

ТЕХНОЛОГИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ С ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

Abstract: General approach and methodological problems of the task decision of the development of programmatic-technological complex is examined for research and control of probabilistic technological process of production at presence of feed-backs.

Key words: programmatic-technological complex, control systems, probabilistic technological processes.

Анотація: Розглядаються загальний підхід і методологічні проблеми рішення задачі розробки програмно-технологічного комплексу для дослідження і управління ймовірнісним технологічним процесом виробництва за наявності зворотних зв'язків.

Ключові слова: програмно-технологічний комплекс, системи управління, ймовірнісні технологічні процеси.

Аннотация: Рассматриваются общий подход и методологические проблемы решения задачи разработки программно-технологического комплекса для исследования и управления вероятностным технологическим процессом производства при наличии обратных связей.

Ключевые слова: программно-технологический комплекс, системы управления, вероятностные технологические процессы.

1. Введение

В настоящее время для исследования систем управления сложными техническими комплексами чаще всего используют аналитические модели. При наличии обратной связи по управлению используются также методы конструктивной теории оптимизации (например, адаптивный метод), позволяющие стабилизировать параметры системы при наличии случайных возмущений параметров управления и воздействий на состояния этой системы в случае, когда плоскость фазовых состояний исследуемого объекта описывается системой дифференциальных уравнений.

В общем же случае, когда объектом исследования являются дискретные вероятностные технологические процессы (ВТП), а переход исследуемой системы из состояния в состояние и управляющие воздействия нельзя описать с помощью конечной системы дифференциальных уравнений, существующий математический аппарат оказывается менее эффективным. Очевидная актуальность данной проблемы, в особенности при проектировании высоконадежных производственных систем и осуществлении проектного моделирования для модификации существующих при наличии автоматического управления с обратной связью, требует разработки новых эффективных методов ее решения.

Как известно, одним из возможных путей исследования динамики реализации вероятностных технологических процессов производства является имитационное моделирование функционирования таких производственных систем [1]. При этом необходимо подчеркнуть, что задача автоматизации имитационного моделирования производственных систем с параллельно-последовательной организацией технологического цикла при наличии управления с обратной связью до сих пор в общем виде не рассматривалась, поскольку существующие программные средства автоматизации имитационного моделирования (например, новейшие модификации системы моделирования на основе языка моделирования GPSS) не позволяют отобразить динамику взаимодействия компонентов управления вероятностных технологических процессов в

совокупности с параллельно-последовательным процессом функционирования технологических операций на высоком уровне их детализации.

Таким образом, при наличии управления с обратной связью для рассматриваемой области исследований отсутствует способ формализации дискретных параллельно-последовательных ВТП, нет удовлетворительных методов исследования и программных средств автоматизации процесса их имитационного моделирования. Следует отметить, что важной проблемой, позволяющей решать насущные практические задачи управления производством, является также разработка методов исследования систем управления при наличии обратных связей как по управлению, так и по состоянию.

Ввиду актуальности и высокой практической значимости данной тематики для осуществления проектного моделирования, разработки и модификации высоконадежных производственных систем, представляются актуальными разработка метода, программных средств, технологии имитационного моделирования и управления производственными системами с параллельно-последовательной организацией технологического процесса при наличии обратной связи по управлению.

2. Формализация процесса управления ВТП с параллельно-последовательной организацией

Для исследования структуры системы управления и динамики взаимодействия её компонентов необходимо совмещение временного моделирования с отображением функций основных компонентов системы. Такое совмещение обычно называют технологическим моделированием. Для регулирования поведения ВТП используется эмуляция некоторых функций компонентов системы, которая представляет собой суть функционального моделирования. Регулирование достигается путем реализации функций контроля выхода компонентов управляемых переменных $\{U_k\}$ за допустимые границы диапазона их изменений. При каждом выходе $\{U_k\}$ за пределы области допустимых значений необходима их корректировка, что достигается с помощью специальных элементов корректировки состояний. Процесс управления реализуется программно-технологическим комплексом, состоящим из имитационной модели (ИМ) вероятностного сетевого графика (ВСГР), лежащего в основе формализации ВТП, информационной базы данных имитационной модели ВСГР, блока-имитатора системы управления, агрегатов-имитаторов оборудования общего пользования (*АОВОР*), агрегатов-имитаторов оборудования индивидуального пользования (*АОВИН*), программной системы принятия решений (*EXPERT*) и библиотеки процедур вторичной обработки статистики имитации.

