

**А.Н. ГОНЧАРОВ, О.М. ДЕМИДЕНКО, А.В. КЛИМЕНКО, И.В. МАКСИМЕЙ,
В.С. СМОРОДИН, И.К. ЧИРИК**

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Abstract: *The method of formalization of probabilistic technological processes of production on the basis of construction of simulation model of the probabilistic network graph; the technology of the use of the automation design system of aggregate type for simulation models construction; the method of the use of the imitation complex for the decision of tasks for research of probabilistic technological processes of production are offered.*

Key words: *probabilistic technological processes of production, system of automation of design of aggregate type, probabilistic network graph.*

Анотація: *Пропонується спосіб формалізації імовірнісних технологічних процесів виробництва на основі побудови імітаційної моделі імовірнісного мережевого графіка; технологія використання системи автоматизації моделювання агрегатного типу для побудови імітаційних моделей; методика використання комплексу імітації для вирішення завдань дослідження імовірнісних технологічних процесів виробництва.*

Ключові слова: *імовірнісні технологічні процеси виробництва, система автоматизації моделювання агрегатного типу, імовірнісний мережевий графік.*

Аннотация: *Предлагается способ формализации вероятностных технологических процессов производства на основе построения имитационной модели вероятностного сетевого графика; технология использования системы автоматизации моделирования агрегатного типа для построения имитационных моделей; методика использования комплекса имитации для решения задач исследования вероятностных технологических процессов производства.*

Ключевые слова: *вероятностные технологические процессы производства, система автоматизации моделирования агрегатного типа, вероятностный сетевой график.*

1. Введение

Неадекватность математических моделей, получаемых с использованием обычного математического аппарата [1], реальным технологическим процессам производства обусловила необходимость разработки новых подходов, программных средств автоматизации и технологий их применения в соответствующих областях исследования и проектном моделировании вероятностных технологических процессов производства (ВТПП). На первый план при этом выдвигается задача стабилизации уровня надежности проектируемой производственной системы в соответствии с заданным критерием качества ее функционирования. Решение данной задачи на современном этапе развития производства имеет серьезную техническую поддержку в образе сложных технических систем, которые включают в свой состав измерительные комплексы, технологическое оборудование и обслуживающий персонал, и является актуальным для специалистов, работающих в области оценки безопасности функционирования промышленных предприятий и проектирования высоконадежных производственных систем.

Следует подчеркнуть, что подобного рода результатов исследований нельзя достичь аналитическими методами исследований из-за невыполнимости ряда ограничений при использовании таких моделей. Однако при использовании способа формализации на основе вероятностных сетевых графиков (ВСГР) и агрегатного способа имитации с помощью системы автоматизации имитационного моделирования [2] возможно достичь существенной автоматизации исследований ВТПП. Отсутствие ограничений на использование данной методики и простота перехода от ВСГР к имитационной модели являются дополнительным преимуществом использования имитации.

2. Отличительные особенности объекта исследования

Особенностью рассматриваемого вероятностного технологического процесса производства являются графовая структура взаимосвязей технологических операций; наличие отказов оборудования, приводящих к аварии; ограниченный состав ресурсов предприятия, который приводит к конкуренции за ресурсы; необходимость оценки предаварийной и поставарийной ситуаций и перевода оборудования на резервирование или переход на профилактику состава оборудования технологического цикла. В случае ненадежного функционирования оборудования необходимы также оценка влияния характеристик надежности на интегральные отклики имитационной модели (ИМ) и определение вероятности безотказного выполнения технологического процесса за интервал времени его реализации.

3. Способ формализации технологического процесса производства

Важной составляющей концептуальной модели являются надежность характеристики оборудования ВТПП. Динамика поведения каждого k -го устройства ресурсов типа R_1 и R_2 определяется набором следующих длительностей функционирования: безотказной работы ($\tau_{БОК}$), восстановления отказа ($\tau_{ВОК}$), ликвидации простой аварии ($\tau_{АВК}$), ликвидации сложной аварии ($\tau_{САВК}$). В общем случае эти характеристики являются случайными величинами, задаваемыми для каждого k -го устройства в виде функций распределения $F_{2R_k}(z_k)$, где z_k – номер устройства ресурса R_k -го типа. Кроме того, для каждого k -го устройства определяется вектор вероятностей нахождения устройства в состоянии работоспособности ($P_{БОТК}$), простого отказа ($P_{ОТК}$), простой аварии ($P_{АВК}$), сложной аварии ($P_{САВК}$). Таким образом k -е устройство характеризуется множеством $\{F_{2R_k}(z_k)\}$ и множеством $\{P_{БОТК}, P_{ОТК}, P_{АВК}, P_{САВК}\}$, которые называются надежность характеристиками второго типа. Конкретные l -е реализации характеристик надежности k -х устройств ($\tau_{БОКl}, \tau_{ВОКl}, \tau_{АВКl}, \tau_{САВКl}$) при использовании процедуры Монте-Карло в ходе имитации ВСГР формируются по функциям распределения времени, а надежность характеристики второго типа являются детерминированными для каждого k -го устройства.

Поэтому в ходе имитации ВСГР при каждом использовании k -го устройства оборудования $MTXO_{ij}$ по жребию второго типа разыгрываются (для указанных вероятностей) состояния устройства S_k , а длительности нахождения устройства в этих состояниях разыгрываются по жребию третьего типа [3].

