

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ЗАДАЧ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ПОЖАРОВ АС

И.Б. Кузьмина*, Н.Л. Сальников**

*** МАГАТЭ**

**** Обнинский институт атомной энергетики, г. Обнинск**



Предложена матричная модель задач ВАБ. Подобное представление исследований по ВАБ АЭС обеспечивает определенное удобство и наглядность восприятия объема ВАБ и способствует пониманию сущности получаемых вероятностных оценок. Отдельные блоки матрицы представляют собой комплексы задач. Рассматриваются особенности проведения ВАБ пожаров российских АС, сформирован перечень основных задач и их взаимосвязь.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение безопасного функционирования российских атомных электростанций (АС) является первостепенной задачей организаций, проектирующих и эксплуатирующих АС, а также органов федерального надзора за ядерной и радиационной безопасностью (Госатомнадзора РФ).

Современное состояние науки и практики в мире показывает, что одним из наиболее эффективных методов качественного исследования и количественной оценки уровня безопасности блоков АС является вероятностный анализ безопасности (ВАБ). ВАБ позволяет систематически и полно проанализировать всевозможные аварийные ситуации и установить основные источники аварии на объекте.

Следует особо отметить, что методология ВАБ позволяет оценить риск всевозможных аварий, инициированных различными источниками. Одним из таких источников является пожар, вызванный возгоранием оборудования или ненадлежащим обращением с горючими материалами в помещениях АС. Анализ аварий, происшедших на АС как в России, так и за рубежом [1], показывает, что пожары являются одной из основных причин серьезных инцидентов на АС, связанных с тяжелыми последствиями.

Методология ВАБ пожаров в отличие от методологии ВАБ внутренних исходных событий (ИС) является относительно новой и активно развивающейся дисциплиной, включающей в себя большое количество разнообразных задач, основными из которых являются следующие:

- сбор и обработка информации по трассировке кабелей по помещениям АС, расположению оборудования, пожарной нагрузке помещений и источников возгорания;
- моделирование возможности распространения продуктов горения внутри отдельных помещений и между помещениями АС;

- определение аварийных последовательностей, инициированных пожаром;
- моделирование влияния пожара на поведение оператора в процессе управления аварией;
- моделирование и количественная оценка аварийных сценариев, инициированных пожарами;
- определение доминирующих факторов риска с учетом неопределенности результатов ВАБ.

Эти задачи, являясь значительными по своему масштабу и объему анализа, а также комплексными и взаимосвязанными, требуют разработки подходов и методов анализа, позволяющих обеспечить полноту, достоверность и качество их выполнения, что, в свою очередь, обеспечивает состоятельность и корректность выводов и рекомендаций ВАБ, направленных на повышение уровня безопасности АС.

МАТРИЧНАЯ МОДЕЛЬ ВАБ

Наличие нескольких разноплановых характеристик исследований по ВАБ АС затрудняет представление об объеме анализа и спектре получаемых оценок. Для большей наглядности классификацию ВАБ АС можно представить в виде 3-мерной диаграммы, так называемой матричной модели, иногда используемой в системотехнике [2], оси которой определяют основные характеристики ВАБ. Такая диаграмма представлена на рис. 1. Ось X определяет уровни ВАБ, ось Y – уровни мощности, а ось Z – типы исходных событий. Подобное представление классификации исследований по ВАБ АС обеспечивает определенное удобство и наглядность восприятия объема ВАБ и способствует пониманию сущности получаемых вероятностных оценок. Отдельные блоки матрицы представляют собой комплекс задач, например, ВАБ пожаров. Сечения матрицы в продольных плоскостях дают основу для получения интегральных оценок риска, а сечения в горизонтальной и поперечной плоскостях представляют базу для анализа полноты проведенных исследований ВАБ и полученных оценок.

Так, продольное сечение объемной диаграммы, приведенной на рис. 1, для значения $X=1$ (ВАБ уровня 1) будет представлять матрицу характеристик ВАБ первого уровня M_1 , где индекс i определяет уровни мощности, а индекс j – типы исходных событий:

$i=1$ – остановленный блок	$j=1$ – внутренние ИС
$i=2$ – пониженная мощность	$j=2$ – внутренние пожары
$i=3$ – номинальная мощность	$j=3$ – внутренние затопления
	$j=4$ – внешние ИС

Например, элемент m_{131} этой матрицы будет соотнесен с ВАБ первого уровня для режима работы блока на полной мощности для внутренних ИС.

