

Анализ влияния пожаров и их последствий на безопасный останов реакторной установки ВВЭР-1000 (В-320)

К.т.н. В.Б. Морозов, к.т.н. Г.В. Токмачев, А.Ю. Журавлев (ФГУП "Атомэнергопроект")

3-я научно-техническая конференция

“ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС С ВВЭР”, Подольск, 26-30 мая 2003 г.

Сборник трудов. Том 6. Стр. 154-167

1 ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с «Положением о лицензировании деятельности в области использования атомной энергии» [1], в состав документов, представляемых в ГАН РФ эксплуатирующими организациями для получения лицензий на эксплуатацию энергоблоков АЭС, должны быть включены отчеты по противопожарной защите с анализом влияния пожаров на выполнение функций безопасности, которые должны содержать информацию о реализации мероприятий по устранению недостатков, выявленных при анализе. Для удовлетворения этого требования была разработана методика выполнения такого анализа и был проведен анализ пожарной опасности, проанализированы пути безопасного останова энергоблока и определен количественный вклад пожаров в частоту повреждения активной зоны реактора ВВЭР-1000 (проект В-320). Объектами исследования в разное время были 1-й и 4-й энергоблоки Балаковской АЭС.

Исследование преследовало следующие цели:

- выявление наиболее важных факторов, влияющих на последствия пожара;
- повышение эффективности средств, обеспечивающих безопасный останов АЭС при пожаре.

В рамках проведенной работы были решены следующие задачи:

- исследованы и обобщены существующие подходы к анализу пожарной опасности АЭС, разработана методика анализа безопасного останова;
- определены функции безопасного останова, выполняющие их системы и оборудование;
- выполнен детальный анализ пространственного расположения пожароопасного оборудования, определена пожарная нагрузка помещений, в том числе от проложенных в них кабельных трасс;
- выполнен анализ размещения в помещениях АЭС электроприводного тепломеханического оборудования, электрооборудования, оборудования КИПиА, а также контрольных и силовых кабелей, которые могут быть использованы для безопасной остановки энергоблока или являться причиной исходных событий аварий;
- проведен анализ активных и пассивных мер противопожарной защиты помещений АЭС, предусмотренных проектом;
- определены пожарные отсеки, в границах которых может быть выполнена локализация пожаров;
- с целью подтверждения корректности определения границ отсеков для протяженных помещений, выполнено теплофизическое моделирование процесса развития крупномасштабного пожара в турбинном зале и его воздействия на

строительные конструкции и оборудование, а также моделирование развития пожара в кабельных коридорах I, II и III систем, т.е. различных каналов систем безопасности;

- проведена идентификация возможных нефункционально связанных (ассоциированных) цепей, которые могут привести к распространению пожара за границы отсеков, в которых постулируется его возникновение, или вызвать дополнительные отказы элементов вне этих отсеков;
- выполнено моделирование возможных сценариев развития переходных и аварийных процессов энергоблока вследствие пожаров в отсеках, определены технологические последствия пожаров в терминах зависимых от пожара исходных событий и отказов в системах АЭС;
- проведен анализ эксплуатационных данных по возгораниям и пожарам на АЭС с ВВЭР-1000, эксплуатирующихся в России и на Украине, выполнена оценка частот возникновения пожаров в пожарных отсеках и оценка частот реализации рассматриваемых аварийных сценариев;
- выполнена классификация последствий для значимых по вероятности сценариев с точки зрения возможности повреждения активной зоны реактора, определены аварийные последовательности, ведущие к указанному последствию, и выполнена оценка их частот.

Разработка моделей аварийных сценариев, вызванных пожарами в отсеках, и классификация их последствий проводилась с использованием результатов вероятностного анализа безопасности 1-го и 4-го энергоблока Балаковской АЭС. Были определены доминирующие с точки зрения вклада в частоту повреждения активной зоны пожарные отсеки и отдельные аварийные пожарные сценарии, а также предложены различные варианты корректирующих мер, направленных на повышение безопасности.

Опыт, накопленный в процессе исследования 4-го энергоблока Балаковской АЭС показал, что при выполнении анализа безопасного останова используется большой объем технической информации по характеристикам оборудования и строительных конструкций. Задача обобщения, систематизации и анализа этой информации может быть успешно решена с помощью системы управления базами данных, в конечном счёте, повышающих качество и эффективность анализа. Практическая польза от разработки указанных баз данных совместно с проведением анализа безопасного останова состоит в том, что на их основе легко может быть прослежено влияние на безопасность любых конкретных мероприятий, планируемых к внедрению на блоке.

Исходя из этих предпосылок, в процессе анализа 1-го энергоблока Балаковской АЭС была осуществлена разработка базы данных для анализа пожаров.

Ниже подробно изложены существующие подходы к исследованию пожарной опасности АЭС и принятая методика проведения анализа безопасного останова, приведены основные результаты анализов для 1-го и 4-го энергоблоков Балаковской АЭС и представлена информация по структуре типовой базы данных, разработанной в институте Атомэнергопроект, по характеристикам пожарной опасности блока АЭС.

2 МЕТОДИКА АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОГО ОСТАНОВА

В настоящее время существует два базовых подхода (детерминистический и ВАБ) к оценке влияния пожаров на безопасность АЭС.

