

УДК 621.039.5:614.8

К.И. Ильин, В.Д. Рисованный, В.В. Светухин, В.Д. Кизин

СТРУКТУРНАЯ (КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ) СХЕМА ОБЩЕЙ СТРАТЕГИИ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ 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].

Рисованный Владимир Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, окончил металлургический факультет Уральского политехнического института им. С.М. Кирова. Старший научный сотрудник управления научными исследованиями УлГУ. Имеет статьи и монографии в следующих областях знаний: физика радиационных повреждений реакторных материалов и элементов активных зон ядерных реакторов, новые технологии реакторных материалов и радиационные технологии. [e-mail: rvd@niiar.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: niiar@niiar.ru].

Аннотация

Настоящая работа посвящена исследованию процесса анализа риска аварийных ситуаций (АС), используемого при обосновании безопасности объектов ядерного топливного цикла (ЯТЦ).

В статье предложена общая стратегия анализа безопасности ядерно- и радиационно опасных объектов и детально рассмотрены ее части. Проведено обоснование этапов анализа безопасности и определены их основные результаты.

Ключевые слова: оценка риска, ядерная и радиационная безопасность, объекты ядерного топливного цикла, аварийные ситуации.

Kirill Igorevich Ilyin, post-graduate student of the Chair 'Physics Methods in Application Researches' at Ulyanovsk State University, graduated from the Faculty of Physics and Engineering of Ulyanovsk State University; junior staff scientist at the Research Technological Institute of Ulyanovsk State University; interested in computer-aided systems for analysis and prevention of emergency situations at nuclear-fuel cycle installations. e-mail: kirill40184@list.ru.

Vladimir Dmitrievich Risovany, Doctor of Engineering, Professor, graduated from the Metallurgical Faculty at Ural Polytechnic Institute named after Sergey Kirov; senior staff scientist at the research-control department of Ulyanovsk State University; author of articles and monographs in the fields of physics of radiation damages of reactor materials and elements of active areas of nuclear reactors, new technologies of reactor materials and radiation technologies. e-mail: rvd@niiar.ru

Viacheslav Viktorovich Svetukhin, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, graduated from the Faculty of Physics and Engineering at Ulyanovsk State University; Director of the Research Technological Institute at Ulyanovsk State University; author of articles and monographs in the fields of reactor material science and mathematical modeling of physical processes. e-mail: slava@sv.uven.ru.

¹ Данная работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (номер государственного контракта: П-494).

Viktor Dmitrievich Kizin, *Candidate of Engineering, senior staff scientist, graduated from the Faculty of Physics and Engineering at Ural Polytechnic Institute; Head of laboratory of radiation and technological methods and systems of the radiation-safety department at Joint Stock Company 'State Scientific Center Research Institute of Atomic Reactors'; author of articles and monographs in the fields of justification of radiation safety of research reactors, development of models for forecast of radiation consequences under ordinary operation and probable radiation accidents at research reactors. e-mail: niiar@niiar.ru.*

Abstract

The present article is devoted to a research of the process of emergency-situation risk analysis used to reason the safety of nuclear-fuel cycle installations.

The article offers a general strategy for analysis of safety of nuclear- and radiation-dangerous installations and considers its parts in details; reasons stages of the safety analysis and determines their main results.

Key words: risk assessment, nuclear and radiation safety, nuclear-fuel cycle installations, emergency situations.

ВВЕДЕНИЕ

Характерной чертой современности является взаимное влияние и взаимосвязь технических и экономических факторов. До недавнего времени одним из решающих факторов была дешевизна конструкций, причем не было должного экономического учета негативных последствий деятельности ядерно- и радиационно опасных предприятий. Это показал и опыт ликвидации последствий Чернобыльской аварии. Дальнейшее развитие атомной энергетики невозможно представить без создания соответствующих механизмов управления ядерным и радиационным риском.

Объекты ЯТЦ имеют свою специфику, которая не позволяет использовать методологию оценки риска, применяемую для обоснования безопасности других опасных производственных объектов (ОПО).

В настоящее время для оценки ядерного и радиационного риска объектов ЯТЦ используются экспертные оценки, которые опираются в большинстве случаев на субъективную точку зрения специалистов, проводящих анализ, и в дополнение ко всему не имеют единого алгоритма. Все это, как правило, приводит к недостаточной степени детальности анализа, излишней консервативности (и, как следствие, к необоснованным тратам на улучшение безопасности в местах, где опасность изначально пренебрежимо мала) и большим трудозатратам.

