

## АГРЕГАТНО-ПРОЦЕССНЫЙ СТЕНД ИМИТАЦИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РЕАЛИЗАЦИЙ ТЕХНОЛОГИИ ОПАСНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сообщается о расширении возможностей системы автоматизации имитационного моделирования (САИМ) технологических процессов опасного производства (ТПОП). Предлагаются технология формализации ТПОП на основе использования вероятностных сетевых графиков (ВСГР) и методика автоматизации построения и эксплуатации имитационной модели (ИМ) ТПОП, содержащей в своем составе систему принятия управляющих решений. Расширены возможности планирования и динамического управления резервированием технологических операций и предложена технология использования стенда имитации для контроля за реализацией опасного производства.

### Введение

Стенд имитации для контроля за развитием технологических процессов опасного производства (ТПОП) представляет собой расширение системы автоматизации имитационного моделирования [1] и состоит из следующих компонентов:

- системы автоматизации имитационного моделирования (САИМ);
- библиотеки имитационных моделей ТПОП, позволяющей оперативно компоновать варианты организации опасного производства;
- универсальной системы принятия решений (*SPRESH*);
- информационной базы данных моделирования.

Стенд позволяет включить в цикл имитации эксперта-технолога (*EXPERT*), представляя таким образом человеко-машинную систему имитации, контроля за ходом имитации ТПОП и принятия решений экспертом по результатам имитационного эксперимента. Предметная ориентация стенда контроля имитации ТПОП позволяет специалисту исследуемой предметной области использовать элементы современных информационных технологий.

Основным компонентом исследования с помощью стенда является параметризованная имитационная модель ТПОП, которая получена с помощью стенда имитации, реализующая имитацию ТПОП с помощью вероятностного сетевого графика на основе использования процедуры Монте-Карло. В ИМ ТПОП осуществляются следующие виды внутреннего управления динамикой имитации ТПОП: автоматическое

одиночное резервирование оборудования в тех случаях, когда наработка на сбой текущего устройства оборудования достигнет критической величины; ликвидация последствий аварий при опасных отказах функционирования устройства последовательностью процедур ликвидации аварий  $\{PROC_k\}$ ,  $k = \overline{1, n}$ ; технологическое резервирование, означающее изменение состава микро-технологических операций  $\{MTXO_{ij}\}$ , (где  $i, j = \overline{1, M}$ ) после возникновения аварии, которое заранее предусмотрено экспертом-технологом на случай возникновения аварийной обстановки в ТПОП. В алгоритмы ИМ ТПОП заложена система реагирования на множество воздействий системы принятия решений: переключение на групповое резервирование устройств; переход на режим профилактики всего оборудования; изменение шага наблюдения за статистикой имитации; формирование графиков расхода ресурсов во времени и выдача диаграмм использования устройств, ресурсов и исполнителей; досрочная остановка имитации в текущей реализации исследуемого варианта ТПОП. Остальные компоненты стенда имеют универсальный характер из-за предметной направленности исследований.

### 1. Основа формализации технологических процессов опасного производства

В основе формализации ТПОП заложено использование аппарата описания опасного производства с помощью вероятностных сетевых графиков (ВСГР). Сочета-

ние процедуры Монте-Карло, агрегатного способа имитации [1] и аппарата описания посредством ВСГР дают возможность представить текущую реализацию ИМ ТПОП в виде детерминированного сетевого графика ( $SGR_l$ ). Каждый  $SGR_l$  состоит из множества микротехнологических операций ( $MTXO_{ij}$ ), имитируемых соответствующими агрегатами-имитаторами технологических операций ( $ATOP_{ij}$ ), 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 имитационной модели для каждого компонента ВСГР имеет свой набор переменных моделирования и статистик имитации, соответствующий номеру этого компонента [1]. Агрегат  $ATOP_{ij}$  представляет собой четырехполюсник, имитирующий выполнение  $MTXO_{ij}$  в ВСГР, и имеет два типа входов и выходов. Первый тип входов и выходов  $ATOP_{ij}$  используется в режиме прямой имитации  $SGR_l$ , а второй тип – в режиме инверсной.