При детерминистическом подходе [2] составляется перечень ответственных, изолированных в пожарном отношении, помещений в зданиях АЭС с точки зрения

расположения в них оборудования и кабелей систем безопасности и некоторых систем нормальной эксплуатации, используемых для остановки и расхолаживания энергоблока. Исследуется наличие пути безопасного останова блока при постулировании отказа оборудования в данных помещениях вследствие пожара. Также определяется приведённая пожарная нагрузка ответственных помещений АЭС, которая сравнивается с фактической огнестойкостью элементов ограждений рассматриваемых изолированных помещений (пожарных отсеков). Если последняя недостаточна, постулируется распространение пожара в соседние помещения, и наличие пути безопасного останова проверяется для более крупных отсеков и т.д.. Если на каком-то шаге выявляется отсутствие пути безопасного останова, идентифицируется проблема, для решения которой разрабатываются соответствующие мероприятия.

Недостатком описанного подхода является отсутствие объективных количественных критериев оценки влияния пожаров на безопасность АЭС, вследствие чего перечень мероприятий по устранению недостатков может стать чрезмерно обширным и даже (для энергоблоков, построенных по старым проектам) практически нереализуемым. Необходимо также отметить, что большинство предлагаемых мероприятий в этом случае не окажет значимого влияния на фактический уровень безопасности АЭС, но среди них могут затеряться действительно важные, реализация которых должна быть выполнена в возможно более короткие сроки.

Детерминистическому подходу к анализу пожарной опасности присущ ряд ограничений. Основными из них являются следующие. При анализе помещений предполагается, что при возникновении в них пожаров реализуется требование на выполнение всех функций безопасного останова и постулируется повреждение всего располагаемого в помещениях оборудования, за исключением пассивных компонентов, не требующих для своей работы подвода какой-либо энергии. Однако, в ряде случаев пожар не приводит к необходимости срочной остановки энергоблока, а в некоторых других случаях несмотря на полную или частичную потерю функций систем безопасности, расхолаживание энергоблока может быть обеспечено работой систем нормальной эксплуатации.

Перечисленные примеры характеризуют консервативные ограничения детерминистического подхода, т.е. действующие в запас безопасности. Однако, имеются также ограничения другого рода, которые могут привести к недооценке степени последствий пожаров. Примером ограничений этого типа является нечувствительность метода к ситуациям, когда при пожаре возникает комбинация нескольких исходных событий, приводящих к запроектной аварии. Такие случаи реально могут внести существенный вклад в риск от пожаров.

Альтернативный подход к исследованию влияния пожаров на безопасность АЭС предусматривает выполнение вероятностного анализа безопасности (ВАБ) [3]. Указанный анализ представляет собой комплексную оценку вклада пожаров на АЭС в частоту тяжелого повреждения активной зоны реактора. ВАБ в силу комплексности подхода является более глубоким и одновременно системным инструментом анализа пожарной опасности и оценки последствий пожаров. Он, в принципе, позволяет определить полный перечень факторов (отражающих специфические свойства проекта АЭС), в наибольшей степени влияющих на величину частоты тяжелого повреждения активной зоны, а также произвести их ранжирование по данному критерию. Преимуществом ВАБа является независимость результатов от какой-либо субъективно принятой шкалы оценок последствий, что, напротив, характерно для детерминистического анализа.

Таким образом, учитывая ограниченность ресурсов на проведение исследования пожарной опасности, наиболее адекватная и эффективная оценка влияния пожаров на безопасность АЭС может быть получена путем разумного сочетания обоих упомянутых подходов. Методология, использованная для проведения анализа пожарной опасности,

включает в себя элементы детерминистического подхода к анализу безопасного останова доработанные с учетом методов вероятностного анализа безопасности [3].

Основные положения и допущения принятой для анализа методики состоят в следующем:

1. Влияние пожаров в отдельных пожарных отсеках на безопасность АЭС характеризуется вкладом пожаров в вероятностный показатель риска - частоту тяжелого повреждения активной зоны реактора, которая определяется для исходного состояния, соответствующего работе энергоблока на мощности.
2. Для определения вклада в значение частоты повреждения активной зоны реактора от пожаров в помещениях применяются вероятностно-логические модели, основу которых составляют деревья событий, деревья отказов и база данных по надежности элементов, разработанные в рамках ВАБ для внутренних исходных событий [4].
3. Пожарные отсеки определяются как отдельные помещения, совокупности помещений или территории, которые ограничены барьерами с достаточной огнестойкостью или отделены от других ближайших потенциальных очагов пожара пространством, свободным от горючих материалов с расстоянием не менее 6,2 м. При этом под достаточной в анализе понималась огнестойкость ограждений не менее 1,5 ч или огнестойкость не менее 0,75 ч при наличии в помещениях пожарного отсека системы автоматического пожаротушения.
4. Отбор пожарных отсеков для анализа безопасного останова проводился на основании совместного рассмотрения частоты возникновения пожара в отсеке, типов вызываемых пожаром исходных событий и перечня повреждаемого при пожаре оборудования систем, используемых для безопасного останова энергоблока.
5. Значения частот пожаров в помещениях АЭС определялись на основе анализа эксплуатационной информации об имевших место возгораниях и их прямых последствиях на АЭС с ВВЭР-1000, расположенных на территории России и Украины.
6. Последствия пожаров, с точки зрения их влияния на работу АЭС, определялись в предположении отказа всего оборудования, находящегося в зоне действия пожара, за исключением пассивных тепломеханических элементов (баков, сосудов, трубопроводов, теплообменников, обратных клапанов). Принималось также, что элементы ограждения пожарных отсеков (стены, перекрытия, проходки, двери) не повреждаются, если они обладают достаточной огнестойкостью. В противном случае постулировалось распространение пожара на примыкающие помещения. Исключением из этого правила являлось моделирование пожаров в наиболее ответственных отсеках, например, в районе расположения турбины, где последствия определяются на основании специального расчета тепловых нагрузок.
7. Дополнительно к потере работоспособности оборудования, непосредственно находящегося в рассматриваемом отсеке, а также оборудования, функционально от него зависящего, в анализе моделировались отказы, происхождение которых может быть обусловлено наличием нефункционально связанных цепей. При этом последствия одного из видов подобных отказов (ложной наводки напряжения, или «горячих» замыканий) анализировались как в отношении формирования перечня исходных событий, вызванных пожаром, так и с целью определения возможных путей развития аварии на энергоблоке.
8. В анализе не рассматривались сценарии, реализующиеся при возникновении независимых от пожара событий следующего характера:
 - отказе системы пожаротушения;
 - отказе автоматически срабатывающих элементов ограждения (дверей и огнезадерживающих клапанов);