В связи со всем вышесказанным задача разработки специальной методологии системного анализа ядерного и радиационного риска для объектов ЯТЦ становится очень актуальной.

В рамках данной работы на основе проведенного анализа методов и средств решения задач выявления и классификации опасностей, имеющих на ОПО, была разработана структурная (концептуальная) схема общей стратегии безопасности объектов ЯТЦ как основы системы анализа и предупреждения АС.

ОПИСАНИЕ СТРУКТУРНОЙ (КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ) СХЕМЫ

В ходе проведения анализа безопасности объектов ЯТЦ происходит преобразование исходной информации об объекте в описание сценариев возможных неблагоприятных событий и их последствий. А после сопоставления степени риска указанных событий с выработанными кри-

териями безопасности, определяемыми допустимым для эксплуатации объекта уровнем опасности, формируется список корректирующих мероприятий, осуществление которых позволит достичь требуемого уровня безопасности объекта.

На рисунке представлена структурная (концептуальная) схема общей стратегии безопасности, более детально раскрывающая описанную выше процедуру анализа безопасности рассматриваемых в настоящей работе объектов.

После принятия решения о проведении анализа безопасности опасного объекта и определения его цели проводится выработка критериев безопасности (см. рис.), характеризующих границы приемлемого и недопустимого риска, которые устанавливают допустимые (приемлемые) уровни воздействий опасных факторов на персонал, население, окружающую среду и уровни вмешательства при авариях различного рода.

При выполнении блока «Сбор исходной информации» (см. рис.) определяется тип объекта и распространяющиеся на него требования нормативных документов, которые, с одной стороны, рекомендуют для рассмотрения общий перечень исходных событий АС, а с другой – выделяют наиболее важные, с точки зрения безопасности, элементы сложной технической системы. После этого проводится выявление угроз, имеющих на объекте, реализация которых способна оказать негативное воздействие на персонал, население и/или окружающую среду, и элементов сложной технической системы, содержащих (при нормальной эксплуатации или в аварийных ситуациях) радиоактивные вещества (РВ) или ядерные материалы (ЯМ), хранящиеся или используемые на рассматриваемом объекте (далее ЭТСС).

Следующим этапом является определение границ систем, содержащих потенциальную опасность, то есть должны быть определены те элементы (единицы оборудования), которые связаны с ЭТСС и изменение состояния которых способно привести к изменению объекта размещения РВ или ЯМ (далее ЭТСИ).

Каждый выявленный ЭТСС и ЭТСИ анализируется на возможность отказа вследствие следующих причин: внешних природных и техногенных воздействий, выхода из строя оборудования, ошибок персонала. Одним из важнейших результатов такого анализа является выявление

