

УДК 681.3

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ИМИТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ВЕРОЯТНОСТНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

В.С. Смородин, А.Н. Гончаров, А.В. Клименко, А.В. Жигарь

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель

CONTROL SYSTEM SIMULATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES WITH PROBABILISTIC PARAMETERS OF THEIR OPERATION

V.S. Smorodin, A.N. Goncharov, A.V. Klimenko, A.V. Zhihar

F. Scorina Gomel State University, Gomel

Рассматривается новый подход к исследованию вероятностных технологических процессов с дискретным характером технологического цикла, в котором временные интервалы выполнения отдельных операций являются случайными величинами, а нарушение ритма производственного процесса может стать причиной серьезной аварийной ситуации. Изложен способ формализации вероятностного технологического процесса и имитация процессов управления технологическим циклом на основе новой версии агрегатной системы автоматизации имитационного моделирования.

Ключевые слова: вероятностный технологический процесс, система контроля, вероятностный сетевой график, имитационный эксперимент.

New approach to the research of probabilistic technological processes with discrete character of the technological cycle in which temporal intervals of separate operations implementation are random quantities is examined. The violation of the production process rhythm can become the cause of serious emergency situation. The method of formalization of probabilistic technological processes and imitation of the processes of technological cycle management on the basis of the aggregate system of imitation design automation is expounded.

Keywords: probabilistic processes, systems controls, probabilistic network schedule, simulation.

Введение

Система оперативного контроля имитационного моделирования вероятностных технологических процессов (ВТП) состоит из следующих компонентов: имитационной модели (ИМ) ВТП; подпрограммы планирования имитационных экспериментов (PP.PLANEX); подпрограммы оперативного контроля за имитацией (PP.OCONTR); подпрограммы анализа результатов (PP.AUALEX); эксперта-технолога опасного производства (*EXPERT*), контролирующего ход имитации и управляющего изменением параметров модели.

Функционирование компонентов осуществляется с помощью управляющих воздействий:

- взаимодействие подпрограмм с экспертом θ_k ($k = \overline{1,5}$): чтение информации о состоянии технологического цикла ($\theta_1, \theta_2, \theta_4$); оперативное воздействие эксперта (θ_3) по данному варианту развития ВТП в имитационной модели; установку начальных значений состава ресурсов в h -м варианте ВТП (θ_5);

- взаимодействие подпрограмм с ИМ ВТП (выдача оперативной информации о ходе имитации ВТП с помощью множества индикаторов состояния оборудования $\{ind_r\}$; формирование множества статистик $\{ST_{kl}\}$ и откликов $\{Y_{0jl}\}$ в

l -ой реализации ИМ ВТП по методу Монте-Карло);

- множество постоянных характеристик модели $\{G_h\}$ и параметров $\{X_{0jh}\}$ моделирования ВТП, задаваемых при «запитке» и запуске на имитацию h -го варианта состава ресурсов и организации ВТП [1].

Основным компонентом системы является агрегатная ИМ ВТП, полученная с помощью системы автоматизации имитационного моделирования САИМ ВТП [2], реализующей имитацию с помощью вероятного сетевого графика (ВСГР) на основе использования процедуры Монте-Карло.

В ИМ ВТП осуществляются следующие виды внутреннего управления динамикой имитации ВТП: автоматическое одиночное резервирование оборудования в тех случаях, когда «наработка» r -го устройства оборудования (Q_r) достигает критической величины;

- ликвидация последствий аварий при опасных отказах функционирования r -го устройства последовательностью процедур $\{PROC_k\}$;

- технологическое резервирование, означающее изменение состава микротехнологических операций $\{MTX_{0j}\}$ после возникновения аварии, которое заранее запланировано экспертом-технологом на случай возникновения аварийной обстановки в ВТП.