В режиме прямой имитации агрегат  $ATOP_{ij}$  по соответствующим функциям распределения формирует фактические значения параметров модели: времени выполнения, стоимости операций, объема используемых общих ресурсов, материалов и комплектующих. Кроме того, с помощью соответствующих списков определяются следующие запросы: на индивидуальные ресурсы; оборудование индивидуального и общего использования; исполнителей; бригад исполнителей. Эти ресурсы предприятия выделяются  $ATOP_{ij}$  на время имитации выполнения  $MTXO_{ij}$ . Если при выполнении  $ATOP_{ij}$  на агрегатах-оборудовании возникают опасные отказы, то время его выполнения увеличивается. Оно также увеличивается в тех случаях, когда ресурсов ТПОП нет и  $ATOP_{ij}$  вынужден ждать их освобождения другими агрегатами-имитаторами технологических операций. При возникновении опасных отказов на оборудова-

нии по вероятности  $P_{авр}$  разыгрывается жребий «Произошла авария». При простой аварии (когда не требуется изменения технологического цикла) время выполнения  $ATOP_{ij}$  увеличивается на величину  $\tau_{ABr}$ , требующуюся для устранения этой аварии. В других случаях для ликвидации аварии требуется «штатная» последовательность процедур ликвидации аварии, которая имитируется последовательностью выполняемых друг за другом агрегатов  $\{APROC_k\}$ . Каждый из этих агрегатов обладает своим оборудованием, составом исполнителей и действует по утвержденному алгоритму ликвидации аварии в ТПОП. Общая длительность выполнения  $ATOP_{ij}$  также увеличивается на сумму времен выполнения  $APROC_k$ , которые также являются случайными величинами и разыгрываются по соответствующим функциям распределения. По окончании этой последовательности выполнение операций на отказавшем оборудовании продолжается с прерванного места. При этом формируется признак «была авария» ( $\pi_{ав} = 1$ ), который передается вначале агрегату-имитатору оборудования  $AOBIN_r$ , затем возвращается к агрегату  $ATOP_{ij}$ . По завершении имитации выполнения всех агрегатов оборудования, выделенных  $ATOP_{ij}$  на время выполнения  $MTXO_{ij}$ , считается, что  $ATOP_{ij}$  в режиме прямой имитации завершает свою работу. При этом  $ATOP_{ij}$  переходит в режим ожидания инверсного сигнала от  $ASOB_j$ . По окончании инверсной имитации на выходе  $ATOP_{ij}$  появляется инверсный выходной сигнал, поступающий на выход  $ASOB_i$ . Далее  $ATOP_{ij}$  ожидает прихода сигнала в режиме прямой имитации, но уже в следующей реализации ВСГР.

Агрегат  $ASOB_i$  – многополюсник с различным числом входов и выходов. Он же может иметь выходы трех типов: 1 – формирующие только действительные сигналы; 2 – кустовые вероятностные (один будет действительный сигнал, разыгрываемый по вектору вероятностей выбора траектории, а

остальные – фиктивные сигналы); 3 – кустовые резервные сигналы (любая комбинация действительных и фиктивных сигналов на разветвлениях кустового выхода). Резервные выходы позволяют технологу предусмотреть в ТПОП несколько «запасных»  $ATOP_{ij}$ , которые активизируются только при появлении аварий во время имитации выполнения  $MTXO_{ij}$  на агрегатах  $AOBIN_r$  для обеспечения надежности функционирования производственной системы. Если аварии перед входом  $ASOB_i$  не происходит, то на его выходах активизируются только выходные сигналы типов 1 и 2. Если же на входы  $ASOB_j$  приходят сигналы от  $ATOP_{ij}$ , при выполнении которых имела место авария, то сигнал содержит признак аварии  $\pi_{ав} = 1$ . В этом случае у  $ASOB_j$  активизируется выход третьего типа, который формирует на разветвлениях агрегата-события соответствующую комбинацию действительных и фиктивных сигналов. Механизм формирования таких сигналов у выходов третьего типа основан на использовании специальной булевой матрицы  $\|\gamma_m\|$ . С помощью этого механизма кустовые выходы третьего типа становятся динамическими регуляторами подключения резервных  $ATOP_{js}$ , если на входы  $ASOB_j$  поступают действительные сигналы от  $ATOP_{nj}$ , при выполнении которых происходили аварии.

Имитация функций оборудования осуществляется тремя типами агрегатов-имитаторов: индивидуального пользования ( $AOBIN_r$ ); общего пользования ( $AOBOP_r$ ), на котором  $MTXO_{ij}$  использует некоторый объем ресурса, возвращаемый агрегату после выполнения  $ATOP_{ij}$ . Агрегат  $AOBIN_r$  функционирует в старт-стопном режиме согласно следующему алгоритму. В момент запуска агрегата на выполнение по функции распределения  $\Phi_{3n}(\tau_{BO})$  определяется длительность интервала безотказной работы оборудования и проверяется истинность условия отсутствия опасного отказа оборудования. Если это условие не выполняется, проверяются последствия произошедшего отказа: простой отказ, возникновение про-

