

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ ПОЖАРОВ ПЯТОГО БЛОКА НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АС

**И.Б. Кузьмина*, А.В. Любарский*, Д.Е. Носков*, Б.Г. Гордон*,
В.Н. Розин****

** Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности
(НТЦ ЯРБ)*

*** Нововоронежская АС*



В статье представлены некоторые методологические аспекты и предварительные результаты исследования по вероятностному анализу безопасности (ВАБ) 1 уровня для 5 блока Нововоронежской атомной станции (АС) для событий внутренних пожаров, выполняемому в рамках проекта СВИС-РУС. Приведен анализ основных вкладчиков в риск для исследуемого блока АС от событий внутренних пожаров и указаны причины, обуславливающие оцененные показатели риска. Показано, что риск, связанный с пожарами, может быть достаточно значительным и сопоставимым с риском от внутренних исходных событий, что указывает на необходимость выполнения ВАБ пожаров на АС и учета полученных результатов при разработке программы модернизации, проводимой с целью повышения уровня безопасности АС.

ВВЕДЕНИЕ

Вероятностный анализ безопасности (ВАБ) 1 уровня для 5 блока Нововоронежской атомной станции (НВАЭС) для событий внутренних пожаров был начат в 1998 г. в рамках российско-швейцарского проекта СВИСРУС и в настоящее время находится в стадии завершения. Данная статья посвящена вопросам ВАБ пожаров, явившегося одним из первых исследований в этой области для российских атомных станций (АС).

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВАБ ПОЖАРОВ

Методология, используемая при проведении ВАБ внутренних пожаров для 5 блока НВАЭС, основывалась на руководстве МАГАТЭ [3], а также на подходах, изложенных в [4, 5]. Основные задачи ВАБ пожаров и взаимосвязи между ними представлены на рис.1.

При выполнении полномасштабного ВАБ пожаров необходимо собрать и систематизировать большое количество информации и данных, требующихся для выполнения отдельных задач. Сбор станционной информации включает в себя поиск и систематизацию проектной и эксплуатационной документации, важным элементом которой являются экспликации зданий и помещений, используемые в анализе при разбиении АС на пожарные зоны. С целью верификации полученной информации проводятся обходы

станции, позволяющие, например, выявить непроектные связи между помещениями через различные неплотности в границах пожарных зон, неучет которых может исказить результаты анализа распространения пожара и привести к возможному пропуску потенциальных вкладчиков в риск.

Одной из самых важных задач ВАБ пожаров является сбор информации по расположению кабельных трасс по зданиям и помещениям станции. Специфика ВАБ пожаров во многом состоит в том, что, в отличие от ВАБ внутренних событий, в случае пожара возможны множественные отказы и ложные срабатывания электроприводного оборудования из-за повреждения кабелей, которые могут проходить через помещения, удаленные от места расположения оборудования. Объем кабельной информации обычно бывает очень значительным, но сама информация не систематизирована. На российских АС имеются кабельные журналы, позволяющие, в целом, проследить прохождение кабельных трасс, однако информация в них представлена в виде, не позволяющем получить данные о том, кабели какого оборудования находятся в конкретном рассматриваемом помещении. Для получения такой информации необходимо создавать базы данных, включающие в себя десятки тысяч записей. В рамках ВАБ пожаров 5 блока НВАЭС была создана база данных кабельного хозяйства с использованием Microsoft ACCESS и Visual Basic, объем которой составил более 24000 записей. База данных по кабельному хозяйству позволяет определить, какие исходные события (вызванные, например, ложными открытиями предохранительных клапанов из-за коротких замыканий в контурах управления, обусловленных пожарами) возможны при пожаре в том или ином помещении станции и какое оборудование может прийти в состояние неготовности к выполнению функции (например, отказ насоса на запуск из-за повреждения кабелей).

Важной задачей ВАБ пожаров является также исследование возможностей распространения пожара между помещениями АС. Первым шагом этого анализа является условное разбиение зданий и помещений станции на пожарные зоны в соответствии с набором критериев, учитывающих, в основном, наличие физических границ (стены, пол, потолок). В ВАБ пожаров 5 блока НВАЭС было определено около 500 различных пожарных зон.