- отказе элементов релейной защиты от коротких замыканий.

Указанные допущения обусловлены малыми вероятностями описанных выше событий и отвечают принципам анализа, изложенным в методике [2].

9. В анализе принят количественный критерий, позволяющий исключать из рассмотрения целиком отсеки (характеризующиеся частотой пожаров не выше 10^{-7} 1/год) или отдельные сценарии развития пожаров в указанных отсеках. К числу моделируемых (т.е. не исключаемых в соответствии с вероятностным критерием) сценариев пожаров относятся:
 - сценарии, приводящие к возникновению вторичных исходных событий и характеризующиеся частотой не ниже 10^{-5} 1/год;
 - сценарии с частотой от 10^{-6} 1/год до 10^{-5} 1/год, если они приводят к исходным событиям и отвечают дополнительным условиям, касающимся высокой пожарной нагрузки отсеков и наличия источников возгораний;
 - сценарии пожаров в отдельных отсеках с частотой от 10^{-7} 1/год до 10^{-6} 1/год, если в отсеках расположено оборудование или кабельные трассы более, чем одного канала системы безопасности.
10. Анализ наличия путей безопасного останова в соответствии с принципами, сформулированными в [2], проводится для всех отобранных отсеков и всех моделируемых сценариев пожаров (т.е. тех, которые не были исключены на основании критериев из пункта 9).
11. Перечень ослабленных мест проекта, в наибольшей степени определяющих риск от пожаров, составлялся на основе совместного рассмотрения результатов, полученных в рамках анализа путей безопасного останова и оценки вклада пожаров в частоту повреждения активной зоны реактора. Результаты анализов значимости и чувствительности, которые выполнялись как составная часть оценки частоты повреждения активной зоны реактора, использовались для приоритизации найденных «уязвимостей» с точки зрения возможного выигрыша в снижении риска после их устранения.

Изложенный выше подход по существу объединяет вероятностный и детерминистический методы анализа, сохраняя преимущества каждого из них. При этом следует подчеркнуть, что, в отличие от традиционного детерминистического анализа безопасного останова, определение последствий пожаров и поиск путей безопасного останова в соответствии с данным подходом производится на более глубокой основе с привлечением моделей ВАБ.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗОВ БЕЗОПАСНОГО ОСТАНОВА ДЛЯ 1-ГО И 4-ГО ЭНЕРГБЛОКОВ БАЛАКОВСКОЙ АЭС

При проведении анализов были получены следующие основные результаты:

1. На основании анализа размещения потенциальных источников пожара и материалов, поддерживающих горение, а также пожаростойких барьеров и средств автоматического пожаротушения, было определено для каждого энергоблока около 150 пожарных отсеков, составленных из помещений энергоблока. Наличие источников возгораний, горючих материалов, оборудования систем, выполняющих функции безопасного останова, а также оборудования, отказы которого приводят к исходным событиям аварии, являлось основным фактором при отборе помещений. Для доказательства корректности определения границ ряда пожарных отсеков проведено теплофизическое моделирование развития пожара. Такие расчеты были выполнены для машзала (пожар на турбине, сопровождающийся горением масла) и кабельного коридора, примыкающего к помещениям всех трех каналов системы безопасности. Для оценки возможности распространения пожара за пределы пожарных

отсеков или возникновения более тяжелых последствий, обусловленных дополнительными отказами оборудования, проведен анализ событий, которые могут быть связаны с наличием ассоциированных цепей, а именно:

- вторичных возгораний трансформаторов тока,
- неселективного функционирования выключателей при коротких замыканиях или замыканиях на промежуточную нагрузку,
- распространения пожара по кабельным трассам через неогнестойкие проходки.

Для каждого пожарного отсека оценены частоты возникновения пожаров на основании анализа опыта эксплуатации АЭС с ВВЭР-1000 в России и на Украине, а также распределения пожарной нагрузки среди помещений.

2. На основании анализа эксплуатационной документации и проектно-конструкторских решений, включая размещение важного для безопасности оборудования и трассировку силовых и контрольных кабелей, определены исходные события, возможные в результате пожара в каждом пожарном отсеке, функции безопасности, выполнение которых необходимо для приведения энергоблока в безопасное состояние при различных исходных событиях, и оборудование, выполняющее эти функции. При этом под безопасным состоянием энергоблока понималось или состояние горячего останова, при котором отвод остаточных тепловыделений может стабильно поддерживаться в течение 24 часов предусмотренными в проекте системами без экстренных действий оперативного персонала по переключению оборудования, или состояние расхиленного энергоблока. Ниже перечислены группы исходных событий, которые могут возникнуть по отдельности или в сочетаниях вследствие пожара:

- останов реактора;
- нарушения нормального отвода тепла через 2-й контур в различных конфигурациях;
- течь из первого контура через уплотнение главных циркуляционных насосов;
- межсистемная течь из первого контура;
- отключение главных циркуляционных насосов;
- открытие предохранительных клапанов компенсатора давления;
- открытие паросбросных клапанов БРУ-А или предохранительных клапанов парогенераторов.

