



УДК 007.003; 007.008; 65.0

А.Н. ГОНЧАРОВ

АВТОМАТИЗАЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НА ОСНОВЕ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО КОМПЛЕКСА ИМИТАЦИИ

Abstract: It is reported about the method of organization of technological process of production control by the complex of imitation, containing in its composition the indicators of the equipment state and technological process functioning, decision-making system, simulation model of the probabilistic network graph and expert-technologist. Technology of production process control and method of control of the state of indicators of the system are described.
Key words: technological processes of production, probabilistic network graph, decision-making system, expert-technologist.

Аноатація: Повідомляється про методику організації управління технологічним процесом виробництва за допомогою комплексу імітації, що містить у своєму складі індикатори стану устаткування і функціонування технологічного процесу, систему ухвалення рішення, імітаційну модель імовірнісного мережевого графіка і експерта-технолога. Представлені технологія управління виробничим процесом і методика контролю стану індикаторів системи.

Ключові слова: технологічні процеси виробництва, імовірнісний мережевий графік, система ухвалення рішення, експерт-технолог.

Аноатация: Сообщается о методике организации управления технологическим процессом производства с помощью комплекса имитации, содержащего в своем составе индикаторы состояния оборудования и функционирования технологического процесса, систему принятия решения, имитационную модель вероятностного сетевого графика и эксперта-технолога. Представлены технология управления производственным процессом и методика контроля состояния индикаторов системы.

Ключевые слова: технологические процессы производства, вероятностный сетевой график, система принятия решения, эксперт-технолог.

1. Введение

В качестве объекта управления в данной работе рассматривается технологический процесс производства (ТПП), который имеет малую скорость выполнения микротехнологических операций. Структура ТПП определяется с помощью имитационной модели вероятностного сетевого графика (ВСГР) в составе человеко-машинного комплекса, целью использования которого является предотвращение аварий оборудования ТПП за счет своевременного включения резервного оборудования или перевода оборудования на общую профилактику [1]. Подобная возможность появляется только в тех случаях, когда имеются предпосылки предусмотреть развитие ситуации в ТПП с некоторым интервалом упреждения ($\tau_{упр}$) в специализированной системе принятия решений (*SPRESH*) для того, чтобы в нужные моменты времени воздействовать на оборудование. Малая скорость реализации ТПП в ряде случаев позволяет выработать такие воздействия со стороны *SPRESH* на его оборудование, которые на интервале $\tau_{упр}$ заранее проверены с помощью комплекса имитационного моделирования (КИМ). В данной работе рассматривается ситуация, когда КИМ состоит из трех компонентов: системы принятия решений *SPRESH*, имитационной модели (ИМ) агрегатного типа и эксперта-технолога (*EXPERT*).

Целью данной работы является иллюстрация возможности управления реальным вероятностным ТПП в составе человеко-машинного комплекса имитации, поскольку из-за стохастического характера времени τ_{ij} выполнения $MTXO_{ij}$ и конкуренции запросов $MTXO_{ij}$ за ограниченный состав ресурсов классическую теорию расписаний или аппарат сетевого планирования применить нельзя. Ниже излагается методика управления ТПП с помощью КИМ, которая основывается на использовании системы автоматизации имитационного моделирования агрегатного типа [2] и позволяет с помощью имитационной ВСГР управлять функционированием реального ТПП.

2. Состав параметров системы управления технологическим процессом производства

Комплекс имитации для осуществления оперативного управления технологическим процессом производства состоит из следующих компонентов:

- имитационной модели технологического процесса производства, структура которого определяется с помощью вероятностного сетевого графика;
- специализированной системы принятия решений *SPRESH*, осуществляющей анализ и контроль планового и «нештатного» развития операционной обстановки в имитационной модели и технологическом процессе производства;
- блока управления *EXPERT*, выполняющего функции посредника между системой принятия решений и экспертом, физически представляющим собой эксперта-технолога или группу экспертов высокой квалификации соответствующей предметной области.