На следующем этапе исследуются связи между пожарными зонами, например, по

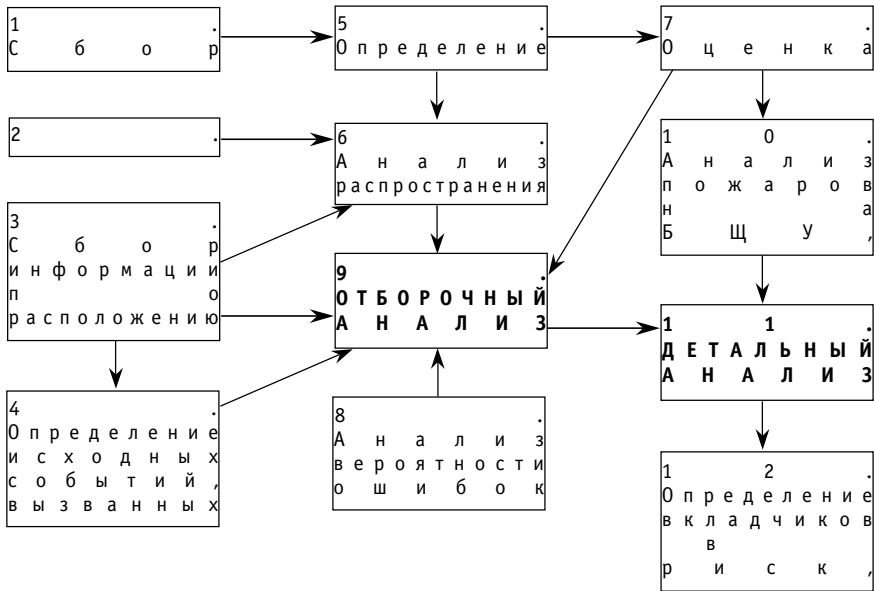


Рис.1. Задачи ВАБ внутренних пожаров для АС

вентиляции и через различные проектные и непроектные неплотности. В результате этого анализа определяются зоны распространения пожара - наборы пожарных зон, между которыми возможно распространение продуктов горения (горячего газа и дыма) в случае возгорания в одной пожарной зоне. В рамках ВАБ пожаров 5 блока НВАЭС такой анализ был выполнен с помощью специально разработанной процедуры формализованного описания связей между пожарными зонами и программного комплекса, реализованного с помощью Visual Basic, позволяющего проводить анализ распространения пожара в зависимости от задаваемых критериев распространения. Этот программный комплекс был интегрирован в базу данных кабельного хозяйства, что позволило автоматизировать получение информации, необходимой для определения сценариев пожара, а именно, зон распространения пожара и оборудования, кабели которого расположены в помещениях, вошедших в зону распространения.

Определение сценариев пожара включает в себя также определение исходных событий и уточнение вероятностей ошибок персонала, моделируемых в ВАБ 1 уровня для внутренних исходных событий, с учетом таких эффектов влияния пожаров как возможное задымление помещений и потеря информации на блочном щите управления (БЩУ) вследствие повреждения информационных кабелей. Кроме этого, для каждого сценария определяется частота пожара.

Сценарии пожаров подвергаются отборочному количественному анализу путем выполнения расчетов по модели ВАБ для внутренних ИС с учетом потери работоспособности оборудования, кабели которого находятся в зоне распространения пожара, и уточненных вероятностей ошибок персонала. Отборочный анализ проводится консервативно, т.е. предполагается, что с частотой возникновения пожара повреждается все оборудование, попавшее в зону распространения пожара. Для всех разработанных сценариев оцениваются показатели условной вероятности и частоты повреждения активной зоны (ЧПЗ) реактора, которые сравниваются с пороговыми критериями.

Те сценарии пожаров, для которых значения показателей превышают определенные пороговые значения, подвергаются детальному анализу с учетом геометрии помещений и расположения кабелей и оборудования, количества горючих материалов, а также результатов детерминистического моделирования процесса развития пожара для каждого конкретного случая. Детерминистическое моделирование пожаров проводится с использованием специальных программных кодов [6]. Следует отметить, что для некоторых пожарных зон, таких как БЩУ, резервный щит управления (РЩУ), кабельные шахты, в силу средоточения в них большого количества кабелей и очевидной важности этих помещений для функционирования АС, отборочный анализ не проводится, а выполняется непосредственно детальный анализ, который имеет свои специфические особенности. При выполнении детального анализа учитывается возможность автоматического и ручного пожаротушения. Результатом детального анализа сценариев пожаров являются уточненные сценарии (или наборы подсценариев), учитывающие реальную картину развития пожара, возможность возникновения исходных событий и повреждения оборудования.