стой аварии или возникновение сложной аварии. По соответствующим функциям распределения определяется длительность нахождения агрегата в этих состояниях: время восстановления работоспособности  $\tau_{BOR}$ , время ликвидации аварии  $\tau_{ABr}$ . Для ликвидации сложной аварии  $AOBIN_r$  инициирует выполнение последовательности  $\{APROC_k\}$  процедур ликвидации аварии. В этом случае общее время выполнения  $ATOP_{ij}$  на  $AOBIN_r$  равно суммарному времени выполнения  $\{APROC_k\}$  и двойному интервалу выполнения  $AOBIN_r$ . Кроме технологического резервирования предусматривается автоматический переход на индивидуальное резервирование оборудования. В основе этого перехода лежит оценка близости фактической наработки  $Q_{fr}$  оборудования номера  $r$  к его критическому значению  $Q_{or}$ . В индикаторах  $\{Ind_r\}$  содержится значение  $Q_{fr}$ , которое формируется путем добавления к нему квоты наработки  $\Delta Q_r$  при каждом использовании  $AOBIN_r$ . Отметим, что значения порогов наработки  $\{Q_{or}\}$  и самих приращений  $\{\Delta Q_r\}$  задаются технологом до начала имитации. Как только выполняется неравенство  $Q_{fr} \geq Q_{or}$ , срабатывает переход  $r$ -го устройства на индивидуальный резерв. В этом случае  $Q_{fr}$  становится равным нулю, и отмечается факт перехода  $r$ -го устройства из резерва в рабочее состояние. В ходе имитации ТПОП с постоянным шагом  $\Delta\tau_{iz}$  фиксируются текущие значения множества индикаторов наработки  $\{Ind_r\}$ , передающиеся из ИМ ТПОП в  $SPRESH$ , которые затем в виде графиков наработки устройств доставляются эксперту в составе взаимодействия  $\theta_4$ .

По окончании имитации фиксируется статистика выполнения  $\{ATOP_{ij}\}$ ,  $\{ASOB_i\}$ ,  $\{AOBIN_r\}$ ,  $\{APROC_k\}$  и определяется по известным методикам критический путь реализации ВСГР ( $\{KRP_{lh}\}$ ). Используя исходную структуру ВСГР, последовательности  $KRP_{lh}$  накладываются друг на друга, что позволяет сформировать вероятностный

граф критических путей  $GRKRP_h$ . Статистиками выполнения  $ATOP_{ij}$ ,  $AOBIN_r$  и  $APROC_k$  являются суммарные времена использования соответственно  $AOBIN_r$  и  $APROC_k$ . Другой группой статистик  $\{ST_{nl}\}$  являются графики расхода в модельном времени  $t_0$  при  $l$ -й реализации ВСГР ресурсов номера  $r$  ( $GR_{1rl}$ ), материалов и комплектующих изделий ( $GR_{2rl}$ ), суммарного расхода финансовых средств ( $GR_{3l}$ ). Фиксируются также в модельном времени  $t_0$  временные диаграммы загрузки оборудования номера  $r$  ( $DIAG_{1rl}$ ), исполнителей ( $DIAG_{2l}$ ), бригад исполнителей ( $DIAG_{3l}$ ). Все эти диаграммы в конце каждой  $l$ -й реализации ИМ ВСГР посылаются в  $SPRESH$ , запоминаются в БДМ и по желанию эксперта-технолога могут выдаваться в виде воздействия  $\theta_4$  для анализа и принятия решения в цикле каждой реализации ИМ ТПОП.

## 2. Универсальная система принятия решений

Система принятия решений состоит из трех основных модулей: планового управления имитационным экспериментом (ПУИЭ); оперативного управления имитацией (ОУИ); анализа информации и принятия решений (АИПР). Универсальный характер представления ТПОП с помощью ИМ ВСГР, ограниченный набор агрегатов, из которых состоит ИМ ВСГР, фиксированная структура составляющих ИМ ТПОП параметров и статистик агрегатов позволили создать универсальную систему принятия решений ( $SPRESH$ ). Технология управления ходом имитации ТПОП предусматривает следующие виды взаимодействия  $SPRESH$  с ИМ ТПОП и экспертом-технологом ( $EXPERT$ ):

- одиночное резервирование оборудования ТПОП при приближении их наработки к критическому значению;
- ликвидация аварий с помощью последовательности процедур  $APROC_k$ ;
- технологическое резервирование

ТПОП в тех случаях, когда имела место авария при выполнении  $AOBIN_r$ ;

- взаимодействие блока ОУИ  $SPRESH$  с ИМ ВСГР, обеспечивающее оперативное управление ходом ИЭ в тех случаях, когда внутреннее управление ходом имитации неэффективно;

- взаимодействие  $SPRESH$  с экспертом-технологом с помощью системы взаимодействий  $\{\theta_s\}$ , позволяющее подключить к процессу контроля и управления ИМ ТПОП специалиста-технолога, превращая ИМ в человеко-машинную систему контроля за опасным производством;

- воздействие модуля ПУИЭ на ИМ ВСГР в начале каждой реализации или при модификации вариантов исходной информации для моделирования ИМ ТПОП.

