

УДК 621.039.5: 614.8

К.И. Ильин, В.В. Светухин, В.Д. Кизин

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕЧНЯ ЯДЕРНО- И РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ АНАЛИЗЕ РИСКА НА ОБЪЕКТАХ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА¹

Ильин Кирилл Игоревич, аспирант кафедры «Физические методы в прикладных исследованиях» Ульяновского государственного университета, окончил инженерно-физический факультет высоких технологий УлГУ. Младший научный сотрудник Научно-исследовательского технологического института УлГУ. Сфера научных интересов – автоматизированные системы анализа и предупреждения аварийных ситуаций на объектах ядерного топливного цикла. [e-mail: kirill40184@list.ru].

Светухин Вячеслав Викторович, доктор физико-математических наук, профессор, окончил физико-технический факультет Ульяновского государственного университета. Директор Научно-исследовательского технологического института УлГУ. Имеет статьи и монографии в следующих областях знаний: реакторное материаловедение и математическое моделирование физических процессов. [e-mail: slava@sv.uven.ru].

Кизин Виктор Дмитриевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, окончил физико-технический факультет Уральского политехнического института. Начальник лаборатории радиационно-технологических методов и систем отдела радиационной безопасности ОАО «ГНЦ НИИАР». Имеет статьи и монографии в следующих областях знаний: обоснование радиационной безопасности исследовательских реакторов; разработка моделей прогнозирования радиационных последствий нормальной эксплуатации и возможных радиационных аварий на исследовательских реакторах. [e-mail: niia@niia.ru].

Аннотация

Настоящая работа посвящена исследованию процесса формирования перечня исходных событий (ИС) аварийных ситуаций (АС), используемого при обосновании безопасности объектов ядерного топливного цикла (ЯТЦ).

Предложен алгоритм, позволяющий унифицировать процесс определения необходимых для рассмотрения исходных событий возможных АС на объектах ЯТЦ. Данный алгоритм учитывает следующие характеристики рассматриваемых объектов: вид объекта (пункт хранения, горячая камера и т. д.); агрегатное состояние ядерных материалов (ЯМ) и радиоактивных веществ (РВ), используемых или хранящихся на объекте; технологию проведения работ с учетом качества оборудования и квалификации персонала.

Ключевые слова: оценка риска, ядерная и радиационная безопасность, объекты ядерного топливного цикла, исходные события, аварийная ситуация.

Abstract

The present article is devoted to research in process of generation of list of emergency-situation initial conditions, which is used to justify safety of sites of nuclear-fuel cycle. It gives an algorithm allowing to unify a process of definition of initial conditions of probable emergency situations at sites of nuclear-fuel cycle, to be necessary for consideration. This algorithm takes into account the following characteristics of the considered sites: site type (storage site, hot chamber etc.); aggregate state of nuclear materials and radioactive substances used or stored at sites; work technology taking into consideration equipment quality and staff skills.

Key words: risk assessment, nuclear and radiation safety, sites of nuclear-fuel cycle, initial conditions, emergency situations.

ВВЕДЕНИЕ

Энергетическая стратегия России на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 г. № 1715-р, устанавливает цели, задачи, основные направления и параметры развития топливно-энергетического баланса, предусматривая преодоление тенденции доминирования

природного газа на внутреннем энергетическом рынке с уменьшением его доли в общем потреблении топливно-энергетических ресурсов, в частности за счет увеличения доли выработки электроэнергии на атомных электростанциях в общем объеме до 19,8%. Однако эти планы могут иметь право на жизнь при условии обеспечения достаточной безопасности как АЭС, так и других объектов, обеспечивающих их функционирование.

¹ Данная работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Госконтракт № П98).

Международной организацией по стандартизации (ИСО) разработана серия стандартов по управлению окружающей средой. В России приняты соответствующие стандарты: ГОСТ Р ИСО 14001-2007 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению» и ГОСТ Р ИСО 14040-2010 «Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура». В настоящее время во многих странах ведутся работы по внедрению этих стандартов как на отдельных предприятиях, так и в целых отраслях промышленности.