3. На основании анализа компоновки оборудования и трассировки кабелей определен перечень оборудования важного для безопасности, повреждаемого при пожаре в каждом отсеке, а на основании анализа видов отказов оборудования определены сценарии развития аварии, инициируемой пожаром, в том числе из-за коротких замыканий, обрывов и «горячих» замыканий силовых и контрольных кабелей, приводящих к отключению или ложному срабатыванию оборудования. При выборе моделируемых сценариев развития пожаров в отсеках применялся консервативный подход, который обеспечивает рассмотрение наиболее тяжелого протекания аварии. В тех случаях, когда выбор наиболее тяжелого сценария из нескольких возможных представлялся затруднительным, рассматривались альтернативные сценарии, каждому из которых отвечала определенная условная вероятность реализации. Разработан перечень систем и компонентов, выполняющих функции безопасного останова при пожаре, и проведен анализ их отказов.

4. Разработаны вероятностные модели поведения энергоблоков, которые были использованы для проведения количественной оценки частоты повреждения активной зоны при пожаре, которая составила $2,2 \cdot 10^{-5}$ 1/год для 4-го энергоблока и $6,6 \cdot 10^{-6}$ 1/год для 1-го энергоблока.

Вероятностные оценки позволили идентифицировать наиболее значимые уязвимые места энергоблоков в отношении пожара.

5. Качественный и количественный анализ сценариев развития пожара позволил определить следующие уязвимости на 4-м энергоблоке:

- помещение, где возможно возникновение запроектных аварий при пожаре;
- машинный зал в районе площадки обслуживания турбины, где пожар, имеющий высокую частоту возникновения, может привести к частичному обрушению кровли;
- некоторые кабельные коридоры, где в случае нарушения границ пожарного отсека возможны катастрофические последствия при распространении пожара в некоторые смежные помещения;
- помещения управляющих устройств УКТС.

Значимый вклад в величину риска вносят также:

- ряд кабельных шахт и полуэтажей;
- помещения датчиков КИП;
- помещения несистемных комплектных распределительных устройств и агрегата бесперебойного питания.

6. На основании результатов анализа для снижения пожарной опасности на 4-м энергоблоке Балаковской АЭС были реализованы следующие мероприятия:

- Проведено обследование ряда кабельных коридоров на 4-м энергоблоке Балаковской АЭС с целью проверки наличия в них и огнестойкости секционирующих дверей, а также огнестойкости дверей в смежных помещениях. Были установлены дополнительные секционирующие двери с огнестойкостью 0,75 ч.
- Стенды контрольно-измерительных приборов и основные кабельные трассы были вынесены из помещения паропроводов (А-820), для оставшихся кабельных трасс была усилена изоляция.
- Усилена изоляция всех кабельных трасс в одном из кабельных полуэтажей.
- Для увеличения огнестойкости несущих конструкций, ферм и колонн машзала (до 0,75 ч) применены огнезащитные покрытия. Покрытию подверглись все несущие фермы, верхний и нижний пояс, раскосы, стойки, связи между фермами.

7. Качественный и количественный анализ сценариев развития пожара позволил определить следующие уязвимости на 1-м энергоблоке:

- Наибольший вклад в частоту ПАЗ вносят пожары в помещениях УКТС СБ-2 АЭ408/2 и помещении кабельного этажа СБ-2, которые по определенному сценарию приводят к отказу оборудования в двух каналах систем безопасности.
- Помещение А-820, которое было доминантным вкладчиком в частоту ПАЗ по результатам анализа 4-го энергоблока, в силу реализованного решения по переносу стендов КИП, по результатам настоящего анализа уже не является доминантным вкладчиком в риск.

8. По результатам анализа 1-го энергоблока можно предложить для АЭС с ВВЭР-1000 (В-320) следующие мероприятия по снижению риска от пожаров в порядке их значимости:

- В помещении УКТС второго канала СБ и в кабельном полуэтаже под этим помещением формируются и проходят сигналы по управлению БРУ-А 2-го и 3-го ПГ. Необходимо проработать проектное решение, предусматривающее исключение возможности возникновения аварийного сценария с не посадкой паро-сбросных устройств второго канала СБ на двух ПГ.
- В помещении паро-сбросных устройств А-820 расположены БРУ-А и ИПУ ПГ всех четырех парогенераторов и питающие их кабели. В настоящем анализе принято, что с учётом протяжённости и небольшой пожарной нагрузки помещения воздействие пожара ограничено оборудованием, относящимся к одному ПГ. Однако для надёжной гарантии нераспространения пожара на всё помещение может быть рекомендовано повысить до 1,5 ч. огнестойкость изоляции кабельных трасс 2229 и 2225 в помещении А-820 между осями Б и Г.
- Чтобы исключить возможность распространения пожара из кабельных коридоров А017, А121 и А326 в прилегающие помещения рекомендуется провести детальное обследование указанных помещений на всех энергоблоках Балаковской АЭС с целью определения огнестойкости и технического состояния секционирующих дверей в указанных кабельных коридорах и огнестойкости дверей в помещениях АК043/1, АК043/2, АК043/3, А123/1, А123/2, А123/3, А327/1, А327/2, А327/3, АК329/1, АК329/2, АК329/3, АК335. Обеспечить огнестойкость указанных дверей не менее 0.75 часа. При этом, учитывая критерии зонирования помещений, рекомендуется повышение огнестойкости до 1.5ч.