Связь между ИМ ТПОП и  $SPRESH$  осуществляется через базу данных модели (БДМ). Наличие  $SPRESH$  и БДМ выравнивает скорости протекания процессов имитации в модели со скоростью реакции эксперта. Рассмотрим подробнее динамику взаимодействия трех основных компонентов системы оперативного управления ТПОП и принятия решений по результатам имитационного эксперимента (ИЭ).

От ИМ ВСГР через равные интервалы  $\Delta\tau_{ic}$  модельного времени  $t_0$  в  $SPRESH$  поступает множество значений  $\{Ind_r\}$ , в котором хранятся фактические значения ( $Q_{fr}$ ) наработки агрегатов  $AOBIN_r$ . Блок ОУИ распознает наличие критической ситуации с оборудованием следующим образом. Понижается уровень доверия до  $\beta = 0,8$ , при котором уменьшается пороговое значение доверительных интервалов ( $Q_{er} < Q_{or}$ ). Для всех номеров  $r$  агрегатов оборудования вычисляются  $t$ -статистики. В итоге для всех  $AOBIN_r$  проверяется близость  $Q_{fr}$  к более низкому порогу. Как только число  $AOBIN_r$ , у которых наработка  $Q_{er}$  близка к пороговому значению, превышает 50 % от общего числа устройств принимается решение о переходе на групповое резервирование. В ИМ ВСГР поступают команды резервирования ( $(\alpha_1 = 1) \& (\alpha_2 = 1)$ ), означающие группо-

вое резервирование оборудования соответственно индивидуального и общего пользования. При этом резервируются только те устройства, у которых  $Q_{jr} \geq Q_{er}$ . Одновременно с этим эксперту *SPRESH* отображает информацию о состоянии индикаторов  $\theta_1$  и  $\theta_2$  и о командах перехода на резервирование ( $(\theta_{34} = 1) \& (\theta_{35} = 1)$ ). В тех случаях, когда резервных устройств нет или более 50 % оборудования требует резервирования, *SPRESH* принимает решение о неэффективности резервирования и сообщает ИМ о необходимости перехода на профилактику (в ИМ ВСГР посылается указатель  $\alpha_3 = 1$ ) или немедленного прекращения имитации (предаварийная остановка производства)  $l$ -й реализации ВСГР (в ИМ ВСГР посылается указатель  $\alpha_4 = 1$ ). Одновременно с этим *SPRESH* формирует для эксперта следующие указатели:  $\theta_{31}$  (немедленный останов имитации),  $\theta_{41}$  и  $\theta_{51}$  (переход на профилактику).

Модуль анализа информации и принятия решений (АИПР) из БДМ выбирает графики ( $GR_{1rl}, GR_{2rl}, GR_{3rl}$ ) использования ресурсов ТПОП и временные диаграммы загрузки оборудования, исполнителей и бригад исполнителей ( $DIAG_{1l}, DIAG_{2l}, DIAG_{3l}$ ). Эти графики и диаграммы в конце  $l$ -й реализации ВСГР блок АИПР объединяет в виде воздействия  $\theta_4$  выдает эксперту информацию для анализа и принятия решения. По окончании  $N$  реализаций все графики и диаграммы в модельном времени  $t_0$  накладываются друг на друга и сообщаются эксперту в виде воздействия  $\theta_6$ , представляющего собой усредненные графики и диаграммы расхода ресурсов ТПОП. Следующим действием АИПР является обработка статистики и откликов имитации, накопленных в БДМ. По желанию эксперта выдаются значения откликов  $\{Y_{il}\}$  и статистик  $\{ST_{kl}\}$  имитации в виде воздействия  $\theta_5$ . Следует отметить, после  $N$  реализаций ВСГР, эксперту-технологу выдается информация  $\theta_7$ , которая включает в себя средние значения, дисперсии и коэффици-

енты точности тех откликов и статистик имитации, которые усреднены согласно процедуре Монте-Карло по всем реализациям ВСГР. Кроме того, эксперту-технологу в виде воздействия  $\theta_8$  предоставляется матрица решений  $\|W_{hz}\|$ , в которой каждый элемент  $w_{hz}$ , находящийся на пересечении  $h$ -й строки и  $z$ -го столбца, представляет собой значение обобщенного показателя качества ТПОП, вычисленного для  $h$ -го варианта параметров ИМ и  $z$ -го состояния  $G_z$  внешней среды ТПОП.