Оперативное взаимодействие основных компонентов данной системы реализуется с помощью следующих переменных комплекса имитации:

- надежностных характеристик G_{rh}^* функционирования оборудования r -го номера в h -м варианте реализации технологического процесса производства;
- индикаторов ind_{rh}^* текущего состояния r -го устройства оборудования и h -го варианта реализации, в которых накапливается суммарное время наработки устройств на отказ соответствующих устройств технологического процесса;
- указателей π_{abr}^* появления аварий на r -х устройствах оборудования, влияющих на конфигурацию соответствующего варианта моделируемого технологического процесса производства;
- текущих значений U_{fh}^* переменных управления технологическим процессом;
- значений корректирующих воздействий ΔU_{fh}^* на переменные управления;
- параметров функционального состояния Z_{fh}^* технологического процесса, зависящих от значений применяемых управляющих воздействий ΔU_{fh}^* ;
- значений статистик ST_{kh}^* , $k = \overline{1, N}$, характеризующих динамику развития h -го варианта контролируемого технологического процесса производства;

– значений Y_{mh}^* m -го отклика h -го варианта управляемого технологического процесса.

Перечисленные выше переменные комплекса имитации, управляющие воздействия и индикаторы формируются специальными схемами контроля за функционированием оборудования и фиксируются в базе данных имитационной модели (*BDIM*).

3. Состав и структура системы принятия решений ИМ ТПП

Система *SPRESH* состоит из следующего набора процедур: планового управления технологическим процессом производства (*PR.PLAN*); внешнего резервирования оборудования технологического процесса и его профилактики (*PR.PROFILAC*); ликвидации аварий (*PR.LIKAVAR*); индикации текущих состояний процесса (*PR.INDIKAC*); управления состоянием технологического процесса (*PR.UPRSOST*); анализа информации и принятия решений (*PR.ANALIZ*). При этом система *SPRESH* функционирует в двух режимах: оперативного управления медленно протекающим технологическим процессом в режиме реального времени (режим 1); моделирования динамики технологического процесса на имитационной модели ВСГР (режим 2). Рассмотрим динамику управления объектом моделирования в каждом из режимов функционирования системы *SPRESH*.

В режиме 1 с помощью процедуры *PR.PLAN* на регистры начальных условий процесса посылаются значения начальных объёмов ресурсов (X_{mh}), которые затем используются в ходе реализации $MTXO_{ij}$ в составе технологического процесса, а также значения характеристик состава резервного оборудования (G_{rh}^*), включаемого в нужные моменты времени в процессе реализации производственного цикла для обеспечения надёжности функционирования его оборудования. В процессе наблюдения за состоянием оборудования с помощью процедуры *PR.PROFILAC* по значениям индикаторов состояния оборудования $\{ind_{rh}^*\}$, поступающим с постоянным интервалом τ_{iz} с регистров-индикаторов оборудования в систему *SPRESH*, организуется внешнее резервирование и перевод оборудования на профилактику.

Для тех случаев, когда аварии на оборудовании избежать не удалось, с регистра фиксации аварий в систему *SPRESH* поступает признак $\pi_{abrh} = 1$ аварии r -го устройства оборудования, который инициирует работу процедуры ликвидации аварий *PR.LIKAVAR*. Эта процедура организует внешнюю ликвидацию аварии с помощью последовательности процедур $\{APROC_k, k = \overline{1, l}\}$ ликвидации поставарийной обстановки в технологическом цикле производства. Кроме технологического регулирования работы оборудования, в системе $MTXO_{ij}$ организовано постоянное наблюдение за функционированием $MTXO_{ij}$ реального производственного цикла. С помощью процедуры *PR.INDIKAC* через интервалы времени τ_{iz} с регистров-индикаторов

состояний технологического процесса производства в систему *SPRESH* поступают значения множества состояний $\{Z_f^*\}$. Осуществляется проверка выхода этих значений за допустимые границы их изменения (Z_f^-, Z_f^+) , которые ранее были определены в ходе имитационного эксперимента (ИЭ) с помощью комплекса имитации. При выходе $z_f^* \in \{Z_f^*\}$ за пределы допустимого диапазона значений инициируется процедура *PR.UPRSOST* управления состоянием процесса производства. Эта процедура формирует значения управляющих переменных $\{U_{fh}^*\}$ и набор корректирующих воздействий (ΔU_{fh}^*) , поступающих на соответствующие регистры управления процессом. По завершении производственного цикла с регистров откликов реального технологического процесса в систему *SPRESH* посылаются множество статистик реализации $\{ST_{kh}^*\}$ и откликов $\{Y_{mh}^*\}$ реального объекта управления. Значения этих статистик и откликов процедура *PR.ANALIZ* оперативно анализирует по информации об использовании ресурсов и функционировании оборудования. Процедура *PR.ANALIZ* корректирует таблицы *SPRESH*, используемые остальными процедурами при управлении реальным объектом в следующем цикле контроля за его реализацией.