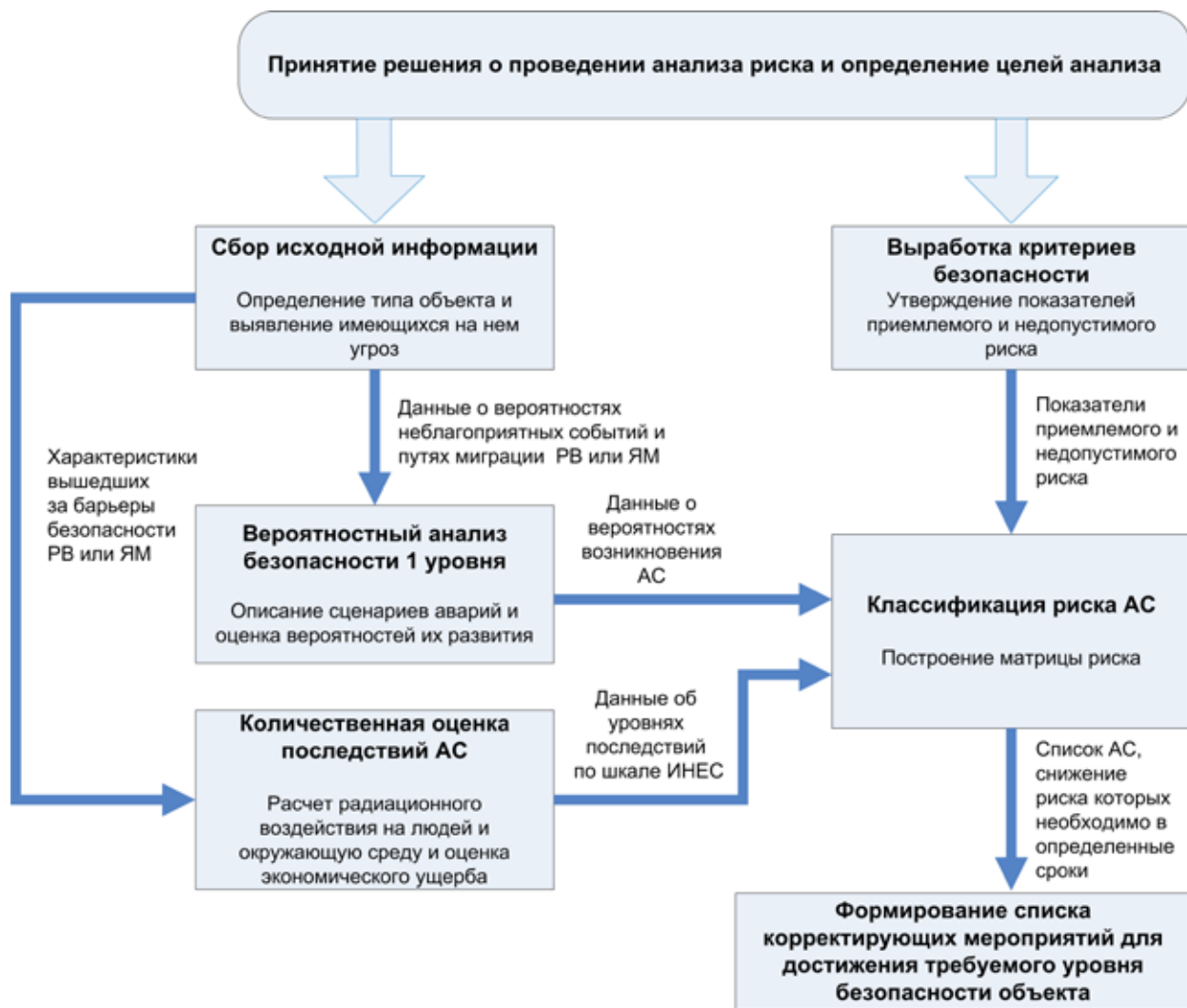


Рис. Структурная (концептуальная) схема общей стратегии безопасности объектов ЯТЦ

исходных событий, способных привести к выходу РВ или ЯМ за пределы элемента сложной технической системы, их содержащего. Данное событие описывается вероятностью возникновения ($P_{\text{собр}}$) и характеристиками вышедших РВ или ЯМ (m_p – масса, A_p – активность, S – агрегатное состояние), после чего определяются ЭТСС следующего уровня (содержащие вышедшие РВ или ЯМ) и связанные с ними ЭТСИ, и анализ повторяется. Критериями окончания данного процесса являются:

- выход РВ или ЯМ в количествах, которые ни при каких условиях не способны привести к негативному воздействию;
- обобщенная вероятность исходного события, приводящего к отказу ЭТСС (или ЭТСИ) первого и n -го уровней с выходом РВ или ЯМ в ЭТСС $n+1$ уровня, меньше 10^{-7} год $^{-1}$;
- 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 «Вероятностный анализ безопасности 1 уровня» (см. рис.), где проводится анализ имеющихся на рассматриваемом

объекте систем безопасности, их надежности и эффективности функционирования при различных условиях. Перечень событий, полученный на выходе блока «Сбор исходной информации», анализируется с точки зрения готовности систем безопасности к их выявлению и ликвидации. Опасные события сначала идентифицируются, затем все сочетания отдельных отказов формируются в логическом формате дерева неисправности (отказов) [1].

Использование данного метода позволяет выполнить количественную оценку вероятности возникновения неблагоприятного события. Схема расчета состоит из следующих этапов: сначала оцениваются вероятности отдельных отказов и их взаимосвязи (с помощью логических операторов, используемых в Булевой алгебре), а затем, используя соответствующие операции алгебры логики, рассчитывается вероятность итогового события.

Критерием выбора неблагоприятного события для дальнейшего анализа тяжести его последствий является условие, согласно которому вероятность итогового события больше 10^{-7} год $^{-1}$. Данное граничное значение продиктовано общепринятой концепцией минимально значимой вероятности проявления опасности.