В ИМ ВТП также предусмотрено следующее множество воздействий РР.ОСОНТР $\{\alpha_k\}$ на ИМ ВТП: переключение на режим профилактики всего оборудования (α_1), изменение шага наблюдения за статистикой информации и формирования информации для построения графиков расхода во времени t_0 ресурсов ВТП (α_2) и выдача диаграмм перехода компонентов ИМ из состояния в состояние (α_3); досрочная остановка имитации использования h -го варианта состава ресурсов ИМ ВТП (α_4).

1 Использование аппарата вероятностных сетевых графиков для имитации ВТП

В основу формализации ВТП положено использование аппарата их описания с помощью вероятностных сетевых графиков (ВСГР). Сочетание процедуры Монте-Карло и агрегатной системы моделирования [2] с аппаратом описания ВТП посредством ВСГР дает возможность l -ю реализацию ИМ ВТП представить в виде детерминированного сетевого графика (СГР _{l}). Каждый СГР _{l} представляется состоящим из множества микротехнологических операций, имитируемых соответствующими агрегатами-имитаторами работы $\{AMTXO_{ij}\}$, которые соединяются друг с другом с помощью агрегатов-имитаторов событий ($ASOB_i$ и $ASOB_j$).

Каждый из этих агрегатов представляет собой реентерабельную программу подмодели агрегата, которая в базе данных ИМ ВТП для каждого компонента ВСГР имеет свой набор переменных моделирования и статистик имитации, соответствующий номеру этого компонента.

Агрегат $AMTXO_{ij}$ представляет собой четырехполюсник, имитирующий выполнение $MTXO_{ij}$ в ВСГР и имеет два типа входов и выходов. Первый тип входов и выходов $AMTXO_{ij}$ используется в режиме прямой имитации СГР _{l} , а второй тип используется в режиме инверсной имитации. При имитации выполнения $MTXO_{ij}$ в режиме прямой имитации агрегат $AMTXO_{ij}$ в каждой l -ой реализации ВСГР по соответствующим функциям распределения формирует фактические значения параметров τ_{ijl} , c_{ijl} , V_{rijl} , mt_{ijl} , а по спискам запросов определяет индивидуальные запросы $MTXO_{ij}$ на ресурсы и оборудование в виде индивидуальных списков: $SPINRS_{ijl}$, $SPOBR_{ijl}$, $SPISP_{ijl}$, $SPKOM_{ijl}$. Эти ресурсы предприятия выделяются $AMTXO_{ij}$ на время имитации выполнения $MTXO_{ij}$. Если при выполнении $AMTXO_{ij}$ на агрегатах оборудования возникают

опасные отказы, то время выполнения операции на оборудовании увеличивается на величину $\tau_{срок}$. При этом проводится анализ последствий этого опасного отказа оборудования путем розыгрыша жребия «Произошла авария», который с вероятностью $P_{ав}$ позволяет идентифицировать наличие аварии при выполнении агрегата $AOBIN_r$. При «простой» аварии (не требующей изменения технологического цикла производства) время выполнения операции на оборудовании увеличивается на величину $\tau_{аврл}$, разыгрываемую по функции распределения $\Phi_3(\tau_{ав})$. Если возникшая авария не «простая», то для ее ликвидации требуется «штатная» последовательность процедур ликвидации, имитируемых агрегатами $\{APROC_k\}$. Каждый из этих агрегатов обладает своим оборудованием, составом исполнителей, действует по утвержденному алгоритму ликвидации последствий аварийной ситуации, длительность реализации которого $\tau_{пакл}$ также может быть случайной величиной и поэтому формируется по известной до имитации функции распределения $\Phi_4(\tau_{пр})$. В этой последовательности процедур порядок их следования фиксированный, поэтому при имитации ликвидации аварии каждая k -я процедура знает номер $(k+1)$ -й процедуры $PROC_{k+1}$. Исходя из этого, процесс ликвидации аварии реализуется последовательностью агрегатов $\{APROC_k\}$, выполнение которых имеет различную длительность $\{\tau_{nrkl}\}$.