В режиме 2 система *SPRESH* взаимодействует с имитационной моделью ВСГР. Процедура *PR.PLAN* посылает на блок начала имитации значения $\{X_{nh}\}$ и $\{G_{rh}\}$. С тем же интервалом наблюдения τ_{iz} в систему *SPRESH* от модели поступают множества значений индикаторов состояния оборудования $\{ind_{rh}\}$. В этом режиме *SPRESH* организует операции внешнего резервирования оборудования и перевод устройств на профилактику с помощью процедуры *PR.PROFILAK*. При появлении в имитационной модели ВСГР аварийной ситуации в систему *SPRESH* с помощью указателя π_{abrh} поступает соответствующий признак аварии. Для управления функционированием имитационной моделью ВСГР через интервалы τ_{iz} на *SPRESH* поступает множество индикаторов состояний $\{Z_{fh}\}$ и переменных управления $\{U_{fh}\}$. При выходе компонентов $\{Z_{fh}\}$ за допустимые границы их изменения (Z_f^-, Z_f^+) инициируется процедура *PR.UPRSOST*. Эта процедура формирует значения управляющих переменных $\{U_{fh}\}$ и набор корректирующих воздействий $\{\Delta U_{fh}\}$, поступающих на имитационную модель ВСГР. При завершении технологического процесса от блока окончания имитации модели в *SPRESH* поступают множества статистик $\{ST_{kh}\}$ и откликов $\{Y_{mh}\}$ реализации имитационной модели. После поступления в *SPRESH* множеств значений $\{ST_{kh}\}$ и $\{Y_{mh}\}$ процедура *PR.ANALIZ* анализирует их содержимое, используя для принятия решения соответствующий критерий качества, и выбирает

номер оптимального варианта h_0 организации имитационной ВСГР, изменяя при этом содержимое таблиц системы *SPRESH* и активизируя работу процедуры *PR.PLAN*.

Третьей составляющей комплекса имитации является блок управления *EXPERT*, который взаимодействует только с системой *SPRESH* в двух режимах: чтения информации из *SPRESH* и записи управляющей информации для *SPRESH*, которая формируется в тех случаях, когда необходимо экстренное вмешательство эксперта-технолога в режим имитации ТПП. С помощью воздействий $\theta_1 \div \theta_3$ система *SPRESH* информирует блок управления *EXPERT* о ситуации в имитационной модели ВСГР. На основе анализа таблиц, графиков и временных диаграмм использования оборудования блок управления *EXPERT* формирует управляющие воздействия $\theta_4 \div \theta_6$ для системы *SPRESH*, которые необходимы для оперативной корректировки течения процессов в имитационной модели ВСГР.

4. Особенности технологического и функционального управления имитационной моделью

Технологическое управление надёжностью функционирования оборудования с помощью комплекса имитации организовано несколькими способами: во-первых, системой *SPRESH* организуется внешнее управление оборудованием с помощью группового резервирования оборудования или путём перевода на профилактику всего оборудования ТПП; во-вторых, с помощью ИМ ВСГР обеспечивается внутреннее управление оборудованием путем организации одиночного резервирования устройств или путём переключения отдельных имитаторов устройств оборудования на режим профилактики с приостановкой имитации на время τ_{pr} выполнения профилактических работ.