Система управления в общем случае состоит из двух типов элементов синхронизации. Первый тип элементов представляет собой сложным образом организованную схему совпадения сигналов типа «и», второй тип является логической схемой слежения «или». Она вырабатывает выходные сигналы после прихода на любой из её входов самого раннего сигнала. Поскольку все сигналы связи между элементами системы управления (СУ) являются сложными, то в них хранится информация о ситуациях, возникающих в системе при выполнении любого её элемента: нормальное исполнение функций элементом, отказ оборудования, выход $\{U_k\}$ за допустимые

пределы, совмещение отказов оборудования с выходом $\{U_j\}$ за допустимые диапазоны их изменения. Это означает, что сигналы, поступающие от системы управления к оборудованию, имеют соответствующие признаки, указывающие на возникшую ситуацию в ходе выполнения любого элемента СУ. Таким образом, в системах управления ВТП должны присутствовать несколько типов исполнительных устройств: исполнители функций; устройства оперативной ликвидации последствий аварий на оборудовании; корректировщики значений $\{U_j\}$; универсальные элементы, которые одновременно ликвидируют последствия аварий и выходы компонентов $\{U_k\}$ за допустимые границы.

Имитационная модель системы управления конструируется из пяти типов исполнительных элементов:

- исполнитель $ISPF_{ij}$ нормального выполнения микротехнологических операций $MTXO_{ij}$ ($i, j = \overline{1, N}$), инициируемый синхронизатором с номером i и посылающий сигналы на синхронизатор с номером j ;
- исполнитель $CORF_{ij}$ функции по корректировке значений компонентов вектора глобальных переменных управления U_k при выходе за допустимые границы;
- исполнитель $LICV_{ij}$, ликвидирующий последствия аварий на оборудовании;
- универсальный элемент $UNIV_{ij}$, который одновременно корректирует значения компонентов вектора U_k и ликвидирует последствия аварий на оборудовании;
- индикатор $INDS_{ij}$ состояния ВТП.

Данные типы исполнительных элементов могут различаться между собой степенью сложности их алгоритма, а также составом используемых ресурсов. Связь между этими элементами регулируется управляющими сигналами, которые различаются своими типами. К первому типу сигналов относятся действительные (Sgd), инициирующие алгоритм-имитатор исполнительных элементов; ко второму типу относятся фиктивные сигналы (Sgf). Последние, минуя основной алгоритм функционирования элемента-имитатора, поступают непосредственно на один из входов элемента синхронизации системы управления. Данные сигналы имеют сложную структуру. Составными элементами сигналов являются следующие параметры: тип сигнала, адресная и информационная части сигнала. Действительный сигнал Sgd_{ij} имеет значение $\pi_s = 1$, а у фиктивного сигнала Sgf_{ij} это значение равно нулю [3]. В адресной части ($ad = (i, k, l, j, r)$), где i – номер элемента синхронизации на l -м разветвлении кустового выхода номера k) содержится информация, откуда и куда направляется сигнал. Формируется поступающий через исполнительный элемент на r -й вход j -го элемента сигнал в момент срабатывания спусковой функции i -го элемента синхронизации. Информационная часть Sgd_{ij} имеет вид: $in = (ps, so)$, где

ps – последствие выполнения элемента, so – состояние системы управления после выполнения исполнительного элемента в момент срабатывания «спусковой» функции. Если при выполнении исполнительного элемента произошла авария оборудования, то формируется признак аварии $ps = '1'$, а при отсутствии аварийной обстановки этот признак равен нулю ($ps = '0'$).