4 ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ РАБОТ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПРОВЕДЕНИЯ АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ АЭС ПРИ ПОЖАРЕ

Опыт, накопленный при проведении анализа безопасного останова для 4-го энергоблока Балаковской АЭС, показал, что при проведении подобных анализов используется большой объем исходной технической информации. Задача обобщения, систематизации и анализа этой информации может быть успешно решена с помощью системы управления базами данных.

В рамках проведения анализа для 1-го энергоблока Балаковской АЭС в институте Атомэнергопроект была разработана база данных, которая позволяет повысить эффективность проведения анализа безопасности АЭС при пожаре. База данных решает следующие задачи:

- отбор помещений АЭС, содержащих потенциальные источники возгорания или горючие материалы, а также оборудование систем важных для безопасности (СВБ);
- оценка частот пожаров в отсеках;
- анализ кабельных трасс;
- определение повреждаемого при пожаре оборудования и кабелей;
- подготовка исходной информации для математического моделирования распространения пожаров;
- расчет требуемой огнестойкости ограждающих конструкций.

Для создания базы данных использовался программный продукт Microsoft Access. База данных состоит из нескольких связанных между собой таблиц, запросов, экранных форм и отчетов для печати. Наполнение базы данных исходной проектной информацией – это самый первый и трудоемкий этап анализа. Однако, высокие трудозатраты на данном этапе компенсируются на следующих этапах анализа за счет быстрой и эффективной обработки информации, ее обновления, анализа и поиска. На рисунке 4-1 приведена главная кнопочная панель «Базы данных для анализа пожаров», на которой размещены кнопки, при нажатии которых открываются формы по соответствующим основным разделам базы данных.

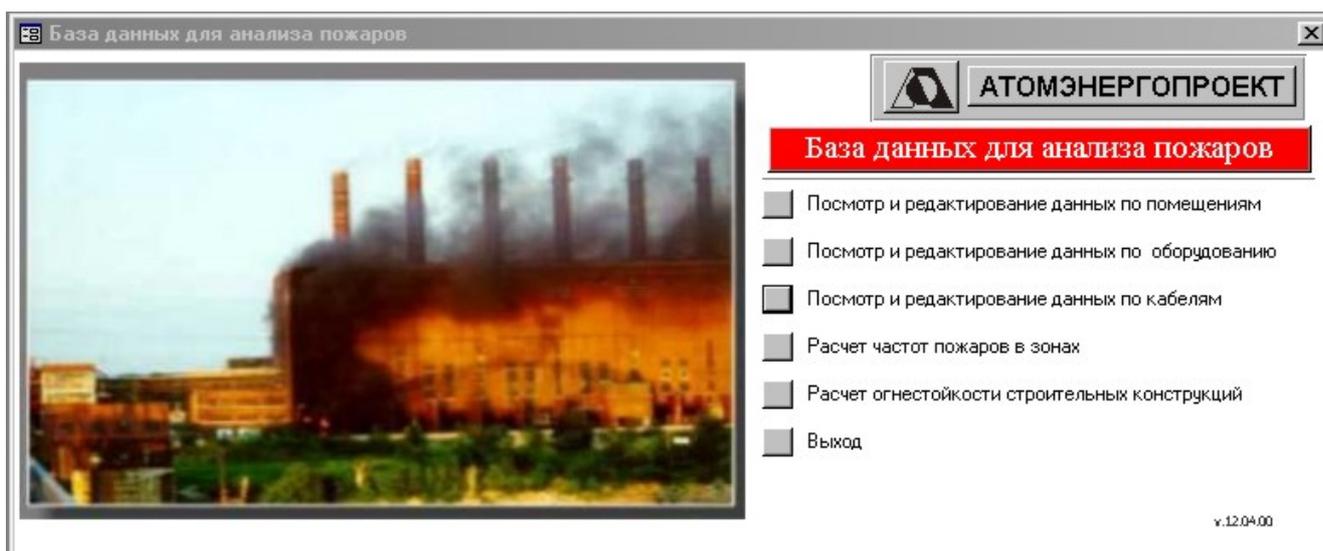


Рисунок 4-1 Главная кнопочная панель «Базы данных для анализа пожаров»

Для всех помещений расположенных в зданиях, отобранных для анализа, в базу данных вводится информация, включающая в себя:

- характеристики помещений (маркировка, наименование, площадь, отметка);

- характеристики контура ограждающих конструкций (огнестойкость стен и перекрытий, наличие противопожарных дверей и огнезадерживающих клапанов в вентиляционных проходках и др.);
- расположение оборудования важного для безопасности или необходимого для осуществления безопасного останова энергоблока и его характеристики (тип оборудования, наименование, маркировка, количество и др.);
- расположение потенциальных источников возгораний и величина пожарной нагрузки;
- трассировка и функциональное назначение контрольных и силовых кабелей, которые могут быть использованы для безопасной остановки энергоблока или являться причиной исходных событий аварий, и др.

Для ввода информации по характеристикам помещения и его ограждающих конструкций используется форма, изображенная на рисунке 4-2.