Если с каждым элементом m_{lij} матрицы сечения будет связана количественная оценка частоты повреждения активной зоны реактора q_{lij} для соответствующего уровня мощности и типа ИС, то значение

$$Q_{lj} = \sum_{i=1}^3 q_{lij} \quad (i = 1, 2, 3, 4)$$

представляет собой суммарную оценку частоты повреждения активной зоны реактора для всех уровней мощности работы блока АС для определенного вида ИС.

В свою очередь, значение

$$Q_{lj} = \sum_{i=1}^4 q_{lij} \quad (i = 1, 2, 3)$$

является суммарной оценкой частоты повреждения активной зоны реактора для всех

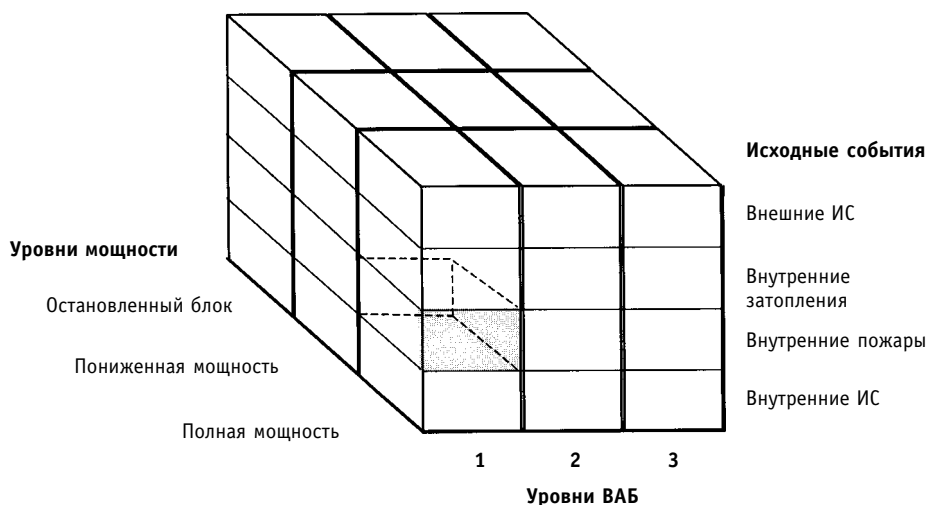


Рис. 1. Классификация исследований по ВАБ

типов ИС при работе блока на определенном уровне мощности. Суммарная оценка риска ВАБ уровня 1 (суммарный показатель частоты повреждения активной зоны реактора) может быть найдена как

$$Q_{1j} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 q_{lij}.$$

Аналогичные сечения объемной матрицы, представленной на рис. 1, для других уровней ВАБ и соотнесение матрицы характеристик с соответствующими оценками риска, дают спектр риска ВАБ уровней 2 и 3. На рис. 1 выделен блок задач ВАБ пожаров при работе реактора на полной мощности при проведении ВАБ первого уровня.

ОСОБЕННОСТИ ВАБ ПОЖАРОВ РОССИЙСКИХ АС

Опыт проведения полномасштабного ВАБ пожаров для российских АС [3] выявил ряд особенностей и ключевых моментов, на которые необходимо обратить внимание для успешного выполнения исследований.

1. *Определение пожарных зон.* В отличие от ситуации на АС в США и многих других западных странах, где определение пожарных зон требуется на стадии проекта или в составе документа, обосновывающего безопасность блока АС, для блоков российских АС нет аналогичных требований по выполнению пожарного зонирования. Отсутствие информации по предварительному разбиению площадей блока АС на пожарные зоны в России определяет *первостепенность* выполнения задачи зонирования [4].