Следующая функция *SPRESH* – изменение значений переменных внешней среды и вектора параметров  $\{X_{hs}\}$ , которые поступают для эксперта от модуля ПУИЭ в блок задания начальной информации. Данное изменение исходной информации ИМ осуществляется через модуль ПУИЭ с помощью воздействий, поступающих от эксперта. На рис. 1 показана структура человеко-машинной системы оперативного управления ИМ ТПОП.

### **3. Автоматизация построения, испытания и эксплуатации ИМ ТПОП**

Для постановки серий ИЭ по контролю за ходом ТПОП объединяются в единое целое три составляющие (ИМ ТПОП, *SPRESH* и *EXPERT*) с помощью расширенной системы имитационного моделирования (САИМ) агрегатного типа [2]. Расширение проводилось путем добавления новых компонентов в библиотеки и подсистемы САИМ. Библиотека типовых агрегатов *LIB.AGREG* осталась в прежнем составе (хотя алгоритмы агрегатов-имитаторов оборудования и *ASOB<sub>j</sub>* усложнились) и содержит в себе следующие агрегаты: *ATOP<sub>ij</sub>*, *ASOB<sub>j</sub>*, *AOBIN<sub>r</sub>*, *AOBOP<sub>r</sub>*, *APROC<sub>k</sub>*. Каждый из этих агрегатов представляет собой реентерабельную программу, которая в БДМ имеет свой набор переменных и статистик моделирования соответственно номеров версий этих агрегатов. Количество версий реентерабельных программ равно числу агрегатов каждого типа в ВСГР. Динамика реализации алгоритмов агрегатов одинакова

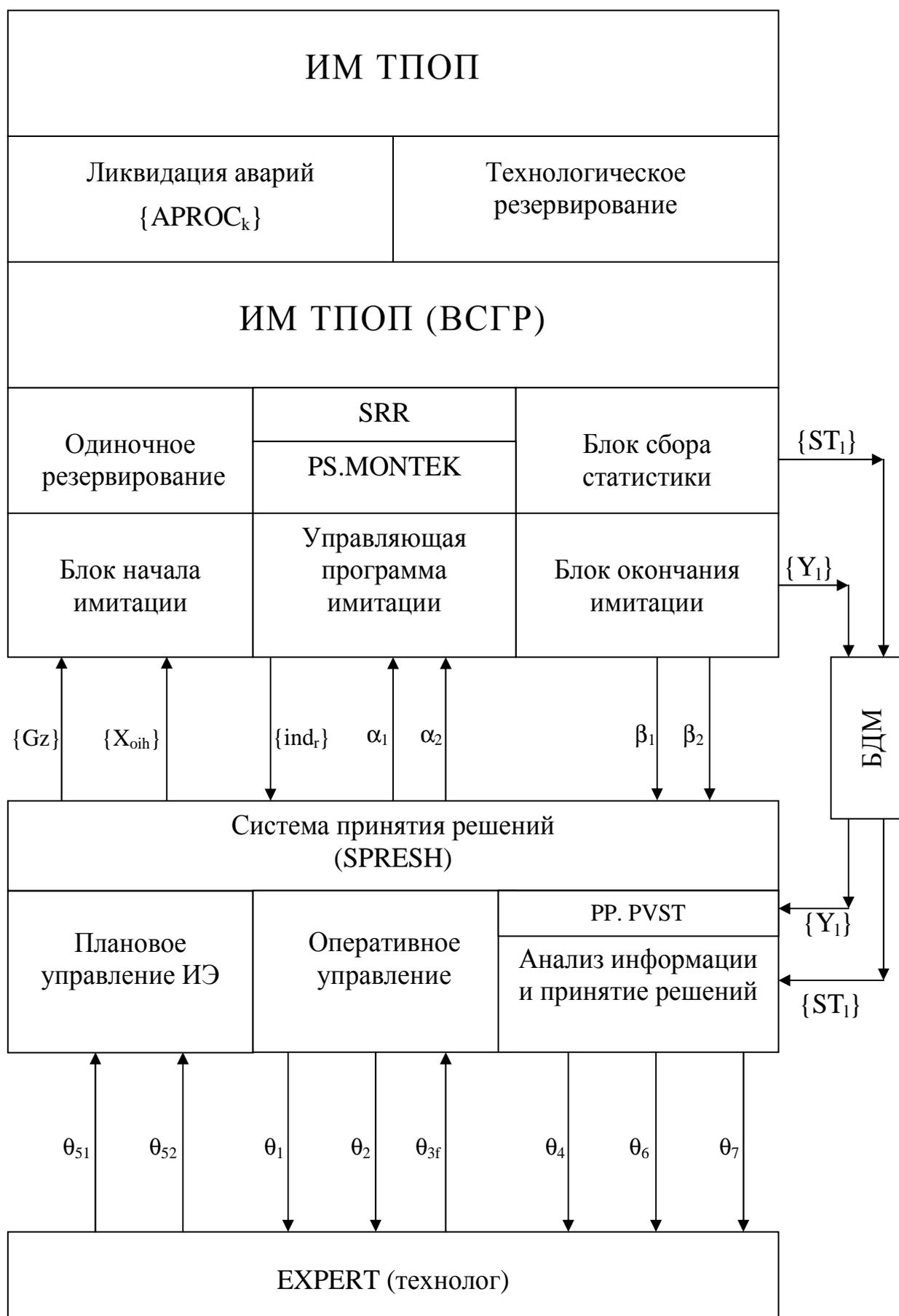


Рис. 1. Состав и структура человеко-машинной системы оперативного управления ТПОП

