

УДК 007.003; 007.008; 65.0

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКОВ РАДИОАКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЕ КОМПЛЕКСА ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

А.Н. ГОНЧАРОВ¹

О.М. ДЕМИДЕНКО² доктор технических наук, профессор,

В.С. СМОРОДИН¹ кандидат физико-математических наук, доцент,

И.К. ЧИРИК¹

¹ УО «Гомельский инженерный институт» МЧС Республики Беларусь, г. Гомель, Беларусь

² УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины», г. Гомель, Беларусь

Известно, что объекты технологического комплекса использования атомной энергии, в том числе по обращению с радиоактивными отходами АЭС, представляет собой компоненты потенциально опасного производства, имеющего вероятностную природу, поскольку, помимо создания рациональной организационной структуры таких объектов, не менее важно в данном технологическом процессе обеспечить согласованное проведение совокупности операций. Поэтому строгая согласованность операций во времени служит не только показателем эффективности функционирования такого вероятностного технологического процесса (ВТП), являющегося потенциально опасным, но и ведущим условием обеспечения радиационной безопасности данной технологии.

Ключевые слова: имитационное моделирование, вероятностный технологический процесс, радиоактивные материалы.

Следует отметить, что известные в настоящее время классические методы исследования и принятия решений (теория массового обслуживания, аппарат сетевого планирования, теория расписаний, динамическое программирование, математическая теория оптимальных процессов) в данном случае не являются достаточно эффективными. Это связано, в первую очередь, с уровнем сложности и характером организации вероятностных технологических процессов, а также от качественных характеристик отдельных операций, надежности характеристик оборудования и степени надежности технологических операций. Поэтому наиболее эффективным способом исследования подобных вероятностных технологических процессов является имитационное моделирование [1].

Другим аспектом обеспечения безопасной эксплуатации ВТП упомянутого типа является разработка оптимальной структуры потоков радиоактивных материалов (РАМ) на объектах по обращению с радиоактивными отходами АЭС. Дополнительной трудностью обеспечения безопасной эксплуатации таких объектов является недостаток данных и отсутствие достоверной информации о возможных последствиях несоблюдения технологии их эксплуатации и отклонение структуры потоков РАМ от оптимальной. В обоих случаях приходится принимать решения в условиях неопределенности и риска.

Разработанные ранее методы имитационного моделирования ВТП общего назначения и технологий их использования при построении, испытании и эксплуатации соответствующих имитационных моделей (ИМ) [2], а также методы исследования вероятностных технологических процессов опасного производства [3] представляют собой основу для создания нового метода определения оптимальной структуры потоков РАМ и управления ими в технологической схеме объектов комплекса использования атомной энергии.

Разработку метода построения имитационных моделей потенциально опасных ВТП и имитационных моделей потоков РАМ для определения оптимальной структуры потоков и способов управления ими в технологической схеме объектов комплекса использования атомной энергии можно представить в виде следующей последовательности, состоящей из шести этапов выполнения работ:

на первом этапе необходимо разработать техническое задание и эскизный проект на создание метода исследования потоков РАМ с помощью имитационных моделей потенциально опасных ВТП;

на втором этапе требуется формализовать динамику изменения потоков РАМ во времени;

третий этап исследований состоит в разработке метода построения, испытания и эксплуатации ИМ потоков радиоактивных материалов и имитационных моделей потенциально опасных ВТП;

на четвертом этапе разрабатываются алгоритмы функционирования компонентов соответствующих имитационных моделей и систем имитации управления;

на пятом этапе должна быть разработана технология использования системы автоматизации имитационного моделирования как основного средства реализации компонентов имитационных моделей;

на заключительном, *шестом этапе*, необходимо разработать технический проект на программную реализацию комплекса имитационных моделей потенциально опасных вероятностных технологических процессов.

Описание процесса реализации ВТП основано на использовании в структуре соответствующей имитационной модели вероятностного сетевого графика агрегатов-имитаторов со стандартными элементами и сигналами, которые формируют управляющие воздействия на структуру модели в режиме реального времени путем их логической комбинации в зависимости от особенностей реализации вероятностного технологического процесса.