По окончании этой последовательности выполнение операции на отказавшем оборудовании продолжается с прерванного места. При этом формируется признак ($\pi_{ак} = 1$) «была авария», а время выполнения операции на оборудовании увеличивается на величину, равную сумме времен выполнения каждой процедуры $PROC_k$ ($\sum \tau_{prkl}$). По завершении имитации $AMTXO_{ij}$ формирует сигнал, поступающий на r -й вход агрегата $ASOB_j$. При этом передается признак $\pi_{ак} = 1$ «была авария» на оборудовании r при выполнении $MTXO_{ij}$. Сам же агрегат $AMTXO_{ij}$ переходит в режим ожидания инверсного сигнала от $ASOB_j$, с приходом которого $AMTXO_{ij}$ в инверсном режиме имитирует выполнение $MTXO_{ij}$ длительностью $\tau_{выпrijl}$, хранимой в БД ИМ ВТП до прихода инверсного сигнала. По окончании инверсной имитации на выходе $AMTXO_{ij}$ появляется сигнал, который поступает на выход $ASOB_i$. Далее агрегат $AMTXO_{ij}$ ожидает прихода сигнала в режиме прямой имитации, но уже в следующей $(l+1)$ -й реализации ВСГР.

Агрегаты $ASOB_i$ являются многополюсниками с различным числом входов и выходов. Выходы у $ASOB_i$ бывают одиночными и «кустовыми». Из «кустовых» выходов агрегата формируются сигналы двух типов: один действительный Sgd , разыгрываемый по вектору вероятностей $\{P_{ijk}\}$ и $(k-1)$ фиктивных сигналов Sgf . Выходы $ASOB_i$ нумеруются, поэтому при адресации сигнала указывается номер события j и номер входа r в $ASOB_j$. Только действительные сигналы Sgd , поступающие в режиме прямой имитации на вход $AMTXO_{ij}$, инициируют его работу по вышеизложенному алгоритму. Фиктивные сигналы Sgf обходят алгоритм выполнения $AMTXO_{ij}$ и поступают на вход $ASOB_j$, минуя $AMTXO_{ij}$.

В ИМ ВТП используется еще один тип выходных сигналов у $ASOB_j$, называемых «резервными» выходами. «Резервные» выходы у $ASOB_j$ также являются кустовыми. С их помощью в ИМ ВТП реализуется так называемое «технологическое резервирование». Наличие в ВТП отказов оборудования при выполнении $AMTXO_{ij}$ ставит исследователя перед необходимостью использования на выходах $ASOB_j$ нескольких «резервных» $AMTXO_{ij}$, которые активизируются только при появлении аварий во время имитации выполнения $MTXO_{ij}$ на агрегате $AOBIN_r$ для обеспечения надежности функционирования производственной системы. 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 в $AMTXO_{ij}$, являющихся входными для $ASOB_j$. Эту роль играют агрегаты $ASOB_j$ с помощью формирования комбинации фиктивных и действительных сигналов на «кустовых» выходах третьего типа. Механизм формирования действительных сигналов у «кустовых» выходов третьего типа основан на использовании булевой матрицы $\|\gamma_{mr}\|$. Наличие единицы на пересечении n -й строки с r -м столбцом в этой матрице означает необходимость включения резервных $AMTXO_{ij}$ с признаком $\pi_{ak}=1$, свидетельствующим о ранее произошедшей аварии. Это означает, что на n -м разветвлении k -го кустового выхода третьего типа формируется Sgd только в том случае, если станет истинной булева функция $z=(\gamma_{rh} \wedge \pi_{ar})$, где r -номера входов $ASOB_j$. 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. Подобным образом с помощью комбинаций различных типов кустовых выходов и задания числа их разветвлений каждого кустового выхода эксперту предоставляется возможность динамического регулирования выполнением множества $\{AMTXO_{ij}\}$ в зависимости от операционной обстановки внутри ВТП.