2. *Учет связей между пожарными зонами.* Опыт выполнения ВАБ пожаров как в России, так и за рубежом показывает, что пожарные зоны могут быть связаны между собой через различные проектные связи (люки, негерметичные двери, вентиляционные короба) и непроектные неплотности в границах пожарных зон, которые могут являться путем распространения дыма и горячего газа. В частности, не все вентиляционные короба (особенно на первых блоках второго поколения российских АС) оборудованы автоматически срабатывающими электроприводными отсечными клапанами и шиберными заслонками, поэтому изоляция пожарной зоны в случае пожара в ней может быть недостаточно эффективной. Для обеспечения полноты анализа

необходимо учитывать все возможные пути распространения продуктов горения (в первую очередь, горячего газа и дыма) и возможность повреждения оборудования в связанных пожарных зонах.

3. *Получение информации по расположению кабелей.* Для российских АС в целом характерно отсутствие каталогизированного перечня кабелей электропитания оборудования, который позволил бы идентифицировать все кабели, расположенные в интересующем помещении – пожарной зоне. Такая информация является ключевой для ВАБ пожаров. Объем ее достигает десятков тысяч записей, что диктует необходимость создания компьютеризированных баз данных по расположению кабелей работ по ВАБ пожаров. Работа по сбору информации по кабельному оснащению осложняется еще и тем, что в целях предотвращения распространения пожара по кабелям кабельные трассы на действующих российских АЭС в середине 90-х гг. были обработаны огнезащитным составом; при этом вместе с кабелями были залиты также и таблички, их идентифицирующие.

4. *Возможность ложного срабатывания управляющих схем* вследствие возгорания кабелей в шахтах, обусловленная конструкцией управляющих схем, может иметь большое значение и внести существенный вклад в суммарную оценку риска. В целом конструкция управляющих схем является специфической для различных российских блоков.

5. *Анализ частот пожаров.* Для анализа частот пожаров необходима информация о случаях пожаров/возгораний на блоках АЭС. Ситуация с наличием данной информации в России является сложной. В отличие, например, от США, где имеются обобщенные базы данных, аккумулировавшие информацию о случаях пожаров/возгораний на блоках АЭС [см., например, 5], в России подобных баз данных до настоящего времени не создано.

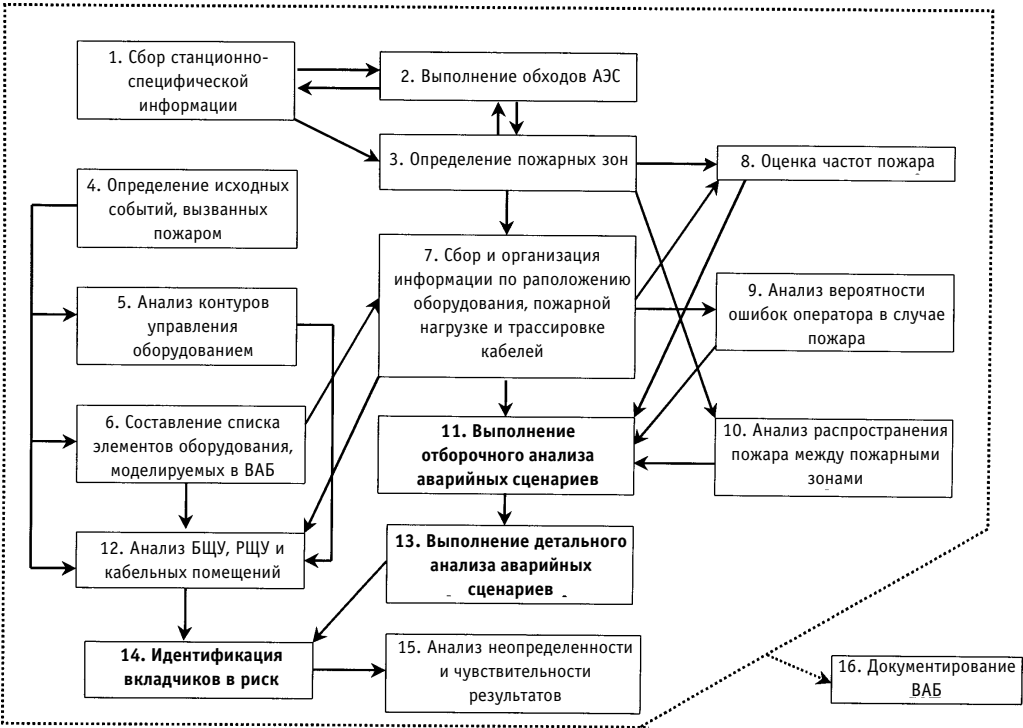


Рис. 2. Взаимосвязь задач ВАБ пожаров

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ЗАДАЧ ВАБ ПОЖАРОВ

В целом все методологические разработки включают в себя такие разделы выполнения ВАБ пожаров как анализ возможности распространения пожара, учет ухудшения условий для действий персонала, анализ непараметрической неопределенности, однако подходы зачастую либо упрощаются с целью сокращения объема анализа, либо рекомендации даются в обобщенном виде без приведения детальной методики выполнения таких анализов.