Рисунок 4-2 Экранная форма для ввода информации по характеристикам помещения и его ограждающих конструкций

На основе имеющихся характеристик помещений и предварительной оценки последствий пожаров производится формирование пожарных отсеков, которые, как правило, представляют собой одно или несколько помещений, ограниченных огнестойкими ограждающими конструкциями (строительными конструкциями, дверями и люками, электрическими и трубными проходками, огнезадерживающими вентиляционными клапанами). В базе данных помещениям присваивается маркировка отсека, к которой они относятся.

Для ввода информации по технологическому оборудованию, расположенному в соответствующем помещении предназначена экранная форма образец которой представлен на рисунке 4-3.

Оборудование

АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ База данных для анализа пожаров

Маркировка помещения: A038/1 Пожарный отсек: A0F03

Выберите помещение: A038/1

Наименование помещения: Помещение аварийного питательного насоса

Добавить новое помещение

← →

Закреть форму

Масса кабеля: 20

Оборудование:

| Тип оборудования | Наименование | Маркировка | Количество | Выполняет ФБО | Отказ приводит к ИС |
|------------------|-----------------------------|------------|------------|-------------------------------------|--------------------------|
| ▶ Прочее | Арматура с электроприводом | TX10S04,05 | 2 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Насос (>1 кВ) | Аварийный питательный насос | TX10D01 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Насос (<1 кВ) | Вентилятор | UV05D01 | 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| * | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Record: 1 of 3

Record: 4 of 356

Рисунок 4-3 Экранная форма для ввода информации по технологическому оборудованию

Средствами базы данных может быть выполнен анализ информации по оборудованию и осуществлен выбор помещений АЭС (или пожарных отсеков), содержащих потенциальные источники возгорания или горючие материалы, а также оборудование систем важных для безопасности (СВБ), повреждение которого приводит к исходным событиям аварий либо к нарушениям функций безопасности. В процессе такого отбора помещения, не обладающие ни одним из перечисленных выше признаков, исключаются из дальнейшего рассмотрения.

Отдельная форма базы данных предназначена для оценки частоты пожаров в отсеках. Оценка частоты пожаров в отсеках основывается на частотах возникновения пожаров, связанных с определенным типом потенциальных источников и количестве данных источников в соответствующем пожарном отсеке. Учитываются следующие типы потенциальных источников:

- кабель;
- выключатель;
- дизель-генератор;
- шкаф автоматики, панель управления;
- инвертор;
- маслобак;
- шкаф КРУ, секция РТЗО;
- насос (≤ 1 кВ);
- насос (> 1 кВ);
- трансформатор;
- вентилятор;
- тиристор;
- выпрямитель;
- арматура с э/п;
- турбогенератор.

Перемещаемые источники возгорания, включающие в себя все горючие материалы, которые не смонтированы и могут быть перемещены из отсека в отсек в результате технического обслуживания, ремонта, уборки и т.п., также учитываются при оценке частоты

пожаров в отсеках. Суммарная частота пожара, вызванного возгоранием перемещаемых источников, определяется для всех помещений энергоблока, а затем распределяется между отсеками в соответствии с их относительными площадями. Кроме того, частота возгорания в отсеке зависит от степени ее посещаемости, что учитывается коэффициентом посещаемости $K_{обсл}$.

Частота возгорания заносится в базу данных по результатам оценки частот пожаров на основе эксплуатационных данных для АЭС и мирового опыта.

Для оценки частот пожаров, инициируемых возгораниями электрооборудования и маслооборудования, была обработана информация по всем 18 энергоблокам с реакторами ВВЭР-1000, эксплуатирующимся в России и бывшем Советском Союзе. Информация была собрана за период с 1 января 1996 года по 31 декабря 1999 года. Длительность наблюдения составила 201,8 календарных лет, из которых 140,4 лет работы энергоблоков на мощности. Всего было зафиксировано 23 возгорания, 2 из которых перешли в значительные пожары. На АЭС с ВВЭР-1000 не зарегистрировано пожаров и возгораний, обусловленным перемещаемыми источниками. Подобными источниками пожаров могут быть сварочное оборудование при выполнении ремонтных работ, легко воспламеняющиеся материалы (например, промасленная ветошь), временно устанавливаемое электрооборудование и др. Следует отметить, что частота возгораний, вызванных перемещаемыми источниками, наиболее сильно зависит не от конструктивных особенностей оборудования, а от качества выполнения противопожарных мероприятий во время эксплуатации АЭС, т.е. является специфической для условий эксплуатации конкретной АЭС. В настоящей момент для определения частот возгораний перемещаемых источников используются оценки по нулю событий на АЭС с ВВЭР-1000.

Использование базы данных позволяет быстро выполнять перерасчет частот пожаров в отсеках в случае изменения исходной информации. В таблице 4-1 приведён образец результатов расчета частот пожаров в двух отсеках. Как видно из этого примера, средства базы данных позволяют формировать таблицы, которые могут включать дополнительную информацию по пожарным отсекам (колонки «Исходное событие»; «Зависимые отказы оборудования»).