Таким образом, многополюсник $ASOB_j$ в режиме прямой имитации ожидает прихода на его входы последнего сигнала с $AMTXO_{ij}$. В этой ситуации срабатывает «спусковая функция» агрегата, фиксируется ранний срок свершения события t_{pji} и формируется серия выходных сигналов со всех трех типов выходов. Эти сигналы выходов $ASOB_j$ поступают на входы $AMTXO_{jh}$ согласно таблице коммутаций агрегатов, которая задается экспертом до начала имитации ВСГР. После рассылки всех действительных и фиктивных выходных сигналов агрегат ожидает прихода сигналов от $AMTXO_{jh}$ в режиме инверсной имитации ВСГР. С приходом самого первого сигнала в режиме инверсной имитации на выход $ASOB_j$ формируется поздний срок свершения события t_{nji} и определяется резерв свершения события $(R_{ji}=t_{nji}-t_{pji})$. Далее агрегат $ASOB_j$ ожидает появления сигнала на его входах в режиме прямой имитации, но уже при следующей $(l+1)$ -й реализации ВСГР согласно процедуре Монте-Карло.

Имитация функций оборудования, на котором реализуются все $MTXO_{ij}$, осуществляется тремя типами имитаторов оборудования. Каждой $MTXO_{ij}$ доступны к использованию два типа оборудования: индивидуальное использование r_1 номера, имитируемое агрегатами $AOBIN_{r_1}$, и оборудование общего пользования номера r_2 , на котором $MTXO_{ij}$ использует некоторый объем ресурса V_{rij} только на время выполнения $MTXO_{ij}$. После выполнения $MTXO_{ij}$ этот объем возвращается агрегату общего пользования $AOBOP_{r_2}$. Поскольку общим оборудованием могут пользоваться несколько $AMTXO_{ij}$, то синхронизация их доступа реализуется следующим образом: оборудование общего пользования имитируется одним агрегатом $AOBOP_{r_2}$ и множеством агрегатов имитаторов каналов общего пользования $AKAN_{r_3}$. Агрегат $AOBOP_{r_2}$ функционирует непрерывно (последовательно переходит с самого начала и до окончания l -й реализации ВСГР из

состояния S_{0r2} в состояние S_{1r2} и затем снова из S_{1r2} в S_{0r2}) в течении реализаций ИМ ВТП. Длительности нахождения оборудования в этих состояниях определяются при их смене по соответствующим функциям распределения: k -й интервал безотказного функционирования τ_{BOk} находится по функции распределения $\Phi_{1r2}(\tau_{BO})$ и определяет длительность нахождения в состоянии S_{0r2} ; k -й интервал восстановления работоспособности оборудования τ_{BOKi} , который также находится по функции распределения $\Phi_{2r2}(\tau_{BO})$, соответствует нахождению устройства в состоянии S_{1r2} . Таким образом, $AOBOP_{r2}$ непрерывно из состояния S_{0r2} через интервал времени τ_{BOKi} переходит в состояние S_{0r1} , в котором находится длительностью τ_{BOKi} . Это чередование состояний агрегата продолжается до окончания l -й реализации ИМ ВТП, и далее весь процесс имитации $AOBOP_{r2}$ продолжается аналогичным образом, но уже в $(l+1)$ -й реализации ВСГР. Поскольку $AMTXO_{ij}$ и $AOBOP_{r2}$ функционируют независимо каждый согласно своим алгоритмам, то для избежания такой ситуации, когда использование агрегатом $AMTXO_{ij}$ агрегата $AOBOP_{r2}$ приходится на состояние S_{1r2} , введено использование агрегата $AKAN_{r3}$, имитирующего собственно использование общего ресурса объема V_{rijl} устройством общего пользования r_2 . Количество таких $AKAN_{r3}$ будет определяться числом использований $AOBOP_{r2}$ агрегатами $AMTXO_{ij}$.