Используя информацию о количествах вышедших РВ или ЯМ за пределы ЭТСС, их содержащих, а также специализированные методики и средства (либо экспертные оценки), в блоке «Количественная оценка последствий АС» (см. рис.) проводится оценка последствий возможных аварий по воздействию на персонал, население и окружающую природную среду.

После количественного определения воздействий осуществляется оценка экономического ущерба от последствий АС, который может быть разделен на две большие части: прямые потери для здоровья и прямые экономические потери, связанные с ликвидацией последствий радиационного воздействия.

Потери для здоровья (вред) рассчитывают исходя из коллективной дозы с принятием утвержденного на федеральном или отраслевом уровне величины экономического ущерба, определенного на единицу коллективной дозы [2].

Прямые потери, связанные с ликвидацией последствий радиационной аварии, определяются прямым счетом соответствующих затрат. Эти потери рассчитываются с учетом нормативной базы, на основе которой произведен расчет тарифов в действующих ценах на соответствующие виды работ и услуг.

Основными компонентами экономического ущерба являются [3]:

1. экономическая оценка вреда для здоровья населения и персонала;
2. затраты на следующие виды работ по ликвидации последствий радиационной аварии:
 - обследование загрязненных радионуклидами помещений и территорий;
 - дезактивация помещений;
 - дезактивация прилежащих территорий;
 - транспортирование и захоронение радиоактивных отходов на спецкомбинатах;
 - экономические потери для сельскохозяйственного производства (вывод земель из сельскохозяйственного производства, недополучение продукции);
 - имущественные потери физических и юридических лиц в результате радиационной аварии;
 - экономическая оценка ущерба для окружающей среды от выбросов радионуклидов в атмосферу и сбросов в водную среду (экологический ущерб).

После передачи в блок «Классификация риска АС» (см. рис.) данных о выработанных критериях безопасности из блока «Выработка критериев безопасности» происходит построение матрицы риска с величиной вероятности на одной оси и тяжестью последствий – на другой, являющейся одним из способов наглядного отображения совокупности данных об имеющемся риске [4].

После классификации риска неблагоприятных событий с помощью матрицы на выходе получаем перечень АС, для которых необходимо проведение корректирующих мероприятий в определенные сроки.

Далее выявляются способы снижения риска, вырабатываются требования к системам безопасности, сопоставляются альтернативные решения. Если достижение цели при приемлемых затратах невозможно, производится изменение целей (критериев безопасности в пределах нормативных требований) или корректировка проекта по выработанным рекомендациям (возможно только на этапе проектирования объекта). Анализ повторяется до тех пор, пока не будет найдено приемлемое решение проблем безопасности или будет принято решение об отказе от создания или использования объекта. Для оценки эффективности выбранных корректирующих мероприятий применяются различные методы экономических механизмов регулирования риска с использованием результатов анализа риска объектов ЯТЦ (метод «затраты-риск», метод «затраты-выгоды», метод «оценки эффективности затрат», метод «риск-риск» [5]).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует отметить, что результатом проведенного исследования стала структурная (концептуальная) схема общей стратегии анализа безопасности ядерно- и радиационно опасных объектов, которая учитывает специфику радиационных воздействий на людей и окружающую среду и является основой системы анализа и предупреждения аварийных ситуаций на подобного рода объектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 27.302-2009. Надежность в технике. Анализ дерева неисправностей. – Введ. 01.09.2010. – М.: Стандартинформ, 2011.
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Гигиенические нормативы. – М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 2009.
3. Межотраслевая методика расчета экономического ущерба от радиационных аварий при использовании радиоактивных веществ в народном хозяйстве: рег. № Р-03/98.– Введ. впервые; введ. 19.11.1998. – СПб.: РЭСцентр, 1998.
4. Ранжирование приоритетов при снижении рисков на конкретных объектах ЯТЦ на примере НИИАР / Р.И. Бакин [и др.] // Диалог с общественностью по вопросам снижения риска: сб. тр. первого межд. семинара «Гармонизации нормативной базы экологического регулирования на основе концепции риска: проблемы, подходы, перспективы», Москва, 4–6 марта 2002 г., и второго межд. семинара «Проблемы снижения риска при использовании атомной энергии», Москва, 7–9 июня 2004 г. – М.: «Комтехпринт», 2005. – С. 72.
5. Петрин С.В. Анализ безопасности установок и технологий: метод. пособие по проблемам регулирования риска. Ч. 1.– Саров: ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2006. – С. 167.