Многие задачи ВАБ пожаров и процедуры анализа являются аналогичными ВАБ внутренних исходных событий. К ним относятся, например, оценка частот пожаров, определение возможных исходных событий и их группировка, разработка аварийных последовательностей, анализ надежности персонала, количественный анализ аварийных последовательностей, анализ неопределенности и чувствительности результатов. Вместе с тем имеется ряд особенностей выполнения ВАБ пожаров.

1. Объем информации, требуемой для выполнения ВАБ пожаров, может значительно превышать объем, требуемый для выполнения ВАБ уровня 1 внутренних ИС.

2. В отличие от ВАБ уровня 1 для внутренних ИС ВАБ пожаров во многом сосредоточен на анализе пространственных взаимосвязей и взаимного расположения оборудования в помещениях АЭС и возможности множественного повреждения элементов оборудования (из-за единичного пожара).

3. ВАБ пожаров рассматривает повреждение кабеля как одну из главных причин отказа оборудования в случае пожара.

4. Повреждение кабеля может вызвать исходное событие.

5. В случае пожара, в добавление к факторам, анализируемым в рамках ВАБ внутренних ИС, на оператора воздействуют дополнительные факторы, которые могут привести к увеличению вероятности ошибки при выполнении персоналом действий по ликвидации аварии.

Эти особенности ВАБ пожаров обуславливают специфический состав его задач, который отличается от состава задач ВАБ внутренних исходных событий. На рис. 2 показана схематическая взаимосвязь задач ВАБ.

Первой интегрирующей задачей ВАБ пожаров является задача 11 «Выполнение отборочного анализа аварийных сценариев», второй – задача 14 «Идентификация вкладчиков в риск».

Остановимся только на этих задачах. Цель решения задачи 11 отборочного анализа – произвести отсев сценариев пожара, которые при использовании консервативных методов и предположений анализа могут быть оценены как малозначимые. Для выполнения задачи разрабатываются аварийные сценарии отборочного анализа. Чтобы обеспечить консерватизм рассмотрения, предполагается, что, с возникновением пожара в каждой пожарной зоне повреждаются все электроприводное оборудование и кабели, попавшие в зону распространения горячего газа, а также электронное оборудование, попавшее в зону распространения дыма. При этом считаются возможными все ложные срабатывания электроприводного оборудования, приводящие к исходным событиям, а вероятности ошибок персонала оцениваются в предположении наихудшего влияния факторов пожара. Для всех разработанных сценариев оцениваются показатели условной вероятности и частоты повреждения активной зоны реактора. Оценка производится путем выполнения расчетов с использованием программных кодов ВАБ (SAPHIRE, RISKSPECTRUM и др.) и компьютерной модели ВАБ для внутренних ИС. Полученные показатели сравниваются с пороговыми критериями (определенными или как процент от общей частоты повреждения активной зоны, или как абсолютное значение). Сценарии исключаются из рассмотрения, если оцененная частота повреждения активной зоны меньше порогового критерия.

Что касается задачи 14, то ее цель – подготовка выводов о значительных вкладах в оцененный риск и причинах, обуславливающих этот вклад. В рамках этой задачи определяется также суммарный оцененный риск. Анализ проводится как для отдельных аварийных сценариев, так и для различных типов помещений АС.

