

УДК 681.3

Формализация технологических процессов опасного производства на основе теории принятия решений

А. Н. ГОНЧАРОВ, В. С. СМОРОДИН

Особенности объекта исследования

В реальных условиях современного производства на промышленных предприятиях республики активно развивается процесс переоснащения производственных мощностей, замена исчерпавшего свой ресурс оборудования высокоточным, позволяющим изготавливать оснастку как для производства импортозамещающей продукции, так и для производства продукции для стратегически важных отраслей народного хозяйства. С процессом переоснащения производства тесно связаны вопросы повышения надежности и безопасности осуществления производственной деятельности, а также вопросы резервирования производственных мощностей, поскольку недооценка важности комплекса этих работ часто приводит либо к трагическим последствиям (Чернобыльская техногенная авария), либо к неоправданным расходам (убытки от техногенной аварии на московских электросетях, по данным средств массовой информации России, составили около одного миллиарда долларов США). При этом аппаратных средств контроля часто бывает недостаточно, так как измерительные приборы, как правило, только фиксируют текущее состояние оборудования без проведения качественного анализа его возможного изменения. В связи с этим последнее время уделяется достаточно много внимания разработкам программного обеспечения систем интеллектуального анализа данных и поддержки принятия решений [1]. Не вызывает сомнений тот факт, что данная проблематика актуальна, требует системного подхода к ее решению и включает в себя разработку методов формализации многоуровневых производственных систем, технологии и программных средств для обеспечения автоматизации их имитационного моделирования; разработку имитационных моделей и программных систем интеллектуального анализа данных для поддержки принятия решений в условиях неопределенности и риска, мониторинг функционирования составляющих моделируемого объекта и обработку результатов измерений, имитационное моделирование динамики производственной системы, разработку рекомендаций для лиц, принимающих решения, на основе анализа результатов моделирования и применения обоснованных алгоритмов принятия управляющих решений [2].

В данной работе сообщается о новом подходе к формализации технологических процессов (ТП) на основе вероятностных сетевых графиков (ВСГР) ТП опасного производства (ОП) и его последующем использовании при построении имитационных моделей (ИМ) этих процессов для принятия управленческих решений с помощью математических методов теории принятия решений [3] и классических критериев качества.

Формализация технологических процессов опасного производства

В связи с тем, что микротехнологические операции (МТХО) производственного процесса, формализуемого с помощью ВСГР ТП ОП, носят вероятностный параллельно-последовательный характер в совокупности составляющих ТП, при реализации соответствующей ИМ используются процедуры метода Монте-Карло [4].

При представлении объектов графовой структуры аппаратом формализации типа ВСГР узлами являются агрегаты-события (ASOB), а дугами служат агрегаты-имитаторы микротехнологических операций (АМТХО). Таким образом, агрегаты ASOB, для графовых

структур осуществляют функцию активизации выполнения соответствующих событий. Сами же дуги представляются агрегатами $AMTXO_{ij}$. Алгоритмы $ASOB_i$ выполняются мгновенно в модельном времени t_0 , тогда как $AMTXO_{ij}$ реализуются за интервал времени τ_{ijl} , который является случайной величиной. Эти агрегаты обладают наборами параметров, которые задаются до имитации с помощью функций распределения. Существенным расширением аппарата формализации ВСГР ТП ОП является добавление в описаниях $AMTXO_{ij}$ характеристик использования ими времени (τ_{ijl}), объема использования ресурсов r -го типа (v_{rijl}), стоимости выполнения (c_{ijl}) операций, количества материалов r -го типа (mt_{rijl}), количества комплектующих r -го типа (ko_{rijl}). Здесь индекс l означает номер реализации параметра согласно процедуре Монте-Карло. Перед выполнением $AMTXO_{ij}$ осуществляется розыгрыш по заданным функциям распределений $F_{1ij}(\tau)$, $F_{2ij}(c)$, $F_{3ij}(v)$, $F_{4ij}(mt)$, $F_{5ij}(ko)$ конкретных значений запросов ресурсов в l -ой реализации агрегатов ВТПП (τ_{ijl} , c_{ijl} , v_{rijl} , mt_{rijl} , ko_{rijl}). Перед имитацией выполнения $AMTXO_{ij}$ длительностью τ_{ijl} осуществляется запрос на выделение этих ресурсов на время имитации их выполнения.

Для выполнения некоторых $AMTXO_{ij}$ необходимо выделить ресурсы, оборудование и исполнителей. Вторую часть параметров этих агрегатов составляют списковые структуры запросов: оборудования индивидуального использования $\{SP.OBIN_k\}$, оборудования общего пользования $\{SP.OBOP_k\}$, ресурсов индивидуального использования $\{SP.RESIN_k\}$, индивидуальных исполнителей $\{SP.ISP_k\}$, бригад исполнителей $\{SP.BRIGAD_k\}$. Перед имитацией выполнения $AMTXO_{ij}$ длительностью τ_{ijl} агрегаты формируют запросы этих ресурсов производственной системы на время их выполнения. При имитации ВТПП аппаратом ВСГР возможна конкуренция $AMTXO_{ij}$ за ресурсы и оборудование. При отсутствии необходимых ресурсов в моменты их запроса имитируется дополнительное время ожидания выделения ресурсов и оборудования. Только после полного выделения заказанных ресурсов системой распределения ресурсов осуществляется запуск агрегатов-имитаторов использования оборудования на время τ_{ijl} . При каждом выделении и использовании ресурсов предприятия фиксируется соответствующая статистика имитации, по которой после окончания имитации l -ой реализации ВСГР формируются диаграммы и графики расхода и возврата ресурсов.