для каждого типа агрегатов. При этом каждая из версий может находиться в различных состояниях согласно временной диаграмме реализации агрегатов в модельном времени  $t_0$ .

Новым компонентом САИМ стала система принятия решений *SPRESH*, состоящая из модулей организации управления, анализа и принятия решений: планового управления ИЭ (ПУИЭ), оперативного управления (ОУПР), анализа информации и принятия решений (АИПР). Алгоритмы выполнения этих модулей были рассмотрены ранее. Расширены также возможности подсистемы формирования ИМ ВСГР (*PS.FORMSG*) из множества агрегатов библиотеки *LIB.AGREG*. Добавлен новый состав программ, входящих в системы обработки статистики имитации ВСГР (*PS.OBRAB*), визуализации результатов ИЭ (*PS.VIZUAL*), первичного анализа результатов эксперимента (*PS.ANALIZ*). Основные дополнения касались обеспечения взаимодействия ИМ ВСГР с *SPRESH* и *SPRESH* с *EXPERT*. Все эти взаимодействия используют БДМ в качестве средства синхронизации их параллельного функционирования и буфера для хранения промежуточной информации. Подсистемы распределения ресурсов (*PSRR*) и реализации процедуры Монте-Карло (*PS.MONTEK*) остались без изменений, поскольку структура и динамика имитации ВСГР практически не изменились. Управляющая программа моделирования (*UPMA*) существенно изменилась из-за необходимости обеспечения синхронизации взаимодействия ИМ ВСГР, *SPRESH* и *EXPERT*. Кроме того, появились режимы досрочного окончания имитации  $l$ -й реализации ИМ ВСГР по командам эксперта или воздействиям системы *SPRESH*. Добавились также алгоритмы, реализующие групповые ожидания агрегатов на время имитации режима профилактики агрегатами-имитаторами оборудования.

Совместимость данных предыдущей версии БДМ обеспечивается высоким уровнем формализации программ агрегатов из библиотеки *LIB.AGREG*: достаточно изменить исходную информацию в таблицах и справочниках агрегатов, указать их число в ВСГР и составить таблицы коммутации

сигналов агрегатов  $ASOB_i$  с агрегатами  $ATOP_{ij}$ . Для проверки правильности коммутации сигналов на входах и выходах агрегатов имеется специальная подсистема верификации агрегатной модели (*PS.VERIFG*). Собственно ввод исходной информации обеспечивают подсистемы *PS.FORMSG* и *PS.PLANEX*, которые проверяют правильность записи в БДМ состава и структуры версий агрегатов и через *SPRESH* сообщают эксперту о наличии ошибок коммутации в ИМ ТПОП.

Подсистема *PS.MONTEK* содержит библиотеку процедур формирования случайных величин, программу реализации статистических испытаний и вычисления оценок математических ожиданий, выборочных дисперсий откликов и статистик ИЭ. *PS.OBRAB* автоматизирует все операции обработки статистики моделирования ТПОП, являясь при этом адаптацией известного пакета *STATISTIKA* [3]. *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. Таким образом, структура ИМ ВСГР формируется экспертом с помощью рассмотренного стенда имитации и контроля реализаций ТПОП путем формирования таблиц агрегатов подсистемой *PS.PLANEX*. На рис. 2 приведена блок-схема связи компонентов стенда имитации и контроля ТПОП. Как видно из рис. 2, стенд представляет собой специализированную имитационную модель, которая может реконфигурироваться под любую структуру ТПОП. Если же проектируется новая структура ТПОП, то используются параметризованные программы агрегатов, и в качестве исходной информации используются экспертные данные о параметрах агрегатов  $ATOP_{ij}$  и надежности функционирования  $AOBIN_r$ .