Агрегат $AOBIN_{r1}$ функционирует в стартовом режиме согласно следующему алгоритму. В момент запуска агрегата на выполнения длительностью $\tau_{BBIrr1kl}$ по функции распределения $\Phi_{3r1}(\tau_{BO})$ определяется длительность τ_{BOR1kl} нахождения агрегата в состоянии S_{1r2} . Случай, когда $\tau_{BOR1kl} \geq \tau_{BBIrr1kl}$ означает, что во время имитации $AOBIN_{r1}$ не будет отказа функционирования оборудования. Если же данное неравенство не выполняется, то это означает возникновение отказа оборудования. При этом определяются последствия отказа: простой отказ (состояние S_{1r1}), возникновение простой аварии (состояние S_{2r1}) или появление сложной аварии (состояние S_{3r1}). Длительность нахождения агрегата в состоянии S_{1r1} по функции распределения $\Phi_{4r}(\tau_{BO})$ определяется равной τ_{BOR1kl} . Время выполнения $AMTXO_{ij}$ на $AOBIN_{r1}$ равно сумме интервалов восстановления и двойному интервалу использования $AOBIN_{r1}$. В состоянии S_{2r1} по функции $\Phi_{5r1}(\tau_{AB})$ определяется интервал ликвидации простой аварии равным τ_{ABr1kl} . В этом случае определяется время выполнения $MTXO_{ij}$ на $AOBIN_{r1}$, равное сумме интервалов ликвидации аварии и двойного интервала использования $AOBIN_{r1}$.

В состоянии S_{3r1} для ликвидации сложной аварии $AOBIN_{r1}$ инициирует выполнение первого агрегата ликвидации аварии из последовательности $\{APROC_k\}$, которые реализуются на временном интервале длительностью $\sum_k \tau_{APR_k}$. В этом случае общее время выполнения $MTXO_{ij}$ на $AOBIN_{r1}$ равно суммарному времени выполнения последовательности $\{APROC_k\}$ и двойного интервала использования $AOBIN_{r1}$.

Во время выполнения $MTXO_{ij}$ на $AOBIN_{r1}$ при наличии состояний S_{2r1} и S_{3r1} в момент окончания выполнения операции на оборудовании и возврата на $AMTXO_{ij}$ формируется признак $\pi_{ar1}=1$, означающий факт аварии на $AOBIN_{r1}$ при выполнении $MTXO_{ij}$. По множеству $\{\pi_{ar1}\}$ этих признаков $ASOB_j$ организует технологическое резервирование по изложенной выше методике. Кроме технологического резервирования, в ИМ ВТП предусмотрено автоматическое индивидуальное резервирование оборудования индивидуального и общего пользования. В основе этого перехода лежит оценка близости фактической наработки оборудования r -го устройства критическому значению. Предусматривается для каждого устройства r порог Q_{01r} этой наработки. Фактическое значение наработки r -го устройства $Q_{\Phi r}$ накапливается в индикаторе наработки оборудования ($ind_r = Q_{\Phi r}$). Множество этих индикаторов доступно для чтения системой $SPRESH$ для обеспечения оперативного управления процессом имитации ВТП. До порога наработки $Q_{\Phi r} < Q_{01r}$ устройство оборудования функционирует в обычном режиме. Фактическая наработка непрерывно увеличивается на постоянную величину при каждом использовании r -го устройства.

Отметим, что значения порогов наработки (Q_{01r}) и приращения наработки (ΔQ_r) задаются до начала ИЭ в качестве начальных значений при l -й реализации ВСГР. Как только выполняется неравенство $Q_{\Phi r} \geq Q_{01r}$, срабатывает переход r -го устройства на «индивидуальный резерв». Этот переход является инициатором двух действий ИМ ВТП: посылки множества $\{ind_r\}$ системе $SPRESH$, которая служит сигналом анализа операционной обстановки в ИМ ВТП, и обнуления индикатора $Q_{\Phi r}$ фактической наработки на сбой устройства номера r , означающей факт автоматического резервирования устройства. Информация об этом передается от $AOBIN_{r1}$ непосредственно в системе $SPRESH$.

