

Методика оперативного управления технологическими процессами опасного производства

В. С. СМОРОДИН

1 Введение

В работе рассматривается ситуация, когда параллельно существуют технологический процесс опасного производства (ТПОП) и его имитационная модель (ИМ), которая используется при проектном моделировании ТПОП и при эксплуатации как инструмент контроля и управления самим ТПОП. В качестве такого многофункционального инструмента предлагается использовать человеко-машинную систему оперативного управления (ЧМСОУ) развитием ТПОП, состоящую из трех основных компонентов: ИМ ТПОП, отображающей на высоком уровне детализации с помощью аппарата сетевого планирования [1] все стадии ТПОП; системы принятия решений (*SPRESH*), реализованной с помощью средств автоматизации имитационного моделирования (САИМ) [2]; эксперта-технолога (*EXPERT*), являющегося специалистом исследуемой предметной области и разработчиком алгоритмов ИМ ТПОП. Актуальность разработки технологии оперативного управления ТПОП определяется тем, что ИМ ТПОП, *SPRESH*, *EXPERT* и реальный ТПОП функционируют в различном временном масштабе и цена отказа оборудования ТПОП весьма высока. Поэтому возникает необходимость оперативного вмешательства *EXPERTa* или *SPRESH* в ход развития ТПОП с целью предотвращения аварий за счет своевременного перехода на резервное оборудование или внеочередную профилактику оборудования ТПОП. Непредсказуемый характер отказов оборудования ТПОП приводит к необходимости непрерывного слежения за операционной обстановкой в ТПОП и оперативного принятия решения об использовании резервного оборудования. Обычная имитация функционирования ТПОП даже при применении сложных алгоритмов принятия решений неэффективна из-за того, что опасные ситуации в ТПОП только фиксируются, когда уже поздно предотвратить аварию. Поэтому предлагается проводить имитацию ТПОП с некоторым упреждением по сравнению с реальным ТПОП. В таких случаях *SPRESH* выдает *EXPERTу* информацию о возможности аварии по истечении интервала запаздывания реального ТПОП ($\tau_{\text{АП}}$). Сама ИМ ТПОП представляет собой реализацию вероятностных сетевых графиков (ВСГР) в составе процедуры Монте-Карло из-за вероятностного характера параметров реализации микротехнологических операций ($MTXO_{ij}$), а также характеристик отказов и восстановлений работоспособности оборудования. *EXPERT*, помимо интегральной статистики реализации ВСГР, полученной как результат применения процедуры Монте-Карло, может использовать оперативную статистику о состоянии ВСГР в ходе l -ой реализации ИМ ВСГР. С её помощью *EXPERT* и *SPRESH* могут автоматически управлять процессом имитации в ИМ ТПОП. Разноплановый набор требований организации динамики функционирования ЧМСОУ определил цель, задачи и основные аспекты организации взаимодействия этих трех компонентов системы.

2 Формализация ТПОП

Для построения ИМ ТПОП используется аппарат сетевого планирования [3], который позволяет отобразить во времени параллельно-последовательное функционирование $MTXO_{ij}$, у которых параметры являются вероятностными. Связи в ИМ ВСГР представляются двумя типами агрегатов-имитаторов: микротехнологических операций ($ATOP_{ij}$) и свершения событий ($ASOB_i$), являющихся узлами ВСГР. С помощью процедуры Монте-Карло ва-

риант ИМ ВСГР заменяется последовательностью реализаций сетевых графиков детерминированной структуры $\{CGP_{lh}\}$ [3]. Функционирование и состав параметров агрегатов $ATOP_{ij}$ и $ASOB_i$ приведены в работе [1]. Помимо времени выполнения агрегата $ATOP_{ij}$ (τ_{ijlh}), являющегося случайной величиной, для имитации $MTXO_{ij}$ требует от системы распределения ресурсов (SRR) выделения на время имитации операции запросов на ресурсы и оборудование системы. Используемое оборудование $r-zo$ номера может выходить из строя через интервалы времени (τ_{cokl}), которые также являются вероятностными. Отказы оборудования $k-zo$ номера могут быть трех типов: простые, требующие только времени восстановления работоспособности k -го устройства (τ_{bokl}); средней тяжести, которые приводят к возникновению аварии и требуют большего времени её ликвидации (τ_{abkl}); опасные отказы, которые также приводят к авариям, но требуют для их ликвидации выполнения последовательности агрегатов-имитаторов процедур ликвидации аварии $\{APROC_k\}$. Поскольку все перечисленные интервалы времени являются случайными величинами, то в ИМ ВСГР они описываются с помощью их функций распределения ($\Phi_{1k}(\tau_{co})$, $\Phi_{2k}(\tau_{bo})$, $\Phi_{3k}(\tau_{ab})$), задаваемых до имитации технологом, разработавшим алгоритмы ИМ ВСГР. Особенностью реализации ИМ ВСГР является конкуренция $ATOP_{ij}$ за ограниченный состав ресурсов предприятия. До выделения всех требуемых ресурсов и оборудования $ATOP_{ij}$ ожидает своей активизации, после чего начинается имитация выполнения $MTXO_{ij}$ в l -ой реализации ВСГР длительностью τ_{ijlh} , которая также разыгрывается с помощью функции распределения $F_{ijlh}(\tau)$ в ходе этой реализации.

3 Состав и структура системы оперативного управления ТПОП

Блок-схема связей компонентов системы оперативного управления (СОУ) ТПОП приведена на Рис.1. Основным звеном оперативного управления ходом ИЭ является система принятия решений ($SPRESH$). С одной стороны она взаимодействует с ИМ ТПОП, используя алгоритмы обработки и анализа критичных и аварийных ситуаций в ТПОП. С другой стороны, $SPRESH$ формирует и принимает информацию от $EXPERTa$ для того, чтобы он мог оперативно воздействовать на ход имитации ТПОП. Структурно реализовано взаимодействие трех функциональных составляющих $SPRESH$: блока оперативного управления имитационным экспериментом (БОУИЭ), который на высоком уровне детализации управляет имитацией функций оборудования и взаимодействием их с $\{MTXO_{ij}\}$; блока планирования начала имитационного эксперимента (БНИЭ), который задает начальные условия имитации и принятия решений в начале каждой реализации ВСГР согласно процедуре Монте-Карло; блока принятия и анализа информации от $EXPERTa$ и подготовки для него информации (БИПР) в виде, удобном для анализа лицом, принимающим решение (ЛПР).

ИМ ТПОП состоит из следующих компонентов: подмодели ИМ ВСГР, имитирующей $l-yo$ реализацию ИМ ТПОП согласно процедуре Монте-Карло; блока реализации одиночного резервирования устройств ($ODRESERV$); блока имитации ликвидаций аварий (БИЛА); блока технологического резервирования ТПОП (БТРЗ); подсистемы реализации процедуры Монте-Карло ($PS.MONTEK$); блока сбора статистики имитации (БССИ), управляющей программой моделирования (УПМ).

Имитатор действий технолога ($EXPERT$) непосредственно взаимодействует с ИМ ТПОП только через $SPRESH$ из-за того, что скорость реакции человека значительно ниже скорости имитации ТПОП на ЭВМ. Поэтому между ними существует буфер в виде БДМ, в котором находится информация и для $SPRESH$ и для $EXPERTa$. Кроме того, $EXPERTu$ информация о развитии процесса имитации ТПОП нужна в виде удобном для её восприятия специалистом той предметной области, к которой относится ТПОП.

Аппарат сетевого планирования [1] позволяет отображать во времени параллельно-

последовательное выполнение $MTXO_{ij}$. Расчет статистик реализации $ATOP_{ij}$ и $ASOB_i$ осуществляется по известным формулам [1] в направлении от исходного события ($i = 1$) до завершающего события ($i = m$). Вычисление ранних сроков свершения $ASOB_i$ (t_{pilh}) осуществляется в режиме прямой имитации (когда модельное время t_0 растет от 0 до критического времени CGP_l (T_{kplh})), а расчет поздних сроков свершения $ASOB_i$ (t_{pilh}) происходит в режиме инверсной имитации (когда модельное время t_0 уменьшается от T_{krlh} до нуля). При этом резерв свершения события ($R_{ilh} = t_{pilh} - t_{kilh}$) также будет случайной величиной. В ходе l -ой реализации ИМ ВСГР определяется критический путь (KRP_{lh}), состоящий из последовательности $\{(ASOB_i, ATOP_{ij}, ASOB_j)\}$, в которой $ASOB_i$ и $ASOB_j$ имеют $R_{ilh} = 0$. По окончании N реализаций все KRP_{lh} запоминаются в БДМ. Кроме того, для каждого $ASOB_i$ формируется четверка статистик его свершения ($i, t_{pilh}, t_{kilh}, R_{ilh}$), а для $ATOP_{ij}$ формируется тройка статистик их выполнения ($ij, \tau_{vijh}, C_{ijlh}$). Все эти статистики в виде соответствующих множеств при l -ой реализации для h -го варианта параметров ИМ ТПОП запоминаются в БДМ.

4 Динамика оперативного управления ИМ ТПОП

Средством реализации СОУ ИМ ТПОП явилась система автоматизации имитационного моделирования [2], реализующая агрегатный способ имитации сложных систем. При построении ИМ ТПОП используется шесть типов агрегатов-имитаторов: выполнения $MTXO_{ij}$ ($ATOP_{ij}$), свершения событий ($ASOB_i$), функционирования индивидуального оборудования ($AOBIN_{r1}$), функционирования оборудования общего пользования ($AOBOP_{r2}$), процедур ликвидации аварий ($APROC_k$). Все эти агрегаты представляют собой реентерабельные программы моделей агрегатов, которые в БДМ имеют свой набор переменных и статистик моделирования соответственно номерам версий этих подмоделей. Количество версий равно числу агрегатов данного типа в ИМ ВСГР. Динамика выполнения алгоритмов этих агрегатов одинакова для каждого типа агрегатов, хотя каждая из версий имеет свою область данных в БДМ. Динамика функционирования реентерабельных программ такова, что каждый из агрегатов реализует свой алгоритм от одного оператора синхронизации или сбора статистики до другого оператора. В ходе выполнения этих алгоритмов фиксируется локальная и интегральная статистика реализации каждой версии агрегата. Детально состав алгоритмов и особенности реализации агрегатов каждого типа приведены в работах [1, 2].

В системе существует два вида управления ходом ИЭ: внутреннее и внешнее. Для организации управления используется система индикаторов состояния каждого устройства оборудования $\{ind_r\}$. До начала имитации технолог устанавливает для каждого устройства оборудования номера r порог наработки (Q_{0r}). Фактическая наработка оборудования накапливается на ind_r путем добавления к накопленной сумме некоторого приращения (ΔQ_{cpr}), которая зависит от общего времени использования устройства r ($Q_{cpr} = Q_{0r} + \Delta Q_{cpr}$). Проверяется выполнение неравенства $Q_{cpr} > Q_{0r}$, что означает выход наработки за допустимые пределы и немедленный переход операции на резервное оборудование (имитация одиночного резервирования устройств оборудования). Внешнее управление реализуется системой *SPRESH* следующим образом. С интервалом измерения ($\Delta \tau_{из}$) значения этих индикаторов передается от ИМ ТПОП на вход *SPRESH* (см. рис.1). Внутри этого интервала срабатывают одиночные переходы на резервирование оборудования при достижении нижнего критического уровня наработки оборудования ТПОП. При поступлении $\{ind_r\}$ в *SPRESH* происходит распознавание критической ситуации у оборудования ТПОП. Для более низкого уровня доверия ($\beta = 0,8$) до имитации рассчитываются пороговые значения наработки оборудова-

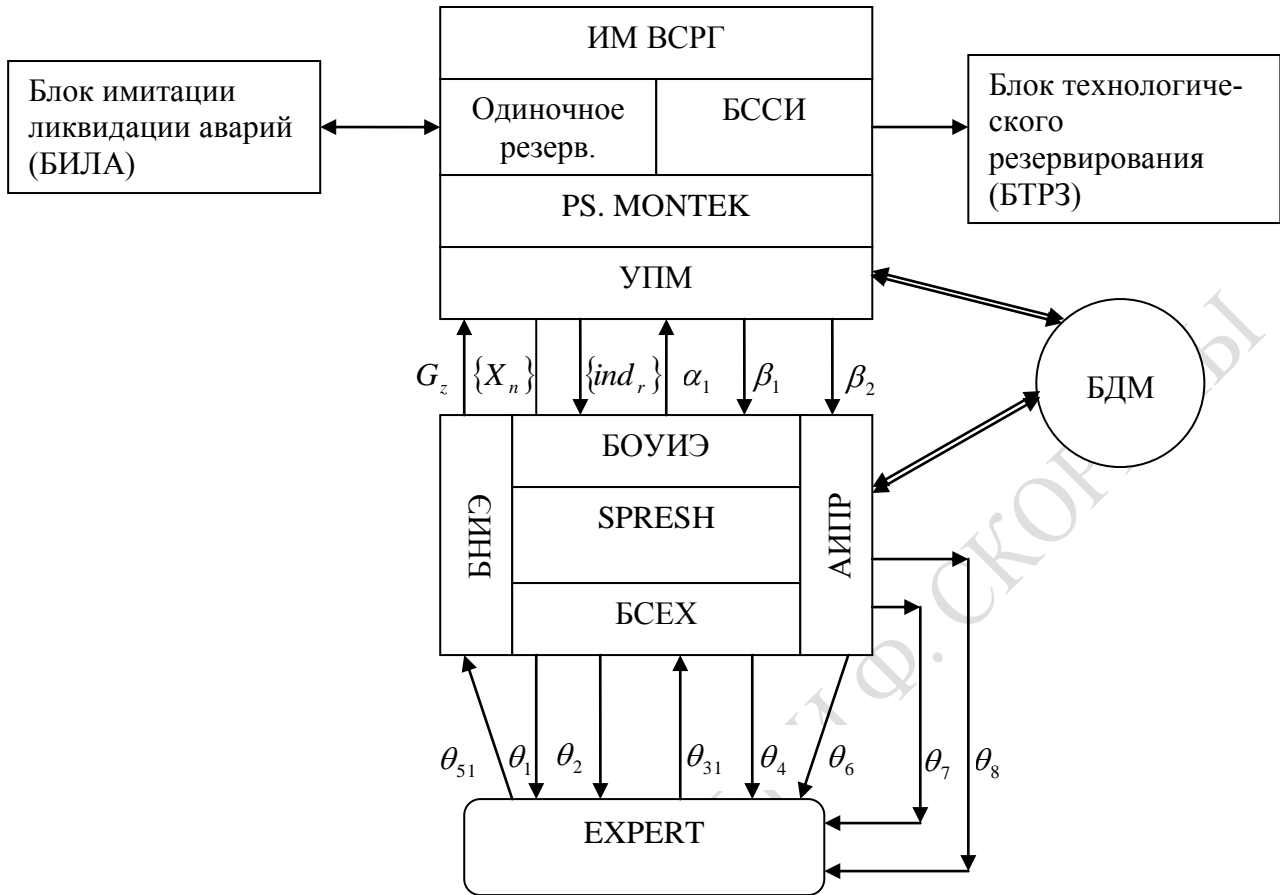


Рисунок 1 – Состав и структура системы оперативного управления ИМ ТПОП

ния (v_{kpr}). В этот момент происходит покомпонентное сравнение векторов $\{ind_r\}$ и $\{v_{kpr}\}$ и подсчитывается число выполнений неравенства ($ind_r \geq v_{kpr}$) с помощью ($СЧ_{kp}$). Далее в зависимости от этого значения $СЧ_{kp}$, наличного состава резервных устройств оборудования и возможности останова имитации ТПОП применяется одно из возможных управляющих воздействий со стороны *SPRESH* на ИМ ВСРГ: переход на групповое резервирование индивидуального оборудования ($\alpha_1 = 1$); групповое резервирование оборудования общего пользования ($\alpha_2 = 1$); общая профилактика ($\alpha_3 = 1$), когда резервирование неэффективно или же невозможно; продолжение имитации из-за невозможности ее останова ($\alpha_4 = 1$).

Технология имитации процесса ликвидации аварий при выполнении $АТОР_{ij}$ из-за появления опасного отказа у $r-zo$ номера устройства оборудования, реализуемая последовательностью агрегатов $\{APROC_k\}$, и организация технологического резервирования ТПОП при возникновении аварий оборудования подробно изложены в работе [1], поэтому данные технологические аспекты оперативного управления в настоящей работе не рассматриваются.

5 Принятие решений при проектном моделировании и эксплуатации ИМ ТПОП

Важной информацией для *EXPERTa* при управлении ходом ИЭ на ИМ ТПОП являются следующие воздействия *SPRESH*: отображение состояния индикаторов оборудования ТПОП (θ_1); информация об управляющих воздействиях *SPRESH* на ИМ ВСРГ (θ_2); графики использования ресурсов и диаграммы использования оборудования и исполнителей (θ_4), поступающие для анализа *EXPERTy* в каждой реализации ИМ ВСРГ; интегральные графики и

диаграммы, усредненные по N реализациям ВСГР (θ_6). В состав воздействия θ_6 входят таблицы интегральных откликов ИМ $\{\bar{Y}_n\}$ и усредненные по всем реализациям ВСГР статистики имитации $\{ST_k\}$. После серий N реализаций *EXPERT* выдается матрица решений (θ_7), элементами которой являются обобщенные показатели качества вариантов ИМ ($\|W_{hz}\|$), где h - номера вариантов, а z - номера состояний внешней среды (G_z). При анализе этой матрицы технолог определяет ту комбинацию параметров ИМ (h_0), которая обеспечивает экстремум W_{hz} согласно одному из классических критериев принятия решений. Управляющими воздействиями *EXPERTa* на ИМ ТПОП (через *SPRESH*) являются воздействия: немедленный останов технологом имитации l -ой реализации ВСГР (θ_{31}), по команде эксперта немедленный переход на профилактику индивидуального и общего оборудования (θ_{32} и θ_{33}), включение группового резервирования индивидуального или общего оборудования (θ_{34} и θ_{35}). В начале каждой реализации изменение состава векторов параметров (X_{0h}) и характеристик внешней среды (G_z) технолог может проводить с помощью (θ_{51} и θ_{52}).

Из рис.1 видно, что ИМ ВСГР, *SPRESH* и *EXPERT* непрерывно взаимодействуют друг с другом. Технология контроля с помощью ИМ ТПОП позволяет с упреждением равным $\tau_{3АП}$ моделировать будущее развитие ТПОП и, в случае необходимости, оперативно воздействовать на сам процесс с целью предупреждения конфликтных ситуаций по ресурсам предприятия или появления аварийных ситуаций при опасных отказах оборудования. При этом технолог может включить дополнительное оборудование на наиболее опасных участках ТПОП или же досрочно перевести имеющееся оборудование на профилактику.

6 Заключение

Рассмотренная СОУ ТПОП позволяет исследовать на ИМ варианты реализации ТПОП и при этом решать типовые задачи проектного моделирования и эксплуатации ТПОП: определение пропускной способности вариантов ТПОП, поиск узких мест в ТПОП, выделение опасных вариантов реализации ТПОП; оценка вероятности появления аварий в ТПОП; выбор рационального варианта ТПОП.

Включение в цикл контроля реализаций ТПОП самого технолога позволяет использовать его интеллект и опыт специалиста для повышения качества оперативного управления функционирующим ТПОП или же существенно облегчить поиск рациональных вариантов его организации. Это обстоятельство, а также высокий уровень автоматизации ИЭ с помощью САИМ [2] определяют высокую практическую ценность системы и перспективу её использования.

Abstract. The paper considers the use of network planning apparatus for controlling technological processes of dangerous production. It also presents the composition and the structure of of the system of the control over technological processes of dangerous production and the decision-making technology in project-oriented modelling and running a simulation model of dangerous production.

Литература

1. И. В. Максимей, В. С. Смородин, Е. И. Сукач, Способ моделирования агрегатами технологических процессов опасного производства, Электронное моделирование, **27**, № 6 (2005), 101–109.
2. И. В. Максимей, В. С. Смородин, Е. И. Сукач, Система автоматизации экспериментов, реализующая агрегатный способ имитации технологических процессов, Информатика, № 1 (2005), 25–31.
3. С. П. Жогаль, И. В. Максимей, Задачи и модели исследования операций, Ч. 1. Аналитические модели исследования операций, Уч. пособие, Гомель, БелГУТ, 1999.
4. И. В. Максимей, В. С. Серегина, Задачи и модели исследования операций, Ч. 2. Ме-

тоды нелинейного и стохастического программирования, Уч. пособие, Гомель, БелГУТ, 1999.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