#### **4. Технология использования стенда имитации ТПОП**

В общем случае исследователь с помощью стенда имитации может использовать следующие стратегии: задание на-

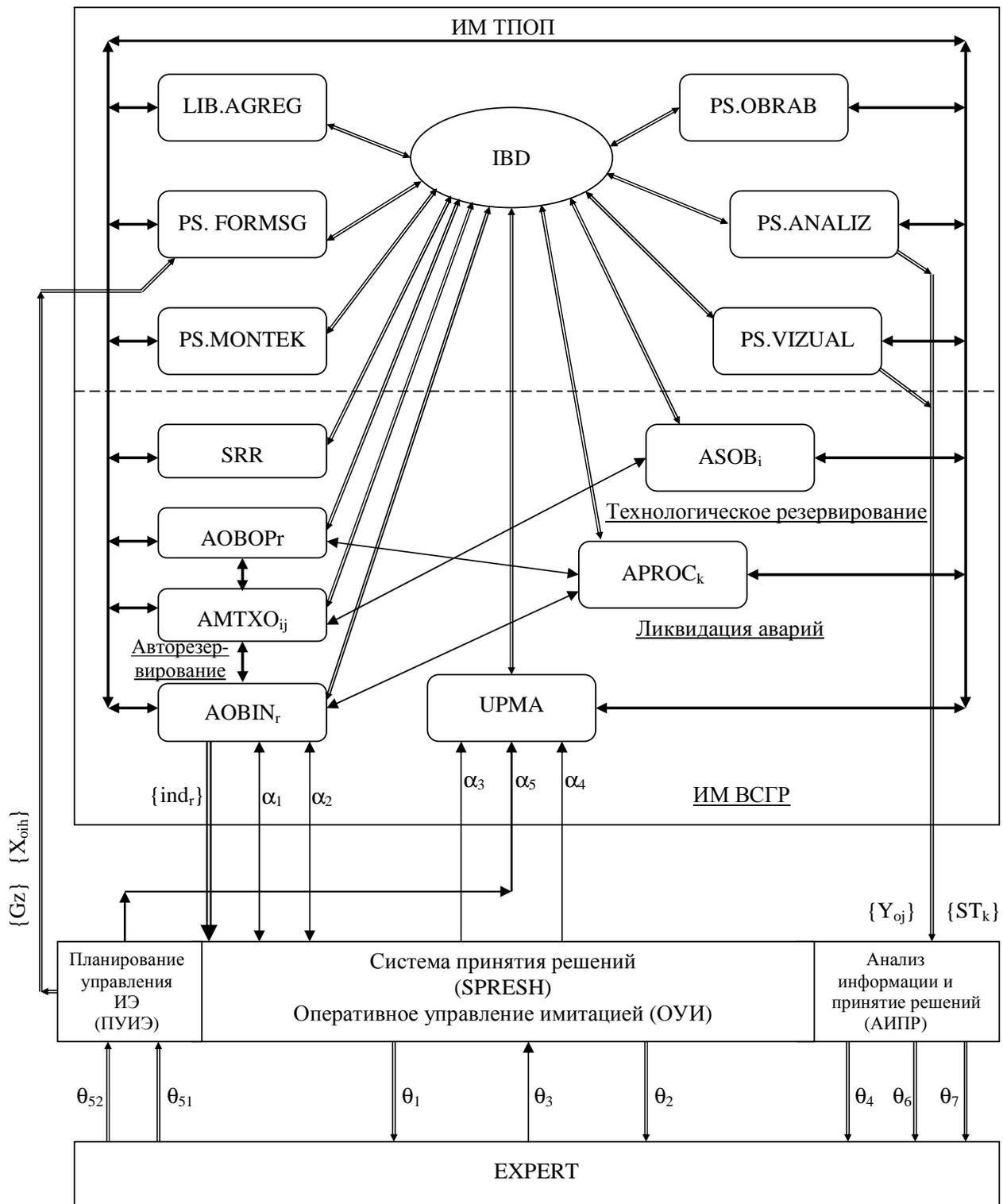


Рис. 2. Блок-схема связи компонентов стенда имитации и контроля ТПОП

первых значений множества констант-характеристик процесса  $\{G_z\}$ , определяющих состав ресурсов у предприятия; выбор алгоритмов модификации ТПОП при возникновении аварий в ходе реализации резервных  $ATOP_{ij}$ ; выбор оборудования, обладающего необходимой надежностью его функционирования и удовлетворительными

временами восстановления его работоспособности; изменение ценовой политики, определяющей стоимостные показатели реализации всех  $ATOP_{ij}$ . Варианты могут отличаться друг от друга составом параметров  $\{X_{hs}\}$ . Технология выбора управляющего воздействия при возникновении отказов и аварий предполагает либо предварительную

их имитацию, либо параллельный контроль наступления подобной ситуации и недопущение опасных отказов оборудования за счет профилактики оборудования.