В ходе имитации ВТП с постоянным шагом ΔT_n фиксируются состояния ресурсов ВТП в базе данных модели (БДМ), которые затем в виде графиков и временных диаграмм (ST_k) выдаются

подсистеме PS.ANALEX. По этой информации формируется необходимая графическая информация $\{\theta_4\}$ для эксперта при формировании управляющих воздействий θ_3 и θ_5 на ИМ ВТП.

2 Контроль хода имитации ВТП

Возможность отказов оборудования ВТП при выполнении $AMTXO_{ij}$ заставляет эксперта-технолога предусмотреть выход из ситуации в ВТП, возникшей после аварии, хотя она уже ликвидирована последовательностью $\{APROC_k\}$. На этот случай в ИМ ВТП предусмотрены «резервные» цепочки $AMTXO_{ij}$, которые активизируются только при появлении аварий. Переключение на «резервную» ветвь $AMTXO_{ij}$ реализуется за счёт использования булевой матрицы коммутации $\|\gamma_{ns}\|$, формируемой экспертом-технологом до имитации ВТП. Строками n являются номера $AMTXO_{ij}$ на входе $ASOB_i$, а столбцами s являются номера резервных $AMTXO_{ij}$ на выходе $ASOB_j$, которые необходимо инициировать в поставарийной ситуации ВТП. В результате подобное «технологическое резервирование» является динамическим регулятором поставарийной ситуации в ВТП.

Ещё одним способом недопущения аварий оборудования ВТП является автоматический переход на резервное устройство, когда хотя бы для одного из устройств оборудования фактическая «наработка» превышает пороговые значения в ind_r . В этом случае все множество $\{ind_r\}$ поступает в PS.OPEREX, которая проверяет близость к пороговому значению всех устройств оборудования. При достижении близости к пороговым значениям у нескольких устройств формируются следующие воздействия на ИМ ВТП: 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 останавливать ВТП 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 ВТП, поскольку появление аварии для данного ВТП 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 ВТП: критическое время выполнения

ВТП (T_{KPh}), стоимость реализации ВТП (C_{oh}), интегральный расход материалов и комплектующих деталей (mt_{oh}), количество использованных ресурсов r -го номера ($v_{\sum rh}$), суммарная стоимость ликвидации аварий ($C_{\sum Abh}$), общие потери на профилактику ($T_{опph}$). Все эти интегральные отклики модели составляют многомерный вектор откликов VO_h варианта ВТП, у которого все компоненты требуют минимизации, но имеют различную размерность и свои диапазоны их изменения. Поэтому необходима нормировка компонент этого вектора максимальными их значениями из всех вариантов исследования ВТП. Для сравнения вариантов ВТП осуществляется «свёртка» этого вектора к скалярному показателю W_h способом весовых коэффициентов важности $\left(\sum_j \delta_j = 1; 0 \leq \delta_j \leq 1 \right)$ откликов

номера j для эксперта-технолога. Вариантам организации ВТП соответствуют значения вектора параметров ВТП $\{X_{oih}\}$ и постоянных параметров имитации $\{G_h\}$. Каждая из составляющих векторов параметров может меняться на различных уровнях. Поэтому количество вариантов K_0 ($h=1, K_0$) определяется стратегией изменения каждого уровня параметров. Выбор оптимальной стратегии осуществляется на основе классических методов планирования экспериментов. Эксперт с помощью воздействия θ_5 инициирует PS.ANALEX и последующий запуск h -го варианта ВТП. Минимальное значение W_h по всему множеству вариантов номера h_0 и будет решением задачи рационального варианта ВТП.

Важной статикой реализации ИМ ВТП является граф критических путей ($GRKRP_k$), который получен после наложения друг на друга критических путей. С помощью сообщений θ_4 PS.ANALEX выдаёт эксперту графики расхода в t_0 ресурсов r -го типа $Z_{1,rh}(t_0)$, финансовых средств $Z_{2,rh}(t_0)$, а также временные диаграммы использования оборудования и исполнителей ($DIAG_{rh}$). Оперативная статистика реализации ВТП 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 SPRESH обеспечивают возможность досрочной остановки l -й реализации ВСГР на ИМ ВТП, перевод всех устройств оборудования на профилактику, оперативное

изменение характеристик надёжности функционирования оборудования.

