

УДК 007; 681.3

Особенности имитационного моделирования управляемых технологических процессов опасного производства

А. Н. ГОНЧАРОВ

Введение

В качестве объекта управления в настоящей работе рассматривается технологический процесс опасного производства (ТПОП), который имеет малую скорость выполнения технологических операций, взаимосвязанных в ходе его реализации, а структура ТПОП определяется с помощью вероятностного сетевого графика (ВСГР) [1]. Малая скорость выполнения технологической операции подразумевает возможность получения результатов ее имитационного моделирования раньше, чем завершится данная операция в реально функционирующем технологическом процессе опасного производства.

Известны аналитические модели технологических процессов производства, представленные в виде сетевых графиков (СГР), которые используются только в тех случаях, когда связи между технологическими операциями и время реализации этих операций можно описать в явном виде [2, 3]. Сетевой график komponуется из двух типов элементов: событий SOB_i и SOB_j , где $i, j = \overline{1, N}$, и технологических операций (TXO_{ij} , $i, j = \overline{1, N}$), связывающих эти события. В некоторых случаях для анализа реализации технологических процессов применяются сети управления, но при этом налагается множество ограничений на их использование. В обоих случаях состав параметров TXO_{ij} ограничивается только запросами на время реализации операций (τ_{ij}), которое является детерминированной величиной и обычно представляет собой среднюю или нормативную характеристику времени их выполнения. Как только состав параметров расширяется, а сами параметры становятся случайными величинами, задаваемыми при помощи соответствующих функций распределения ($F_{ij}(\tau)$), задача анализа динамики реализации ТПОП существенно усложняется. В таких случаях СГР неприменимы как из-за вероятностного характера параллельно-последовательного следования технологических операций TXO_{ij} , так и из-за вероятностных значений запросов ресурсов времени и стоимости выполнения технологических операций в составе ТПОП. В работе [4] для исследования динамики развития технологического процесса опасного производства использовалась имитационная модель (ИМ) ВСГР, которая создавалась с помощью системы автоматизации имитационного моделирования, основанной на агрегатном способе имитации [5].

В данной работе рассматриваются некоторые особенности имитационного моделирования управляемых производственных систем для объектов, являющихся потенциально техногенно опасными, функционирование которых может привести к возникновению аварии. Подобные аварии техногенного характера возникают в силу известного ряда причин: из-за несовершенства элементной базы ТПОП; ненадежности оборудования, обеспечивающего реализацию замкнутого цикла производства; при нарушении нормативов обеспечения надежности и безопасности в процессе выполнения конструкторских разработок оснастки производства; при ошибках в расчетах конструктивных особенностей готовой продукции и ошибках в выборе материалов для ее выпуска; при ошибках обслуживающего персонала в процессе функционирования производства. При этом авария понимается в смысле общепринятой терминологии, применяемой в области промышленной безопасности и указанной в Законе Республики Беларусь «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»: «Авария – раз-

рушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ».

Особенности технологического и функционального управления производством с помощью имитационной модели вероятностного сетевого графика

В работах [6, 7] подробно описан алгоритм функционирования кустовых выходов третьего типа в качестве регуляторов подключения резервных агрегатов технологических операций $ATOP_{js}$, если на входы агрегатов событий $ASOB_j$ поступают сигналы от $ATOP_{ij}$, во время выполнения которых на используемом ими оборудовании происходили аварии. Применяя таким образом механизм формирования действительных сигналов с выходов поставарийных агрегатов событий с помощью булевой матрицы $\|\gamma_{rn}\|$, заложенной в систему принятия решений [8, 9], возможно задание управляющих воздействий на систему посредством блока управления $EXPERT$, с помощью которого реализуется регулирование выполнения резервных агрегатов $ATOP_{ij}$, тем самым обеспечивая технологическое управление надёжностью закреплённого оборудования с учетом накопленного практического опыта специалистов в данной области, что гарантирует требуемый уровень безопасности функционирования моделируемого технологического процесса опасного производства.

В имитационной модели ВСГР предусматривается также автоматическое индивидуальное резервирование оборудования, которое включается при достижении фактической наработки имитатора оборудования критического значения наработки на отказ. До начала имитации эксперт-технолог устанавливает для каждого устройства порог Q_{0r} этой наработки. Фактическая наработка Q_{fr} накапливается на индикаторе ind_{rh} путем добавления к накопленной сумме некоторого приращения ΔQ_{fr} при каждом использовании r -го устройства. С интервалом τ_{iz} значения $\{ind_{rh}\}$ посылаются в систему принятия решений $SPRESH$ для обеспечения внешнего управления оборудованием с помощью имитационной модели ВСГР.

Следует отметить, что полученная с помощью системы автоматизации имитационного моделирования [10] имитационная модель вероятностного сетевого графика для исследования динамики развития технологического процесса опасного производства позволяет дополнительно организовать не только технологическое, но и функциональное управление медленно развивающимся технологическим процессом с помощью данной имитационной модели.

Остановимся более подробно на вопросах технологического и функционального управления имитационной моделью вероятностного сетевого графика и рассмотрим особенности организации каждого вида управления.

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

Одним из способов организации внутреннего управления оборудованием в имитационной модели ВСГР является розыгрыш жребия [11] появления аварии оборудования и имитации режима ее ликвидации множеством агрегатов $\{APROC_k\}$. Для этой цели агрегаты-имитаторы устройств модели имитируют два состояния: работоспособное (S_1) и восстановления работоспособности (S_2). Имеет место циклический переход этих агрегатов из состояния S_1 в состояние S_2 и обратно. Длительности нахождения агрегата номера r в этих состо-

нениях являются случайными величинами, определяемыми по функциям их распределения $\Phi_{1r}(\tau_{BORl})$ и $\Phi_{2r}(\tau_{VORl})$, где τ_{BORl} и τ_{VORl} – длительности имитации использования оборудования, находящегося в состояниях S_1 и S_2 , в l -й реализации ВСГР. Процесс имитации этих агрегатов продолжается только в режиме прямой имитации до достижения номера реализации (согласно процедуре Монте-Карло) равного N . При срабатывании с вероятностью p_{abr} жребия «Произошла авария» проверяется тип этой аварии. Если авария оказалась сложной, то в систему принятия решений *SPRESH* посылается признак $\pi_{abr} = 1$, по которому инициируется режим ликвидации аварии с помощью внешней цепочки агрегатов-процедур ликвидации аварий $\{APROC_k\}$. Когда происходит обычная авария, то внутреннюю ликвидацию аварии с помощью другой цепочки процедур $\{APROC_k\}$ организует уже имитационная модель ВСГР аналогичным образом.

Особенностью организации в имитационной модели функций контроля взаимосвязанных технологических операций TXO_{ij} является использование второй части алгоритма имитации агрегатов-имитаторов технологических операций $ATOP_{ij}$. Для каждого $ATOP_{ij}$ она представляет собой некоторую процедуру его информационного взаимодействия с другими агрегатами-имитаторами. Процедуры информационного взаимодействия агрегатов $ATOP_{ij}$ связаны через вектор переменных функциональной связи $B_{ij} = (b_{1j}, \dots, b_{kj})$. Алгоритмы агрегатов $ATOP_{ij}$ читают и модифицируют значения компонентов этого вектора, имитируя функции информационной связи компонентов имитационной модели ВСГР. Второй группой переменных, обеспечивающих информационное взаимодействие агрегатов, является вектор переменных управления имитационной модели $U_{ij} = (U_{1j}, U_{2j}, \dots, U_{kj})$, который модифицируется с помощью специально выделенных для этой цели агрегатов $ATOP_{ij}$, обеспечивая частичную корректировку компонентов вектора состояний Z_{fn} путём увеличения или уменьшения текущих значений U_{fn} соответственно на величины ΔU_{fn}^+ или ΔU_{fn}^- . Третьей группой переменных взаимодействия является вектор параметров функционального состояния технологического процесса $Z_{ij} = (Z_{1j}, Z_{2j}, \dots, Z_{fj})$. Алгоритмы $ATOP_{ij}$ в режиме контроля за функционированием TXO_{ij} формируют значения $\{Z_{fn}\}$ компонентов этого вектора, которые используются для контроля состояний и имеют допустимые пределы изменения, задаваемые в таблице $TGZ = (Z_{fn}^-, Z_{fn}^+)$, где Z_{fn}^-, Z_{fn}^+ – соответственно верхние и нижние границы диапазона изменения параметров состояния. Допустимые границы диапазона изменения в таблице TGZ указывает эксперт-технолог. В процессе анализа выхода значений контролируемых параметров за допустимые границы диапазона 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 ΔU_{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 [12].

Перед началом имитации эксперт-технолог для каждого агрегата $ASOB_j$ формирует булеву матрицу $D_j = \|d_{jrk}\|$, компонентами которой являются указатели d_{jrk} запуска действительных сигналов Sgd по разветвлениям номера k . Строками r этой матрицы являются номера входов для агрегатов $ASOB_j$. Результат умножения d_{jrk} и π_f определяет, на каком

из разветвлений выхода четвертого типа необходимо выработать Sgd , активизирующий в дальнейшем агрегат $ATOP_{js}$, который корректирует значения компонентов вектора U_{jn} переменных управления технологическим процессом с помощью вектора корректирующих воздействий ΔU_{jn} . После посылки множества $\{Sgd\}$ действительных сигналов для корректировки функционирования и активизации соответствующих $ATOP_{js}$, агрегат $ASOB_j$ переходит в состояние ожидания прихода инверсных сигналов от $ATOP_{js}$.

Заключение

В настоящее время при исследовании функционирования технологических процессов опасного производства большое внимание уделяется так называемому «нормальному» режиму работы производственной системы. При этом решается основная задача исследования: обеспечить нормальный режим работы производственной системы, попутно решая задачу повышения экономической эффективности ее функционирования. Необходимо подчеркнуть, что, как свидетельствует накопленный практический опыт анализа функционирования промышленных предприятий, нормальный режим работы ТПОП имеет смысл имитировать как во время его проектирования при проектном моделировании безопасных производственных систем, так и для использования параметров функционирования таких систем в качестве «эталонных» при оперативном управлении функционированием оборудования технологических процессов опасного производства с целью предотвращения возникновения аварийной ситуации на производстве, поскольку пренебрежение задачами анализа «нештатных» ситуаций в процессе функционирования производства и недооценка важности комплекса работ в данном направлении, в особенности при исследовании вопросов надежности и безопасности, часто приводят либо к трагическим последствиям (Чернобыльская техногенная авария), либо к неоправданным расходам (убытки от недавней техногенной аварии на московских электросетях, по данным средств массовой информации России, составили около одного миллиарда долларов США).

В заключение отметим, что управление ТПОП с использованием результатов имитационного моделирования и учетом оценок специалистов-экспертов на практике может осуществляться в рамках следующих направлений анализа состояний технологического процесса опасного производства:

1. Определение оптимальной пропускной способности оборудования и его надежных характеристик для повышения безопасности функционирования производства при заданных составе рабочих мест и наборе ресурсов.
2. Выбор рационального варианта структуры технического обеспечения производства по обобщенному критерию качества, обеспечивающего требуемый уровень его безопасности на основе мониторинга и диагностики функционирования оборудования.
3. Расчет оценок диапазона расхода ресурсов, материалов и технического резерва надежности оборудования для повышения безопасности функционирования производства и конкурентоспособности предприятий республики на внешнем рынке.

Следует при этом иметь в виду, что каждое предприятие имеет свою специфику, в связи с чем вопрос об использовании результатов имитационного моделирования управляемых ТПОП зависит прежде всего от конкретного объекта моделирования и цели имитации.

Abstract. The importance of simulation modeling of controlled technological processes of hazardous production and the features of technological and functional management over the manufacture by means of simulation model of probabilistic network graph are considered in the paper.

Литература

1. Максимей, И.В. Методика исследования вероятностных технологических процес-

сов производства с помощью агрегатного способа имитации / И. В. Максимей, В. С. Смородин, Е. И. Сукач // Управляющие системы и машины, 2006. – № 2. – С. 35–42.

2. Михалевич, В.С. Методы последовательной оптимизации в дискретных сетевых задачах оптимального распределения ресурсов / В. С. Михалевич, А. И. Кукса // Москва, Наука, 1983. – 208 с.

3. Максимей, И.В. Задачи и модели исследования операций. Ч. 1. Аналитические модели исследования операций: Учебное пособие / И. В. Максимей, С. П. Жогаль // Гомель: БелГУТ, 1999. – 110 с.

4. Максимей, И.В. Способ моделирования агрегатами технологических процессов опасного производства / И. В. Максимей, В. С. Смородин, Е. И. Сукач // Электронное моделирование, 2005. – Т. 27. – № 6. – С. 101–109.

5. Максимей, И.В. Система автоматизации экспериментов, реализующая агрегатный способ имитации технологических процессов / И. В. Максимей, В. С. Смородин, Е. И. Сукач // Информатика. – 2005. – № 1. – С. 25–31.

6. Смородин, В.С. Имитационное моделирование технологии управления процессом производства / В. С. Смородин // Реєстрація, зберігання і обробка даних, 2006. – Т. 8. – № 3. – С. 74–88.

7. Смородин, В.С. Методика контроля и принятия решений при имитационном моделировании технологических процессов опасного производства / В. С. Смородин // Проблемы управления и информатики, 2006. – № 5. – С. 79–91.

8. Гончаров, А.Н. Система принятия решений при имитационном моделировании технологических процессов опасного производства / А. Н. Гончаров, И. В. Максимей, В. С. Смородин // VI международная конференция «Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2006»: Киев, 16–19 мая 2006 г.: Сб. тр. / Рос. ассоц. искусств. интеллекта и др.; Под ред. Т.А. Таран. – К.: Просвіта, 2006. – С. 74–83.

9. Максимей, И.В. Управление резервированием и восстановительными операциями с помощью имитационного моделирования при возникновении отказов в технологических процессах опасного производства / И. В. Максимей, А. Н. Гончаров, В. С. Смородин // Проблемы управления и информатики, 2007. – № 1. – С. 48–60.

10. Смородин, В. С. Агрегатно-процессный стенд имитации для контроля реализаций технологии опасного производства / В. С. Смородин // Проблеми програмування, 2006. – № 4. – С. 73–83.

11. Максимей, И.В. Задачи и модели исследования операций. Ч. 2. Методы нелинейного и стохастического программирования: Учебное пособие / И. В. Максимей, В. С. Серегина // Гомель: БелГУТ, 1999. – 103 с.

12. Максимей, И.В. Методика имитационного моделирования систем управления опасного производства / И. В. Максимей, В. С. Смородин // Проблемы управления и информатики, 2005. – № 4. – С. 53–62.