Таблица 4-1

| Пожарный отсек | Помещение, входящее в пожарный отсек | Наименование помещения | Частота пожара, 1/год | Исходное событие | Зависимые отказы оборудования |
|----------------|--------------------------------------|--|-----------------------|-------------------------|--|
| A01F01 | A018/1 | Помещение маслосистемы подпиточного насоса | 6,2E-04 | A3 по остановке 2-х ГЦН | маслонасос системы подпиточного насоса TK91D01, TK91D02; подпиточный насос TK21D02; предвключенный насос TK21D01; вентилреграт TL06D01 |
| | A019 | Помещение маслобака маслосистемы подпиточного насоса | | | |
| | A119 | Помещение подпиточного насоса | | | |
| A01F03 | A038/1 | Помещение аварийного питательного насоса | 1,60E-04 | - | аварийный питательный насос TX10D01; арматура с э/п TX10S04,05; вентилятор UV05D01 |

При необходимости суммарная частота пожара в отсеке может быть распределена по вкладкам от каждого источника возгорания (кабели, оборудование, перемещаемые источники), и получена общая частота пожаров для энергоблока, как это иллюстрирует приведенная на рисунке 4-4 экранная форма.

Частота пожаров по отсекам

АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ База данных для анализа пожаров

Частота пожара по источникам возгорания

| Пожарный отсек | Оборудование | Кабели | Перемещаемые источники | Суммарная частота пожара |
|----------------|--------------|----------|------------------------|--------------------------|
| E010F1 | 6,28E-06 | 2,61E-06 | 1,30E-06 | 1,02E-05 |
| E010F10 | 4,71E-06 | 5,22E-06 | 8,27E-07 | 1,08E-05 |
| E010F11 | 4,71E-06 | 5,22E-06 | 7,42E-07 | 1,07E-05 |
| E010F12 | 6,28E-06 | 3,73E-06 | 1,65E-06 | 1,17E-05 |
| E010F13 | 6,28E-06 | 7,46E-06 | 1,90E-06 | 1,56E-05 |
| E010F14 | 9,42E-06 | 3,73E-06 | 1,98E-06 | 1,51E-05 |
| E010F15 | 6,28E-06 | 7,46E-06 | 1,80E-06 | 1,55E-05 |
| E010F16 | 6,28E-06 | 7,46E-06 | 1,80E-06 | 1,55E-05 |
| E010F17 | 6,28E-06 | 7,46E-06 | 1,92E-06 | 1,57E-05 |
| E010F2 | 3,14E-06 | 1,87E-06 | 7,97E-07 | 5,80E-06 |
| E010F3 | 6,28E-06 | 2,61E-06 | 1,21E-06 | 1,01E-05 |
| E010F4 | 4,71E-06 | 2,24E-06 | 6,76E-07 | 7,62E-06 |

Частота пожаров на энергоблоке: 7,41E-02

Изменить частоту возгорания источников

Закрыть форму

Record: 1 of 328

Рисунок 4-4 Экранная форма с оценками частот пожаров в отсеках

По результатам данного расчета из дальнейшего рассмотрения могут быть исключены отсеки с заданной скрининговой частотой возникновения пожаров, например, менее $1,0E-7$ 1/год.

Для исследования возможности выполнения функций безопасного останова при пожаре требуется выполнить анализ кабельных трасс. База данных может быть использована в рамках анализа кабельных трасс и кабельных помещений, который выполняется для определения состава располагаемых в них кабелей, связывающих оборудование систем важных для безопасности, а также определения характеристик указанных кабелей. Для этих целей в базе данных предусмотрены таблицы и формы (рисунок 4-5), позволяющие быстро обрабатывать информацию по трассировке и функциональному назначению контрольных и силовых кабелей. Конечная цель данной работы состоит в подготовке необходимой информации для последующего комплексного анализа последствий пожаров в отсеках, включающих технологические, электрические и кабельные помещения.

Трассировка кабелей

АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ База данных для анализа пожаров

Маркировка кабеля: Назначение: Выполняет функции безопасного останова:

Тип кабеля:

Из помещения Сборка или шина; отметка, оси:

В помещение Сборка или шина; отметка, оси:

Основное питание:
 Резервное питание:

Помещения, по которым проходит трассировка кабеля:

| Маркировка помещения | Наименование помещения |
|----------------------|---|
| ▶ E0311 | Кабельная шахта I канала системы безопасности |
| E0214 | Кабельный коридор |
| В0105 | Коридор |
| * | |

Record: of 3
 Record: of 887

Рисунок 4-5 Экранная форма для ввода информации по силовым и контрольным кабелям

Результаты анализа последствий пожаров в отсеках в терминах инициированных пожаром исходных событий также заносятся в базу данных. В каждом из пожарных отсеков постулируется полное или частичное повреждение расположенного там оборудования и кабелей, что легко выявляется средствами базы данных и позволяет при помощи запросов получать сводные данные в форме, подобной Таблице 4-1.

Средства базы данных могут использоваться в рамках подготовки исходной информации для математического моделирования распространения пожаров. Математическое моделирование распространения пожаров бывает необходимо в тех случаях, когда трудно обосновать возможность локализации пожара в одном отсеке. Локализация пожара особенно актуальна, когда распространение пожара на другие отсеки может, например, привести к повреждению оборудования, относящегося к разным каналам систем безопасности. Предварительный выбор отсеков для математического моделирования распространения пожаров производится по следующим критериям:

- по величине пожарной нагрузки;
- по величине частоты возгораний;
- по влиянию оборудования на безопасный останов РУ и последствиям пожара.

По результатам такого просеивания проводится окончательный отбор критических отсеков для детального моделирования пожаров.