Выявление опасностей и оценка риска – две необходимые предпосылки для разработки, в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ Р ИСО 14001-2007, управленческих планов по обеспечению безопасных условий проведения работ.

В этой связи и в соответствии с методическими указаниями оценки риска опасных производственных объектов [1] одним из основных этапов процедуры анализа является «Идентификация опасностей», принципиальной задачей которого является выявление и описание источников опасностей и путей (сценариев) их реализации (а именно, определение перечня исходных событий аварийных ситуаций). Это ответственный этап анализа, так как не выявленные в ходе его выполнения опасности не подвергаются дальнейшему рассмотрению и исчезают из поля зрения.

В настоящее время формирование перечня исходных событий аварийных ситуаций объектов ядерного топливного цикла производится на основании рекомендаций нормативных документов [2, 3]. При этом используются экспертные оценки, которые опираются в большинстве случаев на субъективную точку зрения специалистов, проводящих анализ и не имеющих единого алгоритма. Это в большинстве случаев приводит к недостаточной степени детализации анализа, излишней консервативности и, соответственно, к неоправданным затратам на повышение безопасности в случаях, когда опасность изначально пренебрежимо мала.

В рамках данной работы разработан алгоритм, позволяющий унифицировать процесс выбора оптимального набора ИС возможных аварийных ситуаций при анализе ядерного и радиационного риска на объектах ЯТЦ.

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА

На рисунке 1 показана блок-схема (БС) алгоритма формирования перечня исходных событий аварийных ситуаций для объектов ЯТЦ.

Особенностью алгоритма является то, что изначально определяются не только сами угрозы и места их размещения (а именно, элементы сложных технических систем, содержащие при нормальной эксплуатации или в аварийных ситуациях радиоактивные вещества или ядерные материалы, хранящиеся или используемые на рассматриваемом объекте (далее ЭТСС)), но и элементы сложных технических систем, изменение состояния которых способно привести к изменению объекта размещения РВ или ЯМ (далее ЭТСИ), что в том числе позволяет определить требования к элементам подобного рода.