Для каждого $ASOB_j$, связанного через $AMTXO_{ij}$ и $AMTXO_{jh}$ соответственно с $ASOB_i$ и $ASOB_h$, в l -ой реализации процедуры Монте-Карло, по известной методике [4], определяются ранние (t_{pjil}) и поздние (t_{njl}) сроки свершения событий. При этом расчет t_{pjil} начинается от исходного события $ASOB_i$ и заканчивается завершающим событием $ASOB_n$. Расчет t_{njl} начинается в обратном порядке в инверсном модельном времени: от $ASOB_n$ до $ASOB_i$ и сопровождается вычислением резервов свершения событий $R_{njl} = t_{njl} - t_{pjil}$. Агрегаты $ASOB_j$ являются многополюсниками с различным числом входов ($r = \overline{1, a_i}$) и выходов ($k = \overline{1, b_i}$). Здесь r и k – соответственно номера входов и выходов агрегата. Выходы $ASOB_j$ могут быть трех типов. Кустовые выходы первого типа имеют d_k разветвлений, на которых агрегат $ASOB_j$ формирует только действительные сигналы Sgd_l , поступающие на входы $AMTXO_{ij}$ и инициирующие выполнение $AMTXO_{ij}$. Если $d_k = 1$, то кустовой выход вырождается до одиночного выхода. Отметим, что сигналы на всех разветвлениях кустового выхода формируются одновременно. Кустовые выходы второго типа также могут иметь d_k разветвлений, но только из одного разветвления формируется действительный сигнал Sgd , а на остальных разветвлениях выхода второго типа агрегат $ASOB_j$ формирует фиктивные сигналы, которые проходят с входа на выход агрегата $AMTXO_{ij}$, не инициируя его выполнение. Выбор номера l разветвления кустового выхода второго типа, на котором формируется Sgd , определяется путем розыгрыша жребия второго типа [4] по вектору вероятностей $\{P_{kl}\}$ ($0 \leq P_{kl} \leq 1$; $\sum_{l=1}^{d_k} P_{kl} = 1$). Кустовые вы-

ходы третьего типа могут формировать на разветвлениях любую запланированную комбинацию действительных и фиктивных сигналов, обеспечивающую активизацию резервных $AMTXO_{ij}$ в зависимости от того, имели ли место аварийные ситуации при выполнении $AMTXO_{ij}$, формирующих входные сигналы на входе $ASOB_j$.

Связи между $ASOB_i$, $AMTXO_{ij}$ и $ASOB_j$ осуществляются с помощью сигналов сложной структуры:

$$Sgd = (ts, i, tv, k, l, j, r); \quad (1)$$

где (i, tv, k, l) – адрес отправителя сигнала (i – номер $ASOB_i$, tv – тип кустового выхода, k – номер выхода, l – номер разветвления на кустовом выходе); (j, r) – адрес получателя сигнала (j – номер $ASOB_j$, r – номер входа); ts – тип сигнала по отношению к агрегату $AMTXO_{ij}$ (IP – входной прямой, OP – выходной прямой, II – входной инверсный, OI – выходной инверсный).

Агрегаты $AMTXO_{ij}$ являются четырехполюсниками, функционирующими вначале в режиме прямой имитации, а затем переходящими в режим инверсной имитации. Поведение агрегата-многополюсника $ASOB_j$ программируется до начала имитации. Для этой цели на кустовых выходах второго и третьего типов необходимо указать значения компонентов соответственно вектора вероятностей $\{P_{kl}\}$ формирования сигнала Sgd и булевой матрицы $\|\gamma_{klr}\|$ включения резервных $AMTXO_{ij}$. При необходимости формирования действительного сигнала Sgd на l -ом разветвлении k -го выхода $ASOB_j$ в случае появления на r -ом входе агрегата признака $\pi_{ar} = 1$, означающего факт возникновения аварии до инициализации агрегата $ASOB_j$, необходимо установить в единицу значение γ_{klr} элемента указанной матрицы. Формирование выходных сигналов агрегатов $ASOB_j$ происходит при срабатывании его «спусковой функции» в момент прихода в режиме прямой имитации самого позднего входного сигнала.