Статистиками имитации в l -й реализации ИМ ВСГР являются множество $\{t_{Pil}, t_{Пil}, R_{il}\}$ ранних, поздних сроков и резервов времени свершения SOB_i ; множество $\{t_{PHijl}, t_{ПHijl}, t_{POijl}, t_{ПOijl}\}$ сроков выполнения $MTXO_{ij}$. Определение указанных статистик приведено в работе [4].

Таким образом, на входе «черного ящика» имеются множества $\{X_{1kh}\}$, $\{X_{2Rh}\}$, $\{G_h\}$, а на выходе определяются значения компонентов вектора Y_h . В ходе имитации фиксируется множество усредненных по всем l -м реализациям статистик реализации h -го варианта ВСГР:

$$ST_{1h} = \{\bar{t}_{Pih}, \bar{t}_{Пih}, \bar{R}_{Пih}\},$$

$$ST_{2h} = \{\bar{t}_{PHij}, \bar{t}_{ПНijh}, \bar{t}_{POih}, \bar{t}_{ПОij}\}.$$

Для определения вероятности $P_{БОТkh}$ безотказного выполнения h -го варианта реализации ВТПП в качестве дополнительного параметра имитации необходимо задать экспертный период времени его выполнения (T_{exp}).

Целью имитации является минимизация функционала \bar{Y}_h откликов имитационной модели ВСГР:

$$\min \bar{Y}_h = \varphi(\{X_{1kh}\}, \{X_{2kh}\}, \{X_{3h}\}, \{G_h\}). \quad (1)$$

Оценка h -х вариантов организации ВТПП производится по усредненному вектору откликов из всех $l = \overline{1, N}$ реализаций ВСГР (согласно процедуре Монте-Карло).

4. Методика использования программных средств автоматизации моделирования

Процесс исследования вероятностного технологического цикла производства реализуется следующей последовательностью этапов.

На *этапе 1* формируется структура имитационной модели ВСГР путем простой замены $MTXO_{ij}$ на $AMTXO_{ij}$ и SOB_i на $ASOB_i$. На *этапе 2* необходимо подготовить параметры имитации $(\{X_{1kh}\}, \{X_{2kh}\}, \{X_{3h}\}, \{G_h\}; T_{\text{exp}})$ на основе натуральных экспериментов с прототипами ВТПП или методом экспертных оценок. На *этапе 3* осуществляется процедура «запитки» ИМ ВСГР значениями параметров имитации. Для этой цели имеются соответствующие средства ввода информации в базу данных имитационной модели. На *этапе 4* проводится испытание очередной версии ИМ ВСГР согласно методикам, изложенным в работе [4]. На *этапе 5* осуществляется проверка адекватности ИМ ВСГР реальному ВТПП. На *этапе 6* определяется значение отклика T_{KP_h} и определяется влияние состава и размеров ресурсов на компоненты вектора откликов имитации путем нахождения зависимости $Y = \varphi_1(X_{3h})$ при одних и тех же значениях остальных характеристик $\{X_{1kh}\}, \{X_{2kh}\}, \{G_h\}$.

На следующем *этапе 7* определяется влияние характеристик надежности на значение компонентов вектора откликов $Y = \varphi_2(X_{1h}; X_{2h})$ при фиксированных значениях $\{X_{3h}\}, \{G_h\}$.

На заключительном *этапе 8* определяется вероятность появления отказа за период T_{exp} . С этой целью для h -го варианта организации ВТПП вводится булева переменная, которая при l -й реализации ВСГР принимает значения

$$\omega_{lh} = \begin{cases} 1, & \text{если } P_{\text{отз}h} > 0 \text{ при } T_{\text{кр}lh} \leq T_{\text{exp}}, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

После проведения серии из N экспериментов определяется вероятность отказа за период T_{exp} в h -м варианте реализации вероятностного сетевого графика.

5. Выводы

В настоящей работе предлагаются способ формализации вероятностных технологических процессов производства на основе построения имитационной модели вероятностного сетевого графика для отображения динамики функционирования технологического цикла; технология использования системы автоматизации моделирования агрегатного типа для построения имитационных моделей вероятностного сетевого графика; методика использования комплекса имитации для решения задач исследования вероятностных технологических процессов производства.

Предложенная методика использования программных средств автоматизации моделирования на основе учета особенностей вероятностного сетевого графика для данного случая имеет перспективу использования для широкого класса вероятностных технологических процессов производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жогаль С.И., Максимей И.В. Задачи и модели исследования операций. – Ч. 1: Аналитические модели исследования операций: Учебное пособие. – Гомель: БелГУТ, 1999. – 109 с.
2. Смородин В.С. Агрегатная система автоматизации моделирования вероятностных технологических процессов производства // Математичні машини і системи. – 2007. – № 1. – С. 105 – 110.
3. Максимей И.В., Серегина В.С. Задачи и модели исследования операций. – Ч. 2: Методы нелинейного и стохастического программирования: Учебное пособие. – Гомель: БелГУТ, 1999. – 103 с.
4. Гончаров А.Н. и др. Технология имитации и обработки результатов в системе автоматизации моделирования вероятностных технологических процессов производства / А.Н. Гончаров, И.В. Максимей, В.С. Смородин // Реєстрація, зберігання і обробка даних (Data Recording, Storage & Processing). – 2005. – Vol. 7, N 3. – Р. 71 – 87.

Стаття надійшла до редакції 09.07.2008