Детальные сценарии пожаров подвергаются повторно количественной оценке по модели ВАБ, определяются показатели ЧПЗ, проводится анализ неопределенности и чувствительности полученных результатов и формируется спектр вкладчиков в риск. Анализ полученных результатов позволяет сделать выводы о том, какие помещения станции являются наиболее уязвимыми с точки зрения опасности нежелательных последствий в случае возникновения пожаров в них, а также выяснить причины повышенной опасности (например, недостаточное разделение резервируемого оборудования, возможность распространения пожара через различные неплотности, повреждение оборудования, критического с точки зрения выполнения функций безопасности, и т.п.).

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ВАБ ПОЖАРОВ 5 БЛОКА НВАЭС

В рамках ВАБ 5 блока НВАЭС был выполнен полномасштабный анализ всех задач, упомянутых выше. Результаты проведенного исследования были задокументированы в форме основного отчета и приложений к нему.

Оцененное значение показателя частоты повреждения активной зоны для 5 блока НВАЭС равно $6.2E-4$ /реактор-год, что сравнимо с показателем ЧПЗ для внутренних ИС ($6.9E-4$ /реактор-год). Результаты анализа неопределенности показывают, что оцененное значение лежит в диапазоне от $1.1E-3$ (95% граница доверительного интервала) до $2.2E-4$ (5% граница доверительного интервала). Распределение вкладчиков в риск от пожаров для различных групп сценариев пожаров в помещениях АС представлено на рис.2, из которого видно, что наибольший вклад в ЧПЗ вносят сценарии пожаров на БЩУ, в помещениях устройств логического управления и РЩУ. Этот вклад обусловлен, в основном, конструктивными особенностями управляющих схем оборудования, для которых, вследствие пожара вероятно возникновение ложного сигнала при замыканиях в контурах управления, расположенных в этих помещениях. Значительная часть ЧПЗ от пожаров на блочном щите управления обусловлена пожаром на панелях систем безопасности. Три панели систем безопасности расположены рядом друг с другом и не разделены боковыми перегородками, как другие панели и пульта управления на БЩУ. Моделирование пожара с помощью кода COMPBRN [6] показало, что соседняя панель в случае возгорания может повредиться уже через 3 мин. Учитывая этот результат, в качестве базового сценария был принят сценарий пожара с потерей трех каналов систем безопасности в случае возгорания на одной из панелей систем безопасности. Вклад этого сценария оказался достаточно значительным.

Следующей по значимости является группа сценариев пожаров в машинном зале, сопровождающихся горением масла и водорода. Вклад этой группы во многом обусловлен тяжелыми пожарами, приводящими к обрушению кровли машинного зала и массовому повреждению оборудования второго контура с возможной потерей функции расхолаживания через второй контур.

Достаточно большой вклад в оцененную ЧПЗ для 5 блока НВАЭС внесли сценарии пожаров в кабельных тоннелях и шахтах. Для некоторых кабельных шахт было выявле-