3 Автоматизация построения, испытания и эксплуатации имитационных моделей

Для постановки серий экспериментов (ИЭ), отображающих взаимодействие ВСГР со всеми компонентами системы контроля, используется САИМ ВТП [2], которая реализует агрегатный способ имитации ВТП. САИМ ВТП является неотъемлемым компонентом имитации ВСГР и состоит из следующих подсистем и библиотек:

- библиотеки типовых агрегатов $AMTXO_{ij}$ и $ASOB_i$, $AOBIN_k$, $APROC_k$, $(LB.AGREG)$;
- формирование имитационных моделей из множества агрегатов в ИМ ВСГР ($PS.FORMSG$);
- управляющей программы моделирования агрегатов (UPMA) и реализации имитационного эксперимента (ИЭ) согласно процедуре Монте-Карло ($PS.MONTEK$);
- подсистем обработки статистики имитации ВСГР ($PS.OBRAB$), визуализации результатов ИЭ ($PS.VISIAL$), первичного анализа результатов экспериментов ($PS.ANALIZ$).

Рассмотрим структуру и функциональное назначение перечисленных компонентов САИМ ВТП. $LIB.AGREG$ содержит несколько типов реентерабельных программ, используемых для имитации функций агрегатов: $AMTXO_{ij}$, $ASOB_i$, $AOBIN_k$, $APROC_k$. За время постановки ИЭ для каждой l -ой реализации ВСГР программы $AMTXO_{ij}$ и $ASOB_i$ циклически переходят в различные состояния под управлением UPMA.

При построении ИМ ВТП все компоненты этой библиотеки используются в качестве «заготовок» построения подпрограмм этих агрегатов, которые совместно с UPMA и образуют основную часть ИМ ВТП. $PS.FOMSG$ организует ввод исходной информации, который инициируется $PS.PLANEX$, проверяет правильность написания состава и структуры ИМ ВТП, сообщает эксперту о наличии ошибок коммутации в ИМ ВТП, организует верификацию функционирования скопированных агрегатов в виде единой ИМ ВТП.

Подсистема $PS.MONTEK$ содержит библиотеку процедур формирования случайных величин, программу реализации статистических испытаний и вычисления оценок математических ожиданий и дисперсий откликов ИЭ. Подсистема $PS.OBRAB$ автоматизирует все операции обработки первичной статистики моделирования ВТП, являясь при этом адаптацией известного пакета $STATISTIKA$ [3]. $PS.VIZUAL$ формирует временные диаграммы использования устройств и ресурсов ($DIAG_{rhl}$), а также графики $Z_{lrlh}(t_0)$ и $Z_{2rlh}(t_0)$ для l -й реализации ВСГР. Управляющая

программа моделирования UPMA организует переход агрегатов из состояния в состояние и обеспечивает сочетание прямого и инверсного способа изменения модельного времени t_0 с реализацией процедур Монте-Карло, а также контролирует моменты вычисления t_{pil} и t_{pjl} агрегатов $ASOB_i$.

Таким образом, структура ИМ ВТП формируется экспертом (воздействие S_6) с помощью САИМ ВТП путём формирования структуры таблиц $AMTXO_{ij}$ и $ASOB_i$ и таблиц коммутации агрегатов. Эту работу выполняет $PS.PLANEX$, воздействуя через α_5 на UPMA. На следующем этапе исследования проводится серия экспериментов на реальном ВТП. Если же проектируется новая структура ВТП, то используются экспертные данные о параметрах и надёжности функционирования $AMTXO_{ij}$. Результатом этапа является формирование базы данных модели (БДМ), хранящей информацию о параметрах $MTXO_{ij}$. На следующих этапах исследования организуется серия ИЭ для испытания ИМ ВТП согласно известным методикам [3].

