPIM), информационная база данных инструментальной системы имитации (ИБД ИСИМ).

В функции УПМ, реализующей агрегатно-процессный способ организации квазипараллелизма имитации, входит изменение модельного времени t_0 способом выбора ближайшего события из списка активизируемых агрегатов, управление активизацией и пассивизацией агрегатов, контроль свершения событий SOB_j в $СГР_{ih}$, определение условий запуска и окончания имитации h -ой реализации ВСГР, управление режимами имитации, запуск и остановка выполнения программ НАЧИМ и ЗАВИМ.

Алгоритмы функционирования остальных подпрограмм, входящих в состав ИСИМ, являются типовыми для структуры общесистемного программного обеспечения имитационного моделирования [7].

3. Технология использования программно-технологического комплекса имитаций

В соответствии с общей технологией постановки имитационных экспериментов [6], можно выделить следующие стадии использования ИТКИ ИСИМ: разработка и каталогизация в библиотеках комплекса вариантов ИМ для каждой конкретной области исследований ДТПП, верификация, испытание и исследование свойств ИМ, эксплуатация готовых ИМ и принятие проектных решений.

Первая стадия предполагает реализацию действий по разработке библиотек описаний элементов ДППП каждой проблемной области, разработке библиотек параметризованных "заготовок" ИМ, которые скомпонованы из описаний элементов и каталогизированы в библиотеке имитационных моделей.

Вторая стадия требует реализации следующих этапов: расширение состава библиотек процедур технологического обеспечения, характерных для каждой проблемной области исследований, использование универсальных процедур постановки натуральных экспериментов для получения исходной информации моделирования, верификации и испытания ИМ каждой предметной области.

Третья стадия требует расширения состава библиотеки процедур системы моделирования, которые используются при решении задач проектного моделирования соответствующей предметной области. Кроме того, необходима реализация процедур вычисления обобщенного отклика и оценки эффективности вариантов моделирования с помощью классических процедур принятия решений в условиях неопределенности и риска [7].

Разработчик ИСИМ описывает структуру компонентов базы данных ИМ (агрегаты технологических операций, агрегаты событий моделируемой системы, входные и выходные сигналы) в соответствии с изложенным аппаратом формализации ДППП. При этом формирование таблицы коммутации и контроль коммутации входов и выходов осуществляется в автоматическом режиме в соответствии с типом управляющей программы ИСИМ для заданной предметной области. Конструктор ИМ получает возможность создания и удаления элементов структуры ИМ, изменения состояний элементов ИМ, получения справочной информации в любой момент изменения модельного времени.

Исследователь может оперативным образом корректировать параметры ИМ, просматривать значения откликов ИМ в динамике имитации процессов, организовать автомати-

ческий мониторинг режима имитации, формировать и реализовывать планы имитационного эксперимента.

Результаты этой обработки используются для решения следующих задач проектного моделирования:

- прогнозирование запаса ресурсов моделируемой системы при наличии случайных воздействий на технологический процесс производства;
- поиск узких мест в реализации ВТПП и оценка их пропускной способности;
- оценка диапазона расхода ресурсов за время реализации ВТПП;
- оценка характеристик надежности и их влияния на пропускную способность и стоимость выполнения множества $\{МТХО_{ij}\}$.

Abstract

The author considers a technology of the program complex of the instrumental system of an imitating modeling, its use for simulation of the discrete technological processes of the manufacture.

Литература

1. Жогаль С.П., Максимей И.В. Задачи и модели исследования операций. Ч.1. Аналитические модели исследования операций. Уч. пособие. – Гомель: Бел ГУТ, 1999. – 109 с.
2. Максимей И.В., Смородин В.С., Поташенко А.М., Попова Е.О. Методика анализа и прогноза на имитационной модели характеристик надежности реализации вероятностных технологических процессов производства // Реєстрація, зберігання і обробка даних (Data Recording, Storage & Processing). – Том 5, N 4. – Київ, 2003. – С. 3-10.
3. Смородин В.С. Задача оценки характеристик надежности и безопасности производства для предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций в процессе его функционирования // Известия Гомельского государственного университета имени Ф.Скорины, 2003. – № 4(19). – С. 23-25.
4. Смородин В.С. Прогнозирование аварий и катастроф техногенного характера на основе компьютерного моделирования технологического процесса производства. – Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: II Междунар. науч. – практ. конф., посвящ. 150-летию пожар. службы Респ. Беларусь: Сб. докл. / Редкол.: А.Н.Кудряшов (науч. ред.) и др. – Мн.: Изд. центр БГУ, 2003. – С. 83-85.
5. Смородин В.С. Исследование технологических процессов дискретного производства с вероятностным характером его реализации и случайными временами выполнения комплекса взаимосвязанных работ. – Известия Гомельского государственного университета имени Ф.Скорины, 2003. – № 3(18). – С. 88-90.
6. Максимей И.В., Левчук В.Д., Жогаль С.П. и др. Задачи и модели исследования операций. Ч. 3. Технология имитации на ЭВМ и принятие решений: уч. пособие. – Гомель: Бел ГУТ, 1999. – 150 с.
7. Максимей И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1984. – 230 с.