В основу имитационного моделирования системы управления и построения соответствующей имитационной модели положено сочетание идей метода Монте-Карло и методики сетевого планирования на базе использования вероятностной модели сетевого графика с переменной структурой, имитационная модель которой представляет собой множество агрегатов-имитаторов выполнения микротехнологических операций $MTXO_{ij}$ ($ATOP_{ij}$), свершения событий $ASOB_j$ в ВСГР, функционирования r -го устройства оборудования индивидуального и общего пользования ($AOBIN_r$ и $AOBOP_r$), выполнения процедур ликвидации аварий ($APROC_k$). Агрегаты $ATOP_{ij}$ имитируют технологию выполнения $MTXO_{ij}$ в составе технологического процесса производства, а агрегаты-имитаторы $AOBIN_r$, $AOBOP_r$ и множества агрегатов $\{APROC_k\}$ используются для отображения технологии его реализации. Агрегаты $ASOB_j$ являются многополюсниками с различным числом входов и выходов и используются для имитации свершения событий в ВСГР и запуска соответствующих агрегатов $ATOP_{ij}$. Агрегат $ATOP_{ij}$ представляет собой четырёхполюсник, имитирующий выполнение $MTXO_{ij}$ в ВСГР, и функционирует в двух режимах (прямой и инверсной имитации).

3. Синхронизация взаимодействия компонентов в системе управления параллельно-последовательным ВТП

Первый тип синхронизатора $SLAST_i$ функционирует по алгоритму логической схемы «и». Вначале $SLAST_i$ ожидает прихода сигналов на один из его входов. Допускается любое число входов (a_i), которые нумеруются ($r \leq a_i$) [2]. После прихода самого позднего сигнала на один из входов элемента $SLAST_i$ срабатывает «спусковая» функция. В этот момент одновременно формируются все сигналы на разветвлениях выходов элемента. Второй тип синхронизатора $SFIRST_i$ функционирует по алгоритму логической схемы «или». Этот элемент также ожидает прихода сигналов на его входы, и число его входов $r \leq b_i$. С приходом самого раннего сигнала Sgd_{ij} на любой из входов элемента срабатывает «спусковая» функция синхронизатора $SFIRST_i$, и формируются сигналы на выходах элемента. С этого момента остальные сигналы Sgd_{ij} на $SFIRST_i$ игнорируются алгоритмом элемента формирования выходных сигналов. Обработка сигналов элементами $SLAST_i$ и $SFIRST_i$ осуществляется одинаковым образом в момент срабатывания «спусковой» функции элемента.

У элементов синхронизации $SLAST_i$ и $SFIRST_i$ структура выходов одинакова. В общем случае все выходы элементов синхронизации могут быть кустовыми с различным числом разветвлений L_k , где k – порядковый номер выхода ($k \leq l_k$), номер разветвления $l_k = \overline{1, L_k}$. Если $L_k = 1$, то выход номера k называют одиночным. На каждом l_k -м разветвлении выхода номера k в момент срабатывания спусковой функции формируются действительные или фиктивные сигналы (Sgd_{ij} и Sgf_{ij}) от i -го элемента синхронизации на вход исполнителя с индексом ij .