4 Технология использования ИМ ВТП

В общем случае исследователь может использовать следующие стратегии: задание начальных значений множества констант-характеристик процесса $\{H\}$, определяющих состав ресурсов у предприятия; выбор алгоритмов модификации ВТП при возникновении аварий в ходе реализации резервных $AMTXO_{ij}$; выбор оборудования, обладающего необходимой надёжностью его функционирования и удовлетворительными временами восстановления его работоспособности; изменение ценовой политики, определяющей стоимостные показатели реализации всех $AMTXO_{ij}$.

Варианты организации ВТП будут отличаться друг от друга составом множества параметров $\{X\}$ $AMTXO_{ij}$. Общее число (m) вариантов ВТП определяется количеством комбинаций уровней элементов множества $\{X\}$.

Откликами ИМ ВТП являются:

$\{Y_1\}$ – вектор усредненных значений коэффициентов растяжения времени выполнения $\{MTXO_{ij}\}$ из-за отказов и ликвидации аварий $\{\bar{\rho}_{ij}\}$, где $\rho_{ij} = \tau_{bij} / \tau_{ij}$;

$\{Y_2\}$ – вектор стоимостных показателей реализации ВТП, состоящий из трех компонентов (реализации ВТП 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 ВТП;

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

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

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

Анализ множества типов $\{Y_j\}$ показал, что все они имеют различную размерность и для выбора рационального состава компонентов множества параметров $\{X\}$ часть $\{Y_j\}$ требует максимизации (Y_4, Y_5, Y_6), а другая часть – требует минимизации (Y_1, Y_2, Y_3, Y_7). Чтобы привести все компоненты $\{Y_j\}$ к одному типу, требующему минимизации, необходимо использовать обратные величины откликов, требующих максимизации.

Технология выбора управляющего воздействия на ВТП при возникновении отказов и аварий на предприятии предполагает предварительную их имитацию с помощью ИМ ВТП. Для принятия обоснованного решения с помощью ИМ ВТП, реализованной в среде системы моделирования, исследователи должны выполнить следующую последовательность действий: ввод в базу данных ИМ исходной информации о структуре ВТП с корректировкой возникающих ошибок описания $AMTXO_{ij}$ и $ASOB_j$; задание начальных значений ресурсов ВТП согласно плану имитационных экспериментов (ИЭ); составление матрицы переключения резервных $AMTXO_{ij}$ для каждого кустового выхода $ASOB_j$; выбор весовых коэффициентов важностей откликов моделирования δ_j на основе априорной информации о ВТП и стратегиях управления ВТП; составление плана ИЭ согласно известным методам последовательного эксперимента на основе использования процедуры Монте-Карло, обеспечивающего получение статистики имитации с

заданным уровнем доверия β ; проведение серий имитационных экспериментов, в ходе которых определяется статистика и вычисляются значения откликов моделирования $\{Y_j\}$; 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 ВТП.

Заключение

Предложен новый подход к исследованию вероятностных технологических процессов с изменяющейся структурой технологического цикла, в котором временные интервалы выполнения отдельных операций являются случайными величинами. Изложенный способ формализации ВТП и имитация процессов управления технологическим циклом на основе новой версии агрегатной системы автоматизации имитационного моделирования [1] ориентирован на случаи, когда динамику функционирования систем управления можно описать на уровне элементов управления со сложной логикой с использованием процедур метода Монте-Карло.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смородин, В.С. Агрегатная система автоматизации моделирования вероятностных технологических процессов производства / В.С. Смородин // Математичні машини і системи. – 2007. – № 1. – С. 105–110.
2. Смородин В.С. Регулирование функционирования технологического процесса производства с помощью системы принятия решений // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2008. – № 2. – С. 77–86.
3. Боровиков В.П. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.

Поступила в редакцию 22.02.10.