Типы элементов различаются между собой степенью сложности алгоритма их выполнения в зависимости от составом используемого оборудования, ресурсов и надежности технологических операций. Связь между элементами осуществляется с помощью управляющих сигналов двух типов: действительных (Sgd), инициирующих алгоритм выполнения исполнительных элементов, и фиктивных (Sgf), которые минуют основной алгоритм функционирования элемента без его исполнения. Сигналы также имеют сложную структуру и состоят из трёх частей: типа сигнала (π_s), адресной части (ad) и информационной части (in). У действительного сигнала Sgd_{ij} значение $\pi_s = 1$, а у фиктивного сигнала Sgf_{ij} значение индикатора $\pi_s = 0$. В адресной части ($ad = (i, k, l, j, r)$), где i – номер элемента синхронизации на l -м разветвлении кустового выхода номера k) содержится информация откуда и куда направляется сигнал. Формируется поступающий через исполнительный элемент на r -й вход j -го элемента сигнал в момент срабатывания спусковой функции i -го элемента синхронизации.

Информационная часть Sgd_{ij} имеет вид: $in = (ps, so)$, где ps – последствие выполнения элемента, so – состояние системы управления после выполнения исполнительного элемента в момент срабатывания «спусковой» функции. Если при выполнении исполнительного элемента произошла авария оборудования, то формируется признак аварии $ps = '1'$, а при отсутствии аварийной обстановки этот признак равен нулю ($ps = '0'$).

Каждый исполнительный элемент системы управления является двухполюсным и инициируется только действительными сигналами Sgd_{ij} . В случае прихода фиктивного сигнала Sgf_{ij} на вход исполнительного элемента, его алгоритм не

выполняется, а сигнал поступает непосредственно на один из входов j -го элемента синхронизации.

В общем случае параметры выполнения алгоритма агрегатов-имитаторов (τ_{ij} , C_{ij} , $\{ko_{r8ij}\}$, $\{mt_{r7ij}\}$, V_{r4}'' , V_{r2}') являются случайными величинами. Списки номеров оборудования, ресурсов, индивидуальных исполнителей и бригад исполнителей являются детерминированными характеристиками для исполнительного элемента с индексом ij . Параметры функционирования оборудования (τ_{VOr} , τ_{BOR} , τ_{Atr}) также являются случайными величинами. Все перечисленные ранее случайные величины перед имитацией должны быть заданы в виде соответствующих функций распределения, которые имеют следующие целевые назначения:

– определяют расход ресурсов ВТП исполнительным элементом с индексом ij

$$F_{1ij}(\tau), F_{2ij}(C), F_{3rj}(ko), F_{4rj}(mt), F_{5rj}(V'); \quad (1)$$

– задают надежностные характеристики устройств вероятностных технологических процессов с номером r

$$F_{7r}(\tau_{BO}), F_{8r}(\tau_{VO}), F_{9r}(\tau_{Atr}), F_{10r}(\Delta C_1), F_{11r}(\Delta C_2), P_{avr}. \quad (2)$$

Таким образом, с помощью функций распределений (1) и (2) описываются вероятностные характеристики поведения соответственно исполнительных элементов при изменении технологического цикла ВТП. Детерминированные запросы ресурсов каждым исполнителем задаются перед имитацией с помощью множества списков

$$\{r_{1ij}\}, \{r_{2ij}\}, \{r_{3ij}\}, \{r_{4ij}\}, \{r_{5ij}\}, \{r_{6ij}\} \quad (3)$$

и определяют индивидуальность каждого исполнительного элемента системы управления.

Реализация данной методики разработки нового метода исследований базируется на результатах, полученных при выполнении научно-исследовательских работ по государственной программе ориентированных фундаментальных исследований «Повышение надежности технических систем и обеспечение экологической безопасности территорий и населения в чрезвычайных ситуациях» (ГПОФИ «Надежность и безопасность») и государственной программе прикладных научных исследований «Разработка и обоснование системы мер для снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Республике Беларусь» (ГППНИ «Снижение рисков чрезвычайных ситуаций»).