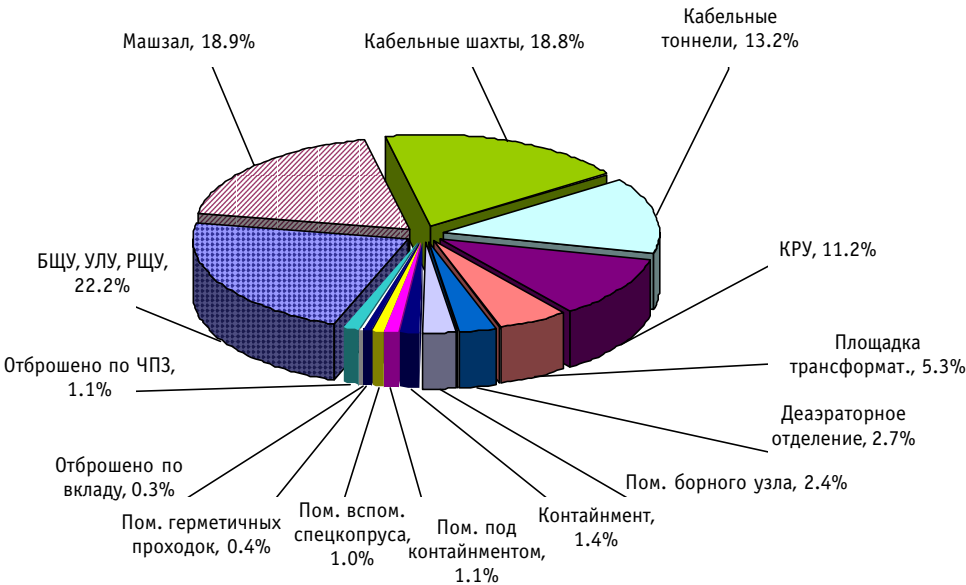


Рис.2. Процентный вклад различных групп сценариев пожара в общую оценку ЧПЗ

но, что кабели оборудования, важного с точки зрения безопасности, расположены в одной и той же шахте. Конструктивные особенности управляющих схем, для которых вероятно возникновения ложного сигнала при замыканиях в контуре управления в случае пожара, также явились причиной сравнительно высокого вклада в риск для ряда сценариев.

Риск от сценариев пожаров на открытой площадке трансформаторов, расположенных недалеко от стены машинного зала, имеющей значительные оконные проемы, обусловлен сценарием взрыва трансформатора и возможным распространением пожара внутрь машинного зала в случае повреждения маслобаков, установленных на стене.

Следует подчеркнуть, что значения относительно высокого вклада в ЧПЗ для ряда сценариев, например, сценариев пожара в помещениях комплектных распределительных устройств (КРУ), обусловлены частотами событий пожаров, которые оценивались на основе статистических данных по инцидентам, связанным с пожарами. При анализе статистических данных и при оценке частот использовался консервативный подход. Консервативный подход использовался также при недостатке или отсутствии необходимой информации. В частности, при анализе сценариев пожара в кабельных тоннелях, в тех случаях, когда отсутствовала информация по расположению кабелей оборудования в лотках, принимался ряд консервативных допущений о возможности повреждения критического набора оборудования. Для оценки влияния консервативных допущений и данных был проведен анализ чувствительности результатов, который показал, что, в целом, неопределенность, связанная с неточностью знания, покрывается диапазоном параметрической неопределенности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проекта СВИСПРУС специалистами НТЦ ЯРБ и НВАЭС был выполнен полномасштабный ВАБ пожаров 5 блока НВАЭС. В процессе работы были развиты методологические аспекты ВАБ пожаров с учетом специфических особенностей российских АС. Получены качественные и количественные результаты, позволяющие выявить помещения АС, являющиеся наиболее уязвимыми с точки зрения опасности нежелательных последствий в случае возникновения пожаров, а также выяснить причины повышенной опасности. Полученные результаты будут детально проанализированы и использованы НВАЭС при разработке мероприятий по повышению безопасности 5 блока.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят г-на Шмокера и г-на Чакраборти из регулирующего органа Швейцарии, г-на Адамчика из Госатомнадзора РФ и г-на Викина (НВАЭС), за всестороннюю поддержку данного исследования в течение всего времени выполнения проекта СВИСПРУС. Авторы выражают также благодарность д-ру Хатиб-Рахбару (ERI, US) и д-ру Казаринсу (Kazarians & Associates, US) за эффективную экспертную поддержку, г-ну Смутневу и г-ну Панкову (НВАЭС) за активную помощь в выполнении данной работы.

Литература

1. Lioubarski, I. Kouzmina et al. Project SWISRUS. Novovoronezh Unit 5 Probabilistic Safety Assessment: Final Report, Part I: Level-1 Internal Initiating Events // Scientific and Engineering Center for Nuclear and Radiation Safety of the Federal Nuclear Safety Authority of Russia, SWISRUS-99-001, Moscow, December 1999.
2. Lioubarski, Kouzmina, et al. Probabilistic Safety Analysis of Novovoronezh-5; The level-1 Study Overview and Findings // Atomwirtschaft. - 1997. - V. 42. - №. 11. - P. 701 – 705.
3. Treatment of Internal Fires in Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants // International Atomic Energy Agency. Safety Series. – 1998. - № 10.