База данных позволяет также производить оценку требуемой огнестойкости ограждающих конструкций и идентификацию отсеков, в границах которых не гарантируется надёжная локализация пожара. Метод основан на определении пожарной нагрузки в помещении, выраженной в МДж, и упрощённой консервативной оценке продолжительности стандартного пожара, которая определяет также требования к огнестойкости перекрытий и других (не несущих) элементов ограждения. Если в состав ограждения помещения входят несущие железобетонные стены зданий, выполняется пересчёт реальной продолжительности пожара с учётом коэффициента проёмности помещения. На основании указанных данных по методике ВНИИПО, утверждённой ГУГПС, находится требуемая величина огнестойкости

несущих стен. Полученные результаты сравниваются с фактической огнестойкостью элементов ограждений рассматриваемых пожарных отсеков, и на основании указанного сравнения делается вывод о возможности или невозможности распространения тепловых факторов пожара за границы помещения. Для помещений, в которых базой данных идентифицирована возможность такого распространения, в рамках анализа безопасного останова выполняется детальное моделирование развития пожара.

5 ВЫВОДЫ

По материалам, представленным в докладе, можно сделать следующие выводы:

1. В настоящее время отчёты по анализу влияния пожаров на выполнение функций безопасности (анализы безопасного останова блоков АЭС при пожаре) включаются в состав документов, представляемых в ГАН РФ эксплуатирующими организациями для получения лицензий на эксплуатацию энергоблоков АЭС,
2. Пилотной работой для АЭС с ВВЭР-1000 по данному направлению явился анализ безопасного останова для 4-го блока Балаковской АЭС, причём для выполнения этого анализа была разработана методика, сочетающая преимущества детерминистического и вероятностного подходов к обоснованию безопасности. Анализы 1-го и 4-го энергоблоков позволили получить следующие основные результаты:
 - АЭС с реактором ВВЭР-1000/В-320 обладает достаточно высокой степенью противопожарной защиты, что объясняется последовательным применением в проекте известных принципов безопасности (защита в глубину, сочетание пассивных и активных средств, канальное построение систем безопасности, физическое и электрическое разделение компонентов, относящихся к разным каналам). Для рассматриваемого проекта невозможны ситуации, приводящие к ядерно опасным режимам.
 - Пожары в ряде ответственных помещений, которые обычно рассматриваются как потенциальные вкладчики в риск (здание резервной дизельной электростанции, блочный щит управления и др.) не приводят к значимым с точки зрения безопасности последствиям. Так, пожар в здании резервной дизельной электростанции, в силу принятых компоновочных решений (расположение дизель-генераторов одного энергоблока в разных зданиях), не приводит к возникновению исходных событий и не может вызвать отказ всех каналов систем безопасности. Пожар на блочном щите управления может привести к появлению ложных импульсных (т.е. не обладающих памятью) сигналов, вызывающих изменение состояний оборудования (срабатывание предохранительной арматуры, остановку насосов, изменение состояния запорно-регулирующей арматуры), однако, даже в случае возникновения множественных коротких замыканий на блочном щите управления пожар не сможет повлиять на работу автоматики энергоблока, которая обеспечит переключение оборудования в безопасное состояние вследствие достижения значениями параметров соответствующих уставок. Кроме того, при пожаре на БЩУ оператор сохраняет возможность выполнения всех необходимых функций безопасного останова энергоблока с резервного щита управления энергоблока, который электрически независим от блочного щита управления.
 - Наиболее характерным последствием пожаров в системных помещениях реакторного отделения является остановка энергоблока по причине отключения главных циркуляционных насосов с отказом одного канала всех систем безопасности. Для приведения энергоблока в безопасное состояние при таких пожарах может быть использовано работоспособное оборудование в неповрежденных каналах систем безопасности.

3. В результате анализов были определены некоторые уязвимые, с точки зрения последствий пожаров, отсеки. Указанные случаи были разделены на две категории:
 - помещения, пожар в которых гипотетически мог привести к запроектной аварии;
 - прочие помещения, дающие значимый вклад в величину риска.
4. По результатам выполненных анализов для всех помещений, дающих наибольший вклад в величину риска были разработаны предложения по модернизации проекта. Ряд предложений уже реализован, что позволило устранить отмеченные уязвимости и, тем самым, значительно повысить общий уровень безопасности АЭС с ВВЭР-1000 (В-320). В частности, для указанного выше помещения паропроводов (А-820) была внедрена рекомендация по вынесению стенов КИП и соответствующих кабелей в соседнее помещение, что исключило возможность возникновения запроектной аварии из-за пожара в данном помещении.
5. В целях дальнейшего совершенствования технологии выполнения анализа безопасного останова и пожарного ВАБ, а также повышения эффективности и качества указанных анализов в институте «Атомэнергопроект» была разработана информационная структура и в формате ACCESS создана база данных по характеристикам пожарной опасности блока АЭС. Данная информационная технология была использована институтом для проведения анализа 1-го блока Балаковской АЭС. В дальнейшем указанная база данных совместно с методами и моделями, разработанными в рамках анализов безопасного останова и ВАБ будут использоваться для оценки эффективности последующих мероприятий по модернизации энергоблоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Положение о лицензировании деятельности в области использования атомной энергии, Москва, 1997.
2. US Department of Energy Reactor Core Protection Evaluation Methodology for Fires at Soviet-Designed RBMK and VVER Nuclear Power Plants. Revision 0. US Department of Energy, December 1996.
3. Швыряев Ю.В. и др. Вероятностный анализ безопасности атомных станций. Методика выполнения. Ядерное общество СССР, Москва, 1992.
4. Final Level 1 PSA Report. Atomenergoproekt, TACIS 3.1. Project Ref. C9225/AEP/REP/063 Issue V3 April 1996, Moscow.