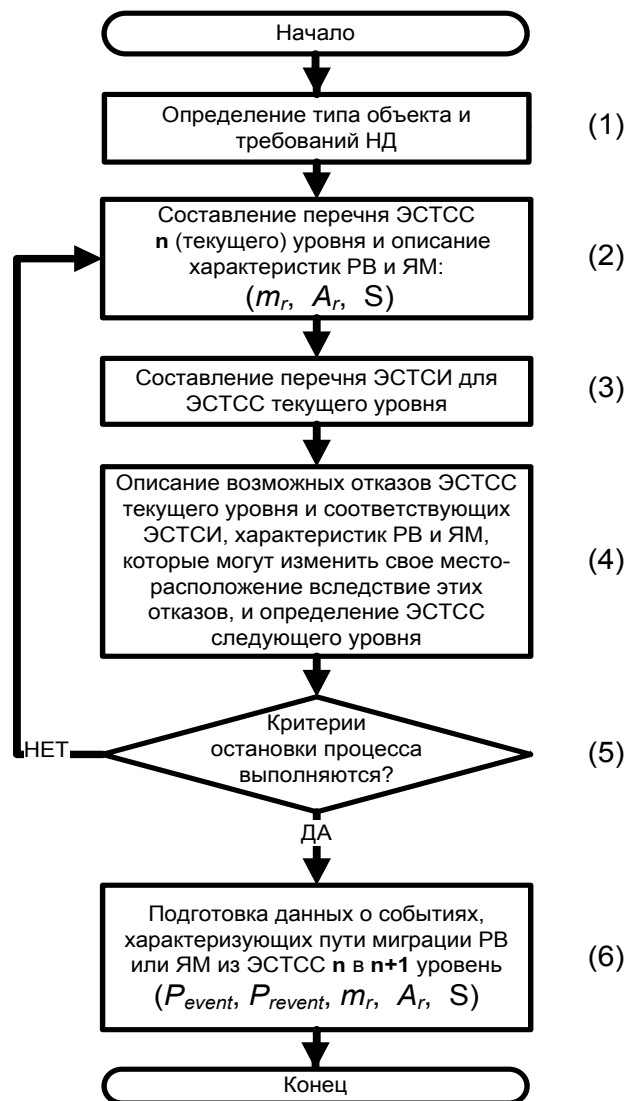


Рис. 1. Блок-схема алгоритма формирования перечня ИС АС для объектов ЯТЦ

Следует отметить, что алгоритм, представленный на рисунке 1, составлен таким образом, чтобы по возможности разделить процесс создания модели описания сложной технической системы на три части: определение типа объекта и требований нормативных документов (НД); составление перечней ЭТСС и ЭТСИ и описание возможных отказов ЭТСС текущего уровня (и соответствующих ЭТСИ) и их последствий. Это позволяет для выполнения второго этапа привлекать специалистов, имеющих опыт работы на рассматриваемом оборудовании и хорошее знание технологии процесса. Данное обстоятельство позволяет создавать модель описания сложной технической системы специалистам, непосредственно обладающим знаниями по применяемым технологиям и используемому оборудованию на исследуемом объекте, а специалистам, выполняющим анализ риска, отводит роль помощника, а не «переводчика» указанных знаний в машинный код.

Более подробное описание блоков, представленных на рисунке 1, приведено в следующих разделах.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА ОБЪЕКТА И ТРЕБОВАНИЙ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

Первая часть алгоритма БС представлена блоком 1 и направлена на анализ нормативно-правовой документации, требования которой распространяются на выбранный для рассмотрения объект ЯТЦ.

Нормативными документами предполагается следующая классификация исходных событий аварийных ситуаций, рекомендованная при проведении обоснования ядерной и радиационной безопасности [2]:

- внешние воздействия техногенного происхождения;
- внешние воздействия природного происхождения;
- отказы систем и элементов;
- ошибки персонала.

Итогом выполнения данной части алгоритма является перечень исходных событий аварийных ситуаций, рекомендованных для рассмотрения в соответствии с требованиями нормативных документов для данного вида ядерно- и радиационно опасного объекта, который включает в себя следующие сведения:

- вид объекта ЯТЦ (например: пункт хранения отработавшего ядерного топлива, хранилище ядерных материалов, комплекс горячих камер и т. п.);
- ИС, связанные с внешним воздействием природного характера (землетрясение, смерч, наводнение и т. д.);
- ИС, связанные с внешним воздействием техногенного характера (взрывы на соседних предприятиях, АЭС и т. п.);
- ИС, связанные с отказом систем и элементов объекта ЯТЦ;
- ИС, связанные с ошибками персонала;
- Наименование НД (нормативные документы, рекомендуемые для рассмотрения исходные события).

Информация о «виде объекта ЯТЦ» используется в блоках 2 и 3 (см. рис. 1) для определения рекомендуемых для рассмотрения ЭТСС и ЭТСИ в соответствии с требованиями нормативных документов. А перечень ИС, рекомендованных нормативными документами, анализируется и дополняется при выполнении блока 4 (см. рис. 1).

СОСТАВЛЕНИЕ ПЕРЕЧНЕЙ ЭТСС И ЭТСИ

Вторая часть алгоритма состоит из блоков 2 и 3 и направлена на определение всех возможных мест размещения радиоактивных веществ и ядерных материалов, используемых либо хранящихся на рассматриваемом объекте ЯТЦ. В данном случае речь идет о построении принципиальной схемы глубоководной защиты, реализованной на объекте.

Детальному анализу подвергаются элементы сложной технической системы, изменение состояния которых способно привести к изменению объекта размещения РВ или ЯМ, что позволяет установить требования к элементам подобного рода и определить границы систем, содержащих потенциальную опасность.