На разветвлениях выходов сигналов первого типа одновременно формируются только действительные сигналы Sgd_{ij} , которые направляются согласно своей адресной части на исполнительные элементы с индексом ij . Выходы второго типа имеют вероятностную природу, поэтому до начала имитации задается вектор вероятностей $\{p_{kij}\}$, у которого $\sum_k p_{kij} = 1$. По жребию второго типа на одном разветвлении кустового выхода номера k формируется действительный сигнал Sgd_{ij} , а на остальные разветвления посылаются фиктивные сигналы Sgf_{ij} . Выходы третьего типа используются для активизации тех исполнительных элементов $LICV_{ij}$, которые ликвидируют последствия аварии на оборудовании ВТП. Для этой цели используется матрица $\|\gamma_{rh}\|$, имеющая m строк, число которых равно числу входов ($r \leq m$), и S_1 столбцов ($l_k \leq S_1$). Действительные сигналы Sgd_{ij} на l_k -х разветвлениях формируются только в том случае, когда истиной становится булева функция $Z = ps \wedge \gamma_{rs}$. Поэтому в случае поставарийной обстановки во входном сигнале в состоянии $ps = '1'$ активизируется h -е разветвление k -го выхода третьего типа путем отправки Sgd_{ij} на элемент $LICV_{ij}$, ликвидирующий последствия аварии на оборудовании. На остальных разветвлениях этого выхода элемента синхронизации формируются фиктивные сигналы Sgf_{ij} . Изменяя содержимое r -х строк в матрице $\|\gamma_{rh}\|$, регулируется либо активизация элементов $LICV_{ih}$ для ликвидации последствий аварии на оборудовании, либо активизация $UNIV_{ih}$ для ликвидации аварийной ситуации и корректировки значений компонентов вектора U_k . Выходы четвертого типа используются для активизации исполнительных элементов $CORF_{ih}$, которые корректируют значения компонентов $\{U_k\}$ при их выходе за границы допустимых диапазонов значений. Для этого используется матрица $\|\beta_{rh}\|$, в которой также имеется r строк и S_2 столбцов ($l_k < S_2$). Аналогично предыдущему случаю, действительные сигналы Sgd_j на l_k -х разветвлениях формируются только в том случае, когда истиной станет булева функция $W = so \wedge \beta_{rs}$. С помощью этой матрицы при выходе хотя бы одного компонента $\{U_k\}$ за допустимые пределы в состоянии $so = '1'$ активизируется s -е

разветвление k -го выхода четвертого типа путем посылки Sgd_{ij} на элемент $CORF_{ih}$, корректирующий значения компонентов $\{U_k\}$. На остальных разветвлениях этого выхода элемента синхронизации формируются фиктивные сигналы Sgf_{ij} . Поэтому, изменяя содержимое r -х строк в матрице $\|\beta_{rh}\|$, активизируются элементы $CORF_{ih}$ для корректировки значений $\{U_k\}$ глобальной переменной управления. Отметим, что на k -х выходах формируется множество действительных и фиктивных сигналов, при этом действительные сигналы Sgd_{ij} , в свою очередь, активизируют следующие элементы:

- с выходов первого типа все элементы $ISPF_{ij}$ на каждом разветвлении;
- с выходов второго типа только один элемент $ISPF_{ij}$;
- с выходов третьего типа комбинацию элементов $LICV_{ij}$ или $UNIV_{ij}$;
- с выходов четвертого типа комбинацию элементов $CORF_{ij}$ или $UNIV_{ij}$.

Таким образом, учитывая особенности взаимодействия компонентов системы управления, можно планировать работу исполнительных элементов по времени реализации алгоритма в зависимости от операционной обстановки (наличия отказов оборудования и выхода контролируемой переменной U_k за пределы допустимых диапазонов изменения её компонентов).

4. Выводы

В работе рассматривается способ исследования систем управления для вероятностного технологического процесса производства с параллельно-последовательной организацией, в котором время выполнения каждой технологической операции является случайной величиной. Изложенный подход при формализации систем управления ориентирован на случаи, когда динамику функционирования системы управления можно описать на уровне элементов управления со сложной логикой с использованием процедур метода Монте-Карло. Исследование таких систем с помощью программных средств автоматизации экспериментов, реализующих метод имитации вероятностных технологических процессов агрегатного типа [3], обеспечивает простоту их формального описания и универсальную структуру получаемых имитационных моделей, что дает возможность рассчитывать на перспективу развития данного подхода при проектировании соответствующих объектов для различных предметных областей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимей И.В., Смородин В.С. Методика имитационного моделирования систем управления опасного производства // Проблемы управления и информатики. – 2005. – № 4. – С. 53 – 62.
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.
3. Смородин В.С. Агрегатная система автоматизации моделирования вероятностных технологических процессов производства // Математичні машини і системи. – 2007. – № 1. – С. 105 – 110.

Стаття надійшла до редакції 09.07.2008