Для принятия обоснованного решения с помощью ИМ, реализованной в среде системы моделирования стенда имитации и контроля, исследователи должны выполнить следующие этапы последовательности действий: 1 - ввод в базу данных ИМ ТПОП исходной информации о структуре ТПОП с корректировкой возникающих ошибок описания  $ATOP_{ij}$  и  $ASOB_j$ ; 2 - задание начальных значений ресурсов ТПОП согласно плану ИЭ; 3 - составление матрицы переключения резервных  $ATOP_{ij}$  для кустовых выходов третьего типа у  $ASOB_j$ ; 4 - выбор весовых коэффициентов важностей откликов моделирования  $\delta_j$  на основе априорной информации о стратегиях управления ТПОП; 5 - составление плана ИЭ согласно известным методикам последовательного эксперимента на основе использования процедуры Монте-Карло, обеспечивающего получение статистики имитации с заданным уровнем доверия  $\beta$ ; 6 - проведение серий ИЭ на ИМ ТПОП, в ходе которых определяется статистика и вычисляются значения откликов моделирования; 7 - приведение откликов к одному масштабу и типу с последующим вычислением интегрального показателя  $W_{hz}$  и формирование матрицы решений; 8 - использование одного из классических критериев принятия решений для выбора рационального состава ресурсов ТПОП.

Как видно из рис. 2, универсальную часть стенда имитации и контроля составляют: база данных модели, система распределения ресурсов ( $SRR$ ) предприятия и управляющая программа имитации агрегатов ( $UPMA$ ). Проблемно-ориентированной частью стенда является библиотека  $LIV.AGREG$ , из которой вызываются агрегаты, составляющие в совокупности ИМ ВСГР:  $ATOP_{ij}$ ,  $ASOB_i$ ,  $AOBIN_r$ ,  $AOBOP_r$ ,  $APROC_k$  и агрегат-имитатор использования канала общего оборудования  $AKAN_r$ . Все эти агрегаты являются реентерабельными

программами и в совокупности образуют ИМ ВСГР. По окончании имитации  $N$  реализаций ИМ ВСГР осуществляется обработка статистики, хранящейся в БДМ, последовательностью функциональных подсистем  $PS.OBRAB$ ,  $PS.VIZUAL$  и  $PS.ANALIZ$ . Результаты этой обработки снова записываются в БДМ для повторного анализа  $SPRESH$  и последующей выдачи данных эксперту в виде соответствующих информационных блоков (воздействий) системы принятия решений.

**Заключение.** С помощью данного стенда имитации и контроля эксперт-технолог может исследовать объект моделирования и обосновать стратегию выбора рационального состава ресурсов производственной системы с точки зрения безопасности ее функционирования. При этом он имеет возможность досрочно остановить любую реализацию имитационной модели (останов производства), включить в работу резервное оборудование или перевести его на общую профилактику, а также модифицировать характеристики надежности функционирования ТПОП, что часто не представляется возможным (или небезопасно) при исследовании поведения объекта имитации в экстремальных режимах эксплуатации оборудования. У него также появляется возможность проектного моделирования актуальных ситуаций, часто встречающихся в реальных ТПОП. Типовыми задачами в этом случае могут быть следующие: определение пропускной способности вариантов ТПОП и оценка суммарной стоимости вариантов при имеющемся составе ресурсов, оборудования и исполнителей (задача 1); поиск узких мест в ТПОП и выделение опасных траекторий его реализаций (задача 2); определение вероятностей возникновения аварийных ситуаций в ТПОП (задача 3); выбор рационального варианта ТПОП с точки зрения выбранного критерия (задача 4).

Высокий уровень автоматизации исследований ТПОП в технологической среде стенда имитации и контроля, а также включение профессиональных знаний технолога для поиска взвешенных решений при контроле реализации ТПОП и анализе ВСГР,

обеспечивают стенду имитации и системе принятия решений перспективу использования ввиду наличия возможности проведения оперативных исследований и их практической значимости.

Получено 17.05.2006

1. *Максимей И.В., Смородин В.С., Сукач Е.И.* Способ моделирования агрегатами технологических процессов опасного производства // Электронное моделирование. - 2005. - Т. 27. - № 6. - С. 101 – 109.
2. *Максимей И.В., Смородин В.С., Сукач Е.И.* Система автоматизации экспериментов, реализующая агрегатный способ имитации технологических процессов // Информатика. - 2005. - № 1. - С. 25 - 31.
3. *Боровиков В.П.* СТАТИСТИКА. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. 2-е изд. - СПб.: Питер, 2003. - 688 с.

**Об авторе:**

*Смородин Виктор Сергеевич,*  
канд. физ.-мат. наук,  
доцент кафедры математических проблем  
управления.

**Место работы автора:**

Гомельский государственный университет  
им. Ф.Скорины,  
246019 Гомель, Беларусь, ул. Советская, 104  
тел. 56 4237  
e-mail: smorodin@gsu.unibel.by