Главным итогом выполнения второй части алгоритма является подготовка перечня ЭТСС и соответствующих им ЭТСИ, включающего в себя следующие составляющие:

- уровень ЭТСС (характеризует принципиальную схему глубоководной защиты, реализованной на объекте);
- наименование ЭТСС (конкретное оборудование, выступающее на объекте в качестве ЭТСС);
- агрегатное состояние РВ или ЯМ (агрегатное состояние РВ или ЯМ, содержание которых возможно в ЭТСС) – S;
- максимальное количество РВ или ЯМ (максимальное для ЭТСС количество РВ или ЯМ) – m_r ;
- максимальная активность РВ или ЯМ (максимальная для ЭТСС активность РВ или ЯМ) – A_r ;
- наименование ЭТСИ (конкретное оборудование, связанное с рассматриваемым ЭТСС, изменение состояния которого способно привести к изменению места размещения РВ или ЯМ);
- функция ЭТСИ (выполняемая в технологическом процессе функция ЭТСИ).

Указанный перечень ЭТСС (т. е. основной результат второй части алгоритма) пополняется определенными, после рассмотрения отказов ЭТСС (и ЭТСИ) с выходом РВ или ЯМ, ЭТСС следующего уровня (см. блок 4, рис. 1).

Описание возможных отказов ЭТСС текущего уровня (и соответствующих ЭТСИ) и их последствий

Каждый определенный в блоках 2 и 3 ЭТСС и ЭТСИ анализируется на возможность отказа вследствие следующих причин: внешние природные и техногенные воздействия, отказы оборудования, ошибки персонала. Одним из важнейших результатов такого анализа является выявление исходных событий, способных привести к выходу РВ или ЯМ за пределы элемента сложной технической системы, их содержащего. Данное событие описывается вероятностью возникновения (P_{event}) и характеристиками вышедших РВ или ЯМ (m_r, A_r, S). После этого определяются ЭТСС следующего уровня (из которых возможен выход РВ или ЯМ) и связанные с ними ЭТСИ, и анализ повторяется. Критериями окончания данного процесса являются (блок 5, рис. 1):

1) Выход РВ или ЯМ в количествах, которые ни при каких условиях не способны привести к негативному воздействию в соответствии с НРБ-99/2009 [4];

2) Обобщенная вероятность исходного события, приводящего к отказу ЭТСС (или ЭТСИ) первого и n-ого уровней с выходом РВ или ЯМ в ЭТСС n+1 уровня, меньше 10^{-7} год⁻¹;

3) Выход РВ или ЯМ в окружающую среду.

После определения всех возможных путей миграции РВ или ЯМ из ЭТСС одного уровня в другую информация, характеризующая эти события, передается в блок 6 БС, где описываются все возможные отказы ЭТСС и ЭТСИ, а также сценарии развития аварийных ситуаций. После этого проводится сравнение выявленных в ходе анализа исходных событий аварийных ситуаций с подготовленным в первой части алгоритма перечнем и дополнение последнего.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный алгоритм позволяет унифицировать процесс определения необходимых для рассмотрения исходных событий аварийных ситуаций на объектах ЯТЦ с

детальным описанием путей протекания возможных аварийных ситуаций с учетом: вида объекта (пункт хранения, горячая камера и т. д.); агрегатного состояния ядерных материалов и радиоактивных веществ, используемых либо хранящихся на объекте; технологии проведения работ; используемого оборудования и квалификации персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов: РД 03-418-01 : утв. Госгортехнадзором России 10.07.01: введ. в действие с 01.10.01.
2. Требования к содержанию отчета по обоснованию безопасности радиационных источников : НП-039-02: утв. Госатомнадзором России 18.11.02 : введ. в действие с 10.05.03. – М.: Госатомнадзор России, 2002.
3. Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла (ОПБ ОЯТЦ) : НП-016-05: утв. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 02.12.2005 : введ. в действие с 01.05.2005. – М.: Ростехнадзор России, 2005.
4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Гигиенические нормативы. – М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 2009.