Наличие двух ключевых задач, в рамках которых производится интеграция результатов других задач ВАБ пожаров, является важным моментом выполнения исследований. Однако многие задачи ВАБ пожаров могут выполняться одновременно (или с частичным пересечением), что необходимо иметь в виду при организации выполнения ВАБ пожаров и составлении плана-графика работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ отличия содержания исследований по ВАБ пожаров от ВАБ внутренних ИС позволяет провести систематизацию полного перечня задач ВАБ пожаров, раскрыть цели их выполнения и определить их основное содержание с учетом специфики российских АС. Описание взаимосвязи и последовательности выполнения задач имеет большое значение для эффективной организации и успешного выполнения ВАБ пожаров. Данный подход был реализован при проведении полномасштабного ВАБ пожаров НВАЭС [4].

Литература

1. Treatment of Internal Fires in Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants// International Atomic Energy Agency/ Safety Series. – 1998. - №10.
2. Волик Б.Г., Буянов Б.Б., Лубков Н.В. и др. Методы анализа и синтеза структур управляющих систем. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 296 с.
3. Анализ влияния пожаров и их последствий на безопасный останов реакторной установки ВВЭР-1000 (В-320). -М.: Росэнергоатом. – 1998.
4. Кузьмина И.Б., Любарский А.В., Носков Д.Е., Гордон Б.Г., Розин В.Н. Методологические аспекты и результаты ВАБ пожаров пятого блока Нововоронежской АС// Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2001. - №1. – С.25-30.
5. International Atomic Energy Agency, "Component Reliability Data for Use in Probabilistic Safety Assessment"//IAEA-TECDOC-478, Vienna, Austria, June 1988.

Поступила в редакцию 11.03.2002

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.311.25: 621.039.58

Systematization of Probabilistic Analysis of NPP Fire Safety Problems \ I.B. Kuzmina, N.L. Salnikov; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2002. – 6 pages, 2 illustrations. – References, 5 titles.

Matrix model of Probabilistic Analysis of NPP Fire Safety (PAFS) is suggested. Such presentation of PAFS researching provides comfortable and visible understanding of PAFS volume and probabilistic values. Different blocks of matrix are the complexes of the problems. Particularities of PAFS performance are considered, and also listing of general problems with their interfaces is formed.

УДК 621.039.51: 539.1.074

Determination low multiplying subcritical states by Rossi- α technique \ V.V. Doulin, I.P. Matveenko; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2002. – 9 pages, 4 tables, 4 illustrations. – References, 7 titles.

The method of obtaining the spatial corrections at measurement of low multiplying subcritical states by Rossi- α technique was applied. For that solution of inhomogeneous equation adjoint with respect to detector count rate is used.

The experiment on determination of value of low multiplying subcriticality of media (3 kg ^{239}Pu (95%)) was carried out. A new installation for registration Rossi – ? distribution was developed that has essentially improved accuracy of measurements.

The measurement results were analysed with using this new method and traditional method for calculation of spatial corrections using solution of homogeneous relative asymptotic power equation.

УДК 621.039.5: 621.039.547.5

Physical characteristics of the light-water reactor with ultra-long life of thorium-based fuel \ G.G. Koulikov, A.N. Shmelev, E.F. Kryuchkov, G.V. Tikhomirov, M.Yu. Ternovikh, V.A. Apse, M. Saito, V.V. Artisyuk; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2002. – 11 pages, 4 tables, 1 illustration. – References, 11 titles.

Physical characteristics of the light-water reactor loaded with (Th-Pa-U)-fuel are analysed. It is demonstrated that introduction of ^{231}Pa into Th-based fuel composition opens a possibility of principle to reach ultra-long life-time of fuel due to stabilization of its multiplying properties during the reactor operation.

УДК 621.039.53: 621.039.526

Analysis of Applicability of the Gallium and its Alloys for Cooling of LMFR \ V.S. Okunev; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2002. – 10 pages, 2 tables, 3 illustrations. – References, 14 titles.

The possibilities of applicability of the gallium and Na-Ga-Pb-alloys (with different concentrations of the components) as a coolant of the LMFR are researched by the base of analysis of the physical and chemical properties, problem of compatibility with construction materials, inherent safety.

УДК 539.1.01.07: 621.039.516

Simulation of Spent Fuel Burnup Determination System \ S.G. Oleynik, V.A. Boltenkov; Editorial board of Journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2002. – 14 pages, 2 tables, 7 illustrations. – References, 8 titles.

A structural chart of the system for spent fuel burnup control in real time is proposed. The formation of intensity field of gamma-radiation from monitored fuel assembly in an optional point of