

Безопасность атомных станций: Научно-практическая конференция: Сборник трудов. - М.: НТЦ БАЭ, 1990. - Ч. 2, с. -
- с илл.

Сборник посвящен проблемам безопасности атомных станций, обсуждавшимся на научно-практической конференции, которая проходила в Москве, в апреле 1989 г. Состоит из четырех частей. Часть I - "Состояние безопасности объектов атомной энергетики и основные проблемы"; часть 2 - "Вероятностный анализ безопасности атомных станций"; части 3 и 4 - "Состояние и задачи научно-исследовательских работ по обеспечению безопасности атомных станций".

Сборник предназначен для специалистов в области атомной энергетики.

Работа подготовлена к изданию отделом научно-технической информации Научно-технического центра по безопасности в промышленности и атомной энергетике при Госпроматомнадзоре СССР (НТЦ БАЭ).

**ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ АНАЛИЗОВ БЕЗОПАСНОСТИ
ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АТОМНЫХ
СТАНЦИЙ**

**А.Ф.Барсуков, А.А.Деревянкин, В.Б.Морозов, Г.В.Токмачев,
Ю.В.Швыряев**

(АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ)

ВВЕДЕНИЕ

Активное развитие методологии вероятностных анализов безопасности (ВАБ) атомных электростанций (АС) в странах, развивающих ядерную энергетику, позволило разработать универсальный инструмент принятия решений по вопросам безопасности АС. За рубежом результаты ВАБ находят разнообразное применение на этапах проектирования, сооружения, лицензирования и эксплуатации АС.

Известны следующие области практического применения ВАБ /1/:

- количественная оценка уровня безопасности АС и сравнение ее с другими станциями и промышленными предприятиями. В ряде стран уже существует практика нормирования вероятностных показателей безопасности АС /2/;

- улучшение понимания поведения АС и взаимодействия ее систем при авариях;

- проектирование хорошо сбалансированной АС с точки зрения безопасности;

- идентификация аварийных последовательностей, вносящих наибольший вклад в вероятность разрушения активной зоны;

- определение слабых звеньев в системах, важных для безопасности, и в регламентных действиях персонала;

6. Построение системных деревьев событий и формулировка задач количественного анализа надежности отдельных СБ.

7. Определение вероятностных показателей ИС, исходных данных по надежности элементов СБ и других данных, необходимых для расчета показателей надежности СБ.

8. Составление вероятностных моделей и оценка вероятностей реализации конечных состояний.

9. Определение вероятностных показателей безопасности и оценка проекта АС.

В качестве критериев оценки проекта и принятия проектных решений использовались два вида вероятностных показателей безопасности:

- вероятность разрушения или расплавления активной зоны (суммарная, при высоком и при низком давлении), т.е. вероятность того, что на рассматриваемом интервале времени эксплуатации АС (I год) возникнет хотя бы одно состояние АС, в котором повреждение активной зоны превысит установленные нормативные значения (второй предел по ОПБ-82/3/);

- вероятность нарушения безопасности, т.е. вероятность того, что на рассматриваемом интервале времени эксплуатации АС (I год) возникнет хотя бы одно состояние АС, в котором выбросы радионуклидов превысят установленные нормативные значения в СП АЭС-79/4/ для проектных аварий, а также для запроектных аварий для проекта У-88.

Оценка последствий аварий проводилась на чисто качественном уровне с применением принципа консерватизма. Так принималось, что невыполнение ФБ при проектных ИС приводит к полному разрушению активной зоны, а невыполнение локализирующих фун-

6. Построение системных деревьев событий и формулировка задач количественного анализа надежности отдельных СБ.

7. Определение вероятностных показателей ИС, исходных данных по надежности элементов СБ и других данных, необходимых для расчета показателей надежности СБ.

8. Составление вероятностных моделей и оценка вероятностей реализации конечных состояний.

9. Определение вероятностных показателей безопасности и оценка проекта АС.

В качестве критериев оценки проекта и принятия проектных решений использовались два вида вероятностных показателей безопасности:

- вероятность разрушения или расплавления активной зоны (суммарная, при высоком и при низком давлении), т.е. вероятность того, что на рассматриваемом интервале времени эксплуатации АС (I год) возникнет хотя бы одно состояние АС, в котором повреждение активной зоны превысит установленные нормативные значения (второй предел по ОПБ-82/3/);

- вероятность нарушения безопасности, т.е. вероятность того, что на рассматриваемом интервале времени эксплуатации АС (I год) возникнет хотя бы одно состояние АС, в котором выбросы радионуклидов превысят установленные нормативные значения в СП АЭС-79/4/ для проектных аварий, а также для запроектных аварий для проекта У-88.

Оценка последствий аварий проводилась на чисто качественном уровне с применением принципа консерватизма. Так принималось, что невыполнение ФБ при проектных ИС приводит к полному разрушению активной зоны, а невыполнение локализирующих фун-

кий - к выбросу в окружающую среду всех выделяющихся в процессе аварии радиоактивных продуктов.

Методика оценки вероятностных показателей безопасности основана на общепринятых методах деревьев событий и деревьев отказов (критических групп элементов). Подробно она изложена в /5/.

2. ОБЪЕМ ВАБ

Для анализа были выбраны следующие ИС:

- обесточивание АС длительностью до I часа, до IO часов и до 720 часов, т.е. потеря напряжения на секциях собственных нужд 3-ей группы надежности вследствие потери всех внешних и внутренних источников электроснабжения. Отдельно анализировалось обесточивание длительностью 720 часов, вызванное максимальным расчетным землетрясением;
 - разрыв паропроводов или трубопроводов питательной воды парогенераторов в неотсекаемых частях;
 - разрыв парового коллектора;
 - нарушения в нормальных системах отвода тепла по 2-ому контуру, требующие "холодного" останова блока без обесточивания и без разрывов трубопроводов 2-го контура;
 - малая течь из I-го контура, эквивалентная разрыву трубопроводов $D_y \leq 50$ мм;
 - средняя течь из I-го контура, эквивалентная разрыву трубопроводов $50 < D_y \leq 150$ мм;
 - большая течь из I-го контура, эквивалентная разрыву трубопроводов $D_y > 150$ мм;
 - течь из I-го контура во 2-ой при разрыве коллектора.
- Разбиение ИС на такие группы осуществлено по принципу

либо одинакового набора ФБ, либо одинаковой структуры СБ, которые требуются для обеспечения проектного протекания аварий.

В качестве сверхнормативного ИС рассмотрено также плавление активной зоны.

В сферу анализа не вошли аварии, связанные с реактивностью и нарушением работы с ядерным топливом, катастрофический разрыв корпуса ядерного реактора, а также внешние воздействия, за исключением максимального расчетного землетрясения и потери устойчивости энергосистемы.

При расчетах вероятностных показателей безопасности не были также учтены такие факторы, как влияние надежности выполнения заданных функций персоналом, отказы по общей причине (их анализ выполнен только на качественном уровне), возможность использования для выполнения некоторых ФБ систем нормальной эксплуатации и другие факторы. Это и качественный консервативный характер оценки последствий аварии позволяют рассматривать результаты настоящего анализа только как предварительные.

3. ИСТОЧНИКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Для определения интенсивности ИС использовались зарубежные литературные данные, результаты научно-исследовательских работ, выполненных советскими организациями, эксплуатационная статистика по отечественным энергоблокам и экспертные оценки. Интенсивность разрывов трубопроводов I-го и 2-го контуров выбрана на основании зарубежных крупномасштабных исследований /6,7/ и отечественных оценок интенсивности отказов элементов трубопроводов I-го контура (Im свер-

ного шва, Im^2 поверхности, гибов), которые хорошо согласуются между собой. Интенсивность течей из I-го контура во 2-ой оценена на основании эксплуатационной статистики по всем энергоблокам с реакторами ВВЭР отечественного производства. Для определения частоты нарушений теплоотвода по 2-му контуру, требующих "холодного" останова и не сопровождающихся обесточиванием и разуплотнением трубопроводов, использовались экспертные оценки. Интенсивность обесточиваний взята из опыта эксплуатации отечественных энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000. Иностранные источники /8-9/ приводят похожие данные по США и ФРГ.

Для оценки показателей надежности элементов СБ были обобщены данные, полученные при эксплуатации отечественных и зарубежных АС, для чего использованы следующие источники:

- информация, представляемая АС в рамках системы ССОИИ и по другим каналам;
- результаты обследований отечественных АС с ВВЭР-1000, проведенных ВНИИАЭС;
- данные технических условий заводов-изготовителей оборудования;
- информация по электротехническому оборудованию АС, собранная "Союзтехэнерго";
- информация из базы данных МАГАТЭ по оборудованию СБ, для которых было возможно идентифицировать режим их работы, и отечественные аналоги.

Наиболее представительная и достоверная информация по отказам тепломеханического оборудования СБ была собрана ВНИИАЭС по первичной эксплуатационной документации во время обследования 1-4 энергоблоков Запорожской АЭС. Например, суммар-

ная длительность наблюдения насосов составила 60 насосо-лет. Эти данные использовались в максимальном объеме.

КОНКРЕТНЫЕ ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВАБ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Корректировка регламента

При проведении ВАБ проектов У-87 и У-88 в качестве базового был принят действующий сейчас на АЭС с реакторами ВВЭР-1000 (проект У-87, В-320) регламент технического обслуживания: ежемесячные проверки работоспособности отдельных каналов СБ и допустимое время вывода в ремонт одного канала, равное 3 суткам при работе реактора на мощности. Результаты ВАБ показали приемлемость в целом такого регламента за исключением двух его положений, вносящих наибольший вклад в частоту разрушения активной зоны. В итоге были выданы рекомендации по изменению периодичности проверок БРУ-А и арматуры на линии планового расколаживания в системе аварийного охлаждения активной зоны - с I раза в год до I раза в месяц. Такая корректировка регламента позволила уменьшить частоту разрушения активной зоны на АЭС У-87 в 2,5 раза.

Оценка значимости новых проектных решений

Для снижения частоты плавления активной зоны на АЭС-88 были реализованы следующие проектные решения:

- повышена эффективность системы аварийной защиты реактора
- применены дополнительная система быстрого ввода бора система пассивного отвода тепла и система локализации течи из I-го контура во второй;

ВАБ показал неэффективность внедрения системы дополни-

4.3. Оценка уровня безопасности АЭС в целом

Проведенные исследования показали, что суммарная частота плавления активной зоны реактора В-320 Э (проект У-87) составляет $4 \cdot 10^{-4}$ I/год для рекомендованного регламента технического обслуживания СБ. Значение этой частоты немного хуже уровня действующих в настоящее время зарубежных АС с реакторами PWR /I/. Одной из основных причин этого являются худшие по сравнению с зарубежными показатели надежности отечественного оборудования СБ. Поэтому улучшение показателей надежности оборудования СБ является значительным резервом повышения безопасности АС. Наиболее опасными исходными событиями аварии являются течь из I-го контура во 2-ой, нарушение отвода тепла по 2-му контуру и длительное обесточивание АС (свыше 10 часов).

Суммарная частота плавления активной зоны для АЭС-88 составляет примерно $4 \cdot 10^{-5}$ I/год, что на порядок ниже, чем для АЭС-У 87. Следует отметить, что это значение соответствует уровню большинства действующих АС с реакторами PWR и удовлетворяет рекомендациям МАГАТЭ /I0/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вероятностные анализы безопасности первого уровня АЭС с реакторами РВВ// Атомная техника за рубежом.-1988.-№12.- С.18-22.
2. Edmondson B., Niehaus F. Probabilistic safety criteria for nuclear power plants: Доклад на международной конференции МАГАТЭ. Вена, