

О методе управления восстановительными операциями опасного производства

А. Н. ГОНЧАРОВ

Введение

Технологические процессы опасного производства (ТПОП), как правило, носят непредсказуемый характер, поэтому при параллельно-последовательном выполнении микро-технологических операций (МТХО), входящих в состав ТПОП, не представляется возможным использовать известные аналитические модели сетевых графиков (СГР) [1, 2] для прогнозирования техногенных аварийных ситуаций. В таких случаях наиболее эффективным методом исследования ТПОП является имитационное моделирование, которое требует использования удобных средств автоматизации (СА) для построения соответствующих имитационных моделей. Анализ технологических возможностей существующих СА, выполненный в работе [3], позволяет сделать заключение, что с помощью распространенных СА сложно рассчитывать на построение гибких ИМ ТПОП. Поэтому представляется целесообразным использовать для этой цели предметно-ориентированную систему автоматизации имитационного моделирования (САИМ), реализующую агрегатный способ имитации ТПОП [4]. Следует отметить, что кроме САИМ при построении имитационных моделей (ИМ) ТПОП необходимо использовать методики применения этих моделей для выбора стратегии реагирования на возникновение аварийных ситуаций в ТПОП. Это обстоятельство и определяет актуальность разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решения и, в частности, программной системы выбора стратегии реагирования (ПСВСР) лицами, принимающими решение (ЛПР), при возникновении техногенных аварийных ситуаций в ТПОП [5]. В основе решения поставленной задачи лежит метод управления восстановительными операциями, который излагается в настоящей работе.

Сущность метода управления восстановлением опасного производства

Предлагаемый метод реализуется в виде семи крупных этапов разработки ИМ ТПОП и использования результатов имитационного моделирования, полученных после проведения имитационных экспериментов (ИЭ) на данных ИМ. Целью исследования является нахождение с помощью ИМ ТПОП множественной линейной регрессии откликов имитации от параметров моделирования.

На первом этапе осуществляется построение ИМ ТПОП. Вначале формируется концептуальная модель с помощью известного кибернетического метода исследования сложных систем [6], при котором объект имитации представляется в виде «черного ящика», на входе которого имеется множество параметров-переменных имитации $\{X(t)\}$, множество характеристик надежности и безопасности технологических операций $\{H(t)\}$, множество параметров-констант имитации $\{G\}$. На выходе «черного ящика» фиксируется множество откликов имитации $\{Y(t)\}$, которое вычисляется с помощью множества статистик $\{ST_i(t)\}$. В результате исследований на ИМ ТПОП определяется множественная линейная регрессия $Y = \Phi(X, H, G)$. При этом отклики находятся косвенным образом из статистик имитации $Y = \Psi(ST_i)$, где $ST_i = \varphi_i(X, H, G)$, $i = \overline{1, n}$.

В результате отклики представляют собой сложные функциональные зависимости

$$Y = \Psi(\varphi, (X, H, G)), \quad (1)$$

где $\varphi_i (X, H, G)$, $i = \overline{1, n}$, определяются экспериментально на ИМ ТПОП.

Затем осуществляется формализация объекта имитации, согласно общей методике [3], применительно к данной предметной области. В ходе формализации необходимо выполнить следующий объем работ.

Исследуемый ТПОП представляется состоящим из множества $\{MTXO_{ij}\}$, которые взаимосвязаны друг с другом и имеют графовую структуру, поэтому его можно описать с помощью вероятностных сетевых графиков (ВСГР), в которых узлами являются события (SOB_i), а дугами определяются $MTXO_{ij}$, соединяющие SOB_i с SOB_j . В общем случае для выполнения $MTXO_{ij}$ требуются следующие ресурсы: время выполнения операции (τ_{ij}); стоимость ее реализации (c_{ij}); список количества материалов r_1 -го типа $\{mt_{r1ij}\}$; список количества комплектующих изделий r_2 -го типа $\{ko_{r2ij}\}$; список размеров ресурсов r_3 -го типа $\{v_{r3ij}\}$, коллективно используемых; список индивидуально используемого оборудования $\{SP.OBIN_{kij}\}$; список коллективно используемого места на общем оборудовании $\{SP.OBOP(V_{r4ij})\}$; список индивидуально используемых ресурсов $\{SP.RES_{kij}\}$; список исполнителей $\{SP.IST_{kij}\}$; список бригад исполнителей $\{ST.BRIG_{kij}\}$. Запросы на перечисленные ресурсы являются дифференцированными, а часть переменных имеет вероятностный характер:

$$(\tau_{ij}, c_{ij}, \{mt_{r1ij}\}, \{ko_{r2ij}\}, \{v_{r3ij}\}, \{v_{r4ij}\}),$$

поэтому перед началом имитации ТПОП требуется задание функций распределения этих величин

$$F_{1ij}(\tau); F_{2ij}(c); F_{r1ij}(mt); F_{r2ij}(ko); F_{r3ij}(v); F_{r4ij}(v). \quad (2)$$

Списки остальных ресурсов определяются особенностями реализации $MTXO_{ij}$ в ВСГР, поэтому они детерминированы и индивидуальны для каждой $MTXO_{ij}$. Для указания надежностных характеристик функционирования оборудования необходимо задать перед началом моделирования: вероятности $P_{отк}$ и $P_{акк}$; функции распределения $\Phi_{1k}(\tau_{60})$ интервалов времени между соседними отказами k -х устройств оборудования, функции распределения интервалов времени восстановления работоспособности оборудования $\Phi_{2k}(\tau_{во})$, функции распределения времени ликвидации аварии $\Phi_{3k}(\tau_{ав})$, функции распределения дополнительной стоимости восстановления функционирования оборудования $\Phi_{4k}(c_{во})$ и ликвидации аварий $\Phi_{5k}(c_{ав})$. При возникновении аварий $MTXO_{ij}$ вызывается последовательность процедур $\{PROC_k\}$, которые не функционируют в условиях конкуренции за ресурсы ТПОП, поскольку во время ликвидации аварии ожидание выполнения $\{PROC_k\}$ недопустимо, а состав бригад специалистов-ликвидаторов и специальное высоконадежное оборудование, в котором отсутствуют отказы, резервируются. Поэтому из ресурсов ТПОП при выполнении $\{PROC_k\}$ расходуется только время, стоимость, материалы и комплектующие изделия, а их количественные характеристики задаются с помощью соответствующих функций распределения:

$$\Phi_{6k}(\tau); \Phi_{7k}(c); \Phi_{8rk}(mt); \Phi_{9rk}(ko). \quad (3)$$

Отметим, что для постановки ИЭ исследователь должен иметь в своем распоряжении все перечисленные выше функции распределения вероятностных параметров. При представлении ТПОП аппаратом ВСГР кроме $MTXO_{ij}$ необходимо дополнительно указать состав входов и выходов событий SOB_i и SOB_j , являющихся соответственно инициаторами и приемниками $MTXO_{ij}$. События SOB_i могут иметь a_i входов и b_i выходов. Все выходы событий SOB_i являются кустовыми, а число разветвлений выходов (d_k) может быть различным. Если $d_k = 1$, то это означает, что он является одиночным, а остальные типы выходов являются кустовыми. Кустовые выходы SOB_i по своей структуре могут быть трех типов: действительные, иницирующие выполнение всех $\{MTXO_{ij}\}$; вероятностные, когда только по одному из разветвлений по вероятности P_{kl} иницируется соответствующая $MTXO_{ij}$, а по остальным разветвлениям выхода инициализация $MTXO_{ij}$ не происходит; резервирования, когда, в зависи-

мости от появления аварии ТПОП при выполнении МТХО_{ij} на входе события SOB_j, на его выходе инициализируется запланированный состав микротехнологических операций.

Особенностью предлагаемой формализации аппаратом ВСГР является использование для определения моментов свершения событий SOB_i двух режимов инициализации ВСГР: прямой имитации, когда модельное время t_0 растет от 0 до свершения последнего события (T_{3i}) в l -ой реализации ВСГР; инверсной имитации, когда t_0 уменьшается от T_{3i} до нуля. Здесь формализация ВСГР сочетается с использованием процедуры Монте-Карло. Согласно этой процедуре, в режиме прямой имитации ВСГР при имитации выполнения МТХО_{ij} по соответствующим функциям распределения разыгрываются фактические значения параметров МТХО_{ij} в l -ой реализации ВСГР:

$$(\tau_{ijl}, c_{ijl}, \{mt_{r1ijl}\}, \{ko_{r2ijl}\}, \{v_{r4ijl}\}) \quad (4)$$

По спискам запросов индивидуальных ресурсов, оборудования и исполнителей формируется заказ к системе распределения ресурсов ТПОП для закрепления их за МТХО_{ij} до окончания времени ее выполнения. По этому заказу в распоряжение МТХО_{ij} либо немедленно выделяются свободные ресурсы, либо соответствующие запросы ожидают освобождения требуемого ресурса. По окончании прямой имитации выполнения l -ой реализации ВСГР осуществляется переход на инверсную имитацию, когда процесс активизации МТХО_{ij} выполняется в обратном порядке (от конечного события SOB_n до начального события SOB₁). В этом режиме определяются поздние сроки свершения событий (t_{iii}) в l -ой реализации ВСГР. По свершению исходного события SOB₁ происходит переход в режим прямой имитации ВСГР, но уже в $(l+1)$ -ой реализации.

На втором этапе проводится испытание ИМ ТПОП и оценка ее технологических характеристик. При испытании ИМ ТПОП будем придерживаться общей методики испытания сложных систем, изложенной в [7], с модификацией шагов для данного случая. В ходе этого этапа выполняется следующая последовательность действий:

- оценка точности имитации ε_i ;
- проверка стационарности имитации и оценка длины переходного периода данной ИМ ТПОП;
- анализ чувствительности компонентов откликов $\{Y_i\}$ к изменению параметров $\{X_i(t)\}$ и $\{H_i(t)\}$;
- проверка адекватности ИМ ТПОП реальному ОП по критериям близости средних и дисперсий.

Только при положительном результате этих испытаний построенной ИМ ТПОП можно доверять.

На третьем этапе начинается эксплуатация ИМ. Основной операцией этого этапа является поиск множественной регрессии $Y_{0i} = \Psi(\varphi_i(X, H, G))$, т.е. при абсолютно надежном функционировании оборудования ОП. При этом предполагается, что $Y_{0i} \geq Y_{iэксп}$, где $Y_{iэксп}$ – экспертное значение функции отклика, ниже которого варианты $\{X_i(t)\}$ не допустимы.

На четвертом этапе определяется оптимальное значение множества параметров $\{X_{0iop}(t)\}$ при условии отсутствия отказов оборудования. Оптимальным значением $\{X_{0iop}(t)\}$ будем считать такое значение $X_{0i}(t)$, при котором достигается максимум величины $\{Y_i\}$. Для поиска оптимального решения на ИМ ТПОП проводится серия ИЭ с разработанной на предыдущих этапах моделью.

На пятом этапе проводятся ИЭ на ИМ ТПОП при наличии отказов оборудования. Серией ИЭ устанавливается допустимый диапазон, внутри которого множественная регрессия остается линейной (H'_{jk}). Это означает, что в интервале $[0, H'_{jk}]$ $Y_{0in} = \Psi(\varphi_i(X, H, G))$ при фиксированных значениях $X(t)$ и G остается линейной. В результате при j -ой координате $H_j(t)$ значение Y_{0j} уменьшается линейным образом до величины Y_{0jn} . Обозначим разность $\Delta_j = Y_{0i} - Y_{0jn}$ и назовем ее областью линейности Y_j по координате $H_j(t)$. Подобную операцию поиска на ИМ ТПОП проводим в отношении каждой j -ой координаты множества $\{H(t)\}$ при фиксированных значениях множества $\{X(t)\}$ ($X_i(t) = \text{Const}$).

На шестом этапе определяется минимальный радиус области линейности. По всем i -ым направлениям находим Δ_{ji} , в пределах которых при фиксированных значениях $X_i(t)$ функция отклика имеет линейное падение при увеличении $H_j(t)$ по каждой i -ой координате. Таким образом, определяется $\rho_{min} = \min_j \Delta_j$, а областью $H_j(t)$, удовлетворяющей этому условию, является окружность радиуса ρ_{min} , которая будет областью линейности для функции $Y_{0in} = \Psi(\varphi_i(X, H, G))$, являющейся результатом серии ИЭ.

На седьмом этапе формируется матрица решений, в которой компонентами являются различные значения переменных G_l . Далее с помощью известных критериев теории принятия решений [7] принимается тот вариант комбинации множеств $\{X_j(t)\}$ и $\{H_j(t)\}$, который обеспечивает максимум для функции (1) при минимальном радиусе линейности множественной регрессии ($\rho_{ijl} \rightarrow \min$). В данном случае для опасного производства выбирается максиминный критерий принятия решений, исключающий возможный риск при выборе окончательного решения.

Заключение

Целью данной работы является изложение метода управления восстановительными операциями для имитационного моделирования технологических процессов опасного производства и его применения при выборе стратегий реагирования на возникновение отказов оборудования. Основным результатом работы являются предложенные принципы организации восстановительных работ, резервирования микротехнологических операций и оборудования предприятия на основе процедур принятия решений в условиях неопределенности и риска. Высокий уровень автоматизации моделирования и простота описания ИМ ТПОП агрегатами типовой структуры обеспечивают перспективу использования имитационных моделей агрегатного типа при исследовании потенциально опасных ТПОП.

Abstract. A method of governing reconstruction operations of dangerous production in conditions of uncertainty and risk is considered.

Литература

1. Ю. П. Зайченко, *Исследование операций: учебное пособие*, Киев, Издат. дом. «Слово», 2002.
2. В. С. Михалевич, А. И. Кукса, *Методы последовательной оптимизации в дискретных сетевых задачах оптимального распределения ресурсов*, Москва, Наука, 1983.
3. И. В. Максимей, *Имитационное моделирование на ЭВМ*, Москва, Радио и связь, 1988.
4. И. В. Максимей, В. С. Смородин, Е. И. Сукач, *Система автоматизации экспериментов, реализующая агрегатный способ имитации технологических процессов*, Информатика, № 1 (2005), 25–31.
5. И. В. Максимей, В. С. Смородин, А. Н. Гончаров, *О выборе стратегии реагирования на возникновение аварий в технологических процессах опасного производства с помощью имитационной модели*, V международная конференция “Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2005” : Киев, 17–20 мая 2005 г.: Сб. тр. под редакцией Т. А. Таран, Киев, Просвіта, 2005, 196–204.
6. И. В. Максимей, В. С. Смородин, Е. И. Сукач, И. В. Соболев, *Система автоматизации моделирования вероятностных технологических процессов, реализующая агрегатный способ имитации*, Проблемы программирования, № 4 (2004), 25–31.
7. И. В. Максимей, В. Д. Левчук, С. П. Жогаль и др., *Задачи и модели исследования операций*, Ч. 3. Технология имитации на ЭВМ и принятие решений: учебное пособие, Гомель, БелГУТ, 1999.