Основными результатами, полученными в рамках названных государственных программ, являются следующие:

- методика математического моделирования аварий и катастроф техногенного характера («Отчет о НИР (заключ.) / Гомельский инженерный ин-т МЧС РБ; рук. темы В.С. Смородин. — Мн., 2005. — 135 с. — № ГР 20033706»);

- методические рекомендации по имитационному моделированию технологических процессов опасного производства (приложение к итоговому отчету за 2007 год по договору № 3-07/СР от 08.02.07 между учреждением образования «Гомельский инженерный институт» МЧС Республики Беларусь и Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (№ ГР 20061381);

- технология использования результатов имитационного эксперимента на этапах испытания и апробации имитационных моделей технологических процессов опасного производства;

- компьютерная программа «Комплекс имитации технологических процессов опасного производства (TecProBel.exe)», зарегистрированная в Национальном центре интеллектуальной собственности Республики Беларусь (свидетельство о регистрации № 027 от 13.05. 08 года).

Научная новизна данной методики состоит в том, что формализация типов объектов комплекса использования атомной энергии будет осуществлена на базе новых результатов, полученных авторами, в частности, с использованием метода пошаговой реструктуризации имитационных моделей на основе принципа организации моделирования квазипараллельных процессов «до следующего события»; создание технологии использования системы автоматизации имитационного моделирования (САИМ) при построении и эксплуатации имитационных моделей потенциально опасных вероятностных технологических процессов выполняется впервые; методика принятия решений в условиях неопределенности и риска возникновения аварийной ситуации при функционировании ВТП впервые разрабатывается на основе сочетания классических критериев принятия решений, процедуры Монте-Карло и алгоритмов ситуационного анализа состояний исследуемой системы.

Отличительными особенностями разрабатываемого метода от зарубежных и отечественных аналогов является использование упреждающей имитации и ее анализ с пошаговым принятием решений в процессе реализации потенциально опасных ВТП; применение метода пошаговой реструктуризации имитационных моделей

потенциально опасных вероятностных технологических процессов; исследование систем управления рассматриваемых ВТП на основе сочетания методик сетевого планирования и статистических испытаний сложных систем.

Следует отметить, что создание метода анализа динамики развития потенциально опасных вероятностных технологических процессов во времени и разработка рекомендаций на использование технических средств сопряжения элементов управления ВТП на основе имитационного моделирования позволит также обеспечить возможность снижения дозовой нагрузки на персонал при выполнении реального комплекса работ на потенциально опасных объектах.

Литература

1. Гончаров, А.Н. Об одной методике имитационного моделирования вероятностных технологических процессов производства / А.Н. Гончаров, И.В. Максимей, В.С. Смородин, А.В. Клименко, Д.Н. Езерский // Математичні машини і системи (Mathematical Machines and Systems). — 2008. — № 1. — С. 133 – 138.
2. Смородин В.С. Имитационное моделирование систем управления вероятностными технологическими процессами производства // Реєстрація, зберігання і обробка даних (Data Recording, Storage & Processing). — 2008. — Т.10, № 2. — С.53–68.
3. Смородин, В.С. Система управления надежностью оборудования вероятностных технологических процессов опасного производства / В.С. Смородин // Проблеми програмування (Problems in Programming). — 2007. — № 3. — С. 107 – 123.

Поступила в редакцию 20.08.2008

A.N. Goncharov, O.M. Demidenko, V.S. Smorodin, I.K. Chirik
**IMITATING MODELLING OF RADIOACTIVE MATERIALS STREAMS IN
THE TECHNOLOGICAL SCHEME OF THE COMPLEX OF OBJECTS OF
ATOMIC ENGINEERING**

It is known, that objects of the technological complex of the use of an atomic energy, including objects under the reference with radioactive waste products of the atomic power station, represents components of potentially dangerous manufacture having probabilistic nature as, besides creation of rational organizational structure of such objects, it is not less important to provide the coordinated realization of set of operations in the given technological process. Therefore the severe coordination of operations serves in time not only a parameter of efficiency of functioning such probabilistic technological process being potentially dangerous, but also leading condition of maintenance of radiation safety of the given technology.