Важной группой переменных имитационной модели является вектор индикаторов состояний технологического процесса $Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_f)$. Алгоритмы $ATOP_{ij}$ в режиме контроля за функционированием $MTXO_{ij}$ формируют значения компонентов этого вектора $\{Z_{fn}\}$. Компоненты данного вектора используются для контроля и имеют допустимые пределы изменения, задаваемые в таблице $TGZ = (Z_{fn}^-, Z_{fn}^+)$, где Z_{fn}^-, Z_{fn}^+ – соответственно верхние и нижние границы индикатора z_f . Допустимые границы индикаторов в таблице TGZ указывает эксперт-технолог. В процессе анализа выхода за допустимые границы агрегат $ATOP_{ij}$ циклически вырабатывает значения компонентов вектора модификации состояний, которые равны $\pi_f = 1$, когда $Z_{fn} < Z_{fn}^-$, и $\pi_f = -1$, когда $Z_{fn} > Z_{fn}^+$. После формирования компонентов вектора значений корректирующих воздействий $\{\Delta U_{fn}\}$ последний запоминается в «теле» сигнала Sgd и затем поступает на агрегат $ASOB_j$. Функциональная часть алгоритма агрегата $ATOP_{ij}$ при этом завершает свою работу, и далее выполняется алгоритм технологической части $ATOP_{ij}$. В агрегате $ASOB_j$ содержимое «тела» Sgd используется при обслуживании выходов четвертого типа [2].

5. Организация оперативного управления технологическим процессом производства с помощью комплекса имитационного моделирования

Блок управления *EXPERT* осуществляет непосредственное взаимодействие с системой принятия решений *SPRESH*. Это обусловлено следующими причинами. Во-первых, скорость реакции человека значительно ниже скорости обработки управляющей информацией системой *SPRESH*. Поэтому в качестве буфера обмена между ними используется база данных модели. Во-вторых, информация о состояниях технологического процесса должна передаваться в блок управления *EXPERT* в виде, удобном для ее восприятия специалистом-предметником. В качестве входной информации через блок управления эксперт-технолог получает отображение индикаторов состояния оборудования (θ_1), график использования ресурсов и диаграммы работы оборудования (θ_2), а также таблицы интегральных откликов и статистик моделирования (θ_3). Отметим, что на динамику имитации ВСГР влияют следующие управляющие воздействия эксперта-технолога: остановка процесса имитации (θ_4); переход на профилактику или групповое резервирование оборудования (θ_5); установка новых начальных значений компонентов вектора параметров $\{X_{nh}\}$ или модификация диапазонов изменения индикаторов состояния ТПП $TGZ = (Z_{fh}^-, Z_{fh}^+)$, а также модификация содержимого таблицы корректировки вектора U_{fh} переменных управления технологическим процессом на агрегаты имитационной модели.

Перед каждой реализацией ВСГР эксперт-технолог может менять начальные воздействия $\{X_{hs}\}$ на имитационную модель и характеристики G_{rh} надежности устройств $MTXO_{ij}$. Такой подход к заданию исходных данных превращает комплекс имитации в инструмент управления динамикой реализации технологических процессов производства. Это особенно важно, когда имитация на модели происходит с интервалом упреждения τ_{upr} функционирования реального технологического процесса и результаты имитации на имитационной модели можно учесть при модификации переменных управления технологическим процессом производства для контроля за состоянием оборудования.

Особенно эффективно использование комплекса имитации в тех случаях, когда интервалы времени τ_{SOB_j} между чрезвычайными событиями в медленно развивающемся технологическом процессе достаточны для оперативного управления ($\tau_{SOB_j} > T_{kph}$, где T_{kph} – критическое время реализации процесса, ранее полученное на имитационной модели).

6. Выводы

Предложенные программные средства позволяют решать задачу выбора рационального варианта состава ресурсов ТПП и такого состава оборудования, который обеспечит требуемый уровень надёжности функционирования производственного цикла; позволяют оперативно изменять характеристики реализации технологического процесса для обеспечения возможности их нахождения в допустимых пределах. Применение программных средств автоматизации

моделирования повышает уровень технологии создания имитационных моделей, поэтому, с нашей точки зрения, их дальнейшее использование в данной области исследований является перспективным и обеспечивает высокую эффективность имитационной модели при контроле за функционированием реальных производственных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаров А.Н. и др. Управление резервированием и восстановительными операциями с помощью имитационного моделирования при возникновении отказов в технологических процессах опасного производства / А.Н. Гончаров, И.В. Максимей, В.С. Смородин // Проблемы управления и информатики. – 2007. – № 1. – С. 48 – 60.
2. Об одной методике имитационного моделирования вероятностных технологических процессов производства / А.Н. Гончаров, И.В. Максимей, В.С. Смородин и др. // Математичні машини і системи. – 2008. – № 1. – С. 133 – 138.

Стаття надійшла до редакції 09.07.2008