Агрегаты $AOBIN_k$ имитируют применение агрегатами $AMTXO_{ij}$ или $ASOST_{ij}$ оборудования индивидуального использования в старт-стопном режиме. Параметрами $AOBIN_k$ являются функция распределения $F_{1k}(\tau_{BO})$ интервала безотказной работы агрегата $AOBIN_k$; функция распределения $F_{2k}(\tau_{BO})$ интервала восстановления работоспособности агрегата; вероятность (P_{Ak}) того, что во время отказов произойдет авария; функция распределения интервала ликвидации аварии $F_{3k}(\tau_{AB})$ на $AOBIN_k$; функция распределения дополнительной стоимости выполнения $AMTXO_{ij}$ или $ASOST_{ij}$ на $AOBIN_k$ при восстановительных работах $F_{sk}(\Delta c_{BO})$ и при ликвидации аварий $F_{sk}(\Delta c_{AB})$.

В момент запуска $AOBIN_k$ задается длительность (τ_{ijl}) его использования агрегатами $AMTXO_{ij}$ в l -ой реализации ВСГР. Проверяется выполнение неравенства:

$$\tau_{ijl} \geq \tau_{BOkl}; \quad (2)$$

где τ_{BOkl} – интервал безотказной работы $AOBIN_k$ в l -ой реализации, формируемой по функции распределения $F_{1k}(\tau_{BO})$.

Выполнение неравенства (2) означает, что при функционировании $AOBIN_k$ длительностью τ_{ijl} произойдет отказ. В этом случае по функции распределения $F_{1k}(\tau_{BO})$ разыгрывается значение интервала восстановления τ_{BOl} и время имитации увеличивается до значения $\tau'_{ijl} = \tau_{ijl} + \tau_{BOl}$. Затем по вероятности (P_{Ak}) разыгрывается жребий «произошла авария» и в случае положительного результата розыгрыша осуществляется вторая модификация времени имитации агрегатом $AOBIN_k$:

$$\tau''_{ijl} = \tau'_{ijl} + \tau_{ABl}, \quad (3)$$

где τ_{ABl} – длительность интервала ликвидации аварии, разыгрываемой по функции распределения $F_{3k}(\tau_{AB})$. Одновременно с этими коррекциями длительности выполнения времени имитации агрегатом $AOBIN_k$ по функциям распределения $F_{4k}(\Delta c_{BO})$ и $F_{5k}(\Delta c_A)$ формируются значения дополнительных стоимостей восстановительных (Δc_{ol}) и ликвидационных

(Δc_{AI}) работ на АОВИН_k. В итоге τ_{Aijl} равно τ_{ijl} , либо τ'_{ijl} , либо τ''_{ijl} . После всех этих корректировок времени выполнения имитируется функционирование агрегата АОВИН_k длительностью τ_{Aijl} .

Агрегат АПРОС_k имитирует выполнение процедур ликвидации аварий при выполнении агрегатов АМТХО_y или АСОСТ_y. Предполагается, что оборудование, материалы, комплектующие изделия и бригады исполнителей заранее зарезервированы за каждым АПРОС_k, и поэтому конкуренции за ресурсы ВТПП у агрегатов АПРОС_k нет. В качестве параметров АПРОС_k задаются только функции распределения времени и стоимости ликвидации аварий $F_{lk}(\tau_{лА})$ и $F_{2k}(c_{лА})$. При инициализации АПРОС_k по этим функциям распределения разыгрывает значения времени и стоимости ($\tau_{лАl}$ и $c_{лАl}$) выполнения агрегатом его функций в l -ой реализации ИМ ВТПП. Затем имитируется выполнение агрегатом АПРОС_k его функций длительностью $\tau_{лАl}$ оператором ожидания, после чего фиксируется статистика: загрузки агрегата; стоимости ликвидационных мероприятий; расхода материалов и комплектующих изделий; использования оборудования и бригад исполнителей. У каждого АПРОС_k имеется свой преемник, поскольку все агрегаты объединены в виде списковых структур. Завершается имитация функций АПРОС_k инициализацией следующего агрегата по списку агрегатов ликвидации аварии, возникшей при выполнении МТХО_y.

Заключение

Основным результатом данной работы является изложение подхода к формализации технологических процессов опасного производства с помощью аппарата вероятностных сетевых графиков при использовании математических методов принятия решений на основе классических критериев качества. Высокий уровень автоматизации подобных исследований с помощью системы моделирования агрегатного типа обеспечивает перспективу использования ИМ ТП ОП [1] на случай возникновения техногенных аварий в процессе функционирования производства при необходимости поддержки принятия управленческих решений в условиях неопределенности и риска с использованием математических методов оптимального управления.

Abstract. About one approach of formalization of technological processes of dangerous production by means of the device of probabilistic network graphs with using decision making mathematical methods on the basis of classical quality criterions communicates.

Литература

1. 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.
2. В. С. Михалевич, А. И. Кукса, *Методы последовательной оптимизации в дискретных сетевых задачах оптимального распределения ресурсов*, Москва, Наука, 1983.
3. Х. Майзер, Н. Эйджин, Р. Троля и др., *Исследование операций. Математические основы и математические методы* (Пер. с англ.), Т. 1., Под ред. Дж. Моудера и С. Элмаграби, Москва, Мир, 1981.
4. И. В. Максимей, В. С. Серегина, *Задачи и модели исследования операций*, Ч. 2. Методы нелинейного и стохастического программирования: учебное пособие, Гомель, БелГУТ, 1999.