4. Kazarians, M., Siu N.O., and Apostolakis G. Risk Analysis for Nuclear Power Plants: Methodological Developments and Applications // Risk Analysis. - March 1985. - V. 5. - № 1.
5. Kazarians, M., and G. Apostolakis, Fire Risk Analysis for Nuclear Power Plants//NUREG/CR-2258, UCLA-ENG-8102, U.S. Nuclear Regulatory Commission, September 1981.
6. COMPBRN – A Computer Code for Modeling Compartment Fires//NUREG/CR-3239, UCLA-ENG-8257.

Поступила в редакцию 16.01.2001

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.311.25:621.039.56

Program Complex DINA-I for VVER Main Circulation Pumps Diagnostics Based on Technological Monitoring Data Analysis \ S. T. Leskin, D. G. Zarjugin; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. – 10 pages, 5 illustrations, 4 tables. – References, 3 titles.

The program complex for main circulation pumps (MCP) diagnostics (DINA-1) based on technological monitoring data analysis is developed. The results of the analysis of the fifth block Novovoronezh NPP and the first block Kalinin NPP MCP conditions are presented. The program complex is able to recognize an anomaly of MCP, when measured parameters of pumps do not exceed limits of normal operating.

УДК 621.311.25:621.039.58

Recommendations on Increasing Plant Safety Modifications Based on Novovoronezh NPP (unit 5) Level 1 Probabilistic Safety Analysis Results \ A. V. Lioubarski, I. B. Kouzmina, D. E. Noskov, B. G. Gordon, V. N. Rozine; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. – 7 pages, 2 illustrations, 1 table. – References, 11 titles.

The paper presents the results of level 1 internal events probabilistic safety analysis (PSA) for unit 5 of Novovoronezh NPP performed within the framework of the international project SWISRUS. The PSA results allow to identify different design features and operational aspects which are the most vulnerable for plant safety. It is discussed the measures on increasing the safety based on PSA results which have been implemented or planned to be implemented at the plant. It is shown that PSA allows to provide quantitative estimation of influence of identified defects on plant safety and to develop the modification program for unit 5.

УДК 621.311.25:621.039.58

Methodology and Main Results of Level 2 Probabilistic Safety Analysis for Unit 5 of Novovoronezh NPP \ D. E. Noskov, A. V. Lioubarski, I. B. Kouzmina, B. G. Gordon, V. N. Rozine; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. – 5 pages, 2 illustrations, 1 table. – References, 4 titles.

The paper presents brief methodology of level 2 probabilistic safety analysis (PSA) for internal initial events of Novovoronezh Unit 5 performed within the framework of SWISRUS Project and main results obtained. The Level 2 PSA results provides the possibility to identify main types of containment failure and radioactive releases into environment.

УДК 621.311.25:621.039.58

Methodology Aspects and Results of Fire Probabilistic Safety Analysis for Unit 5 of Novovoronezh NPP \ I. B. Kouzmina, A. V. Lioubarski, D. E. Noskov, B. G. Gordon, V. N. Rozine; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. – 6 pages, 2 illustrations. – References, 6 titles.

The paper presents methodology aspects and preliminary results of internal fire probabilistic safety analysis (PSA) level 1 study for Unit 5 of the Novovoronezh NPP performed under the international project SWISRUS. It is discussed dominant contributors to the risk from internal fires for the researched plant unit and reasons causing estimated values of risk. It is shown that the risk associated with fires could be significant and comparable to the risk of internal initiated events. This indicates necessity of PSA fires for NPP units and accounting the results obtained when developing the safety-related modernization programs.

УДК 51-72:621.039.53

Estimation of Lifetime and Residual Lifetime Prognosis of Nuclear Power Plant Constructional Elements \ Y. G. Korotkih, O. S. Kopjeva; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2001. – 8 pages, 4 illustrations, 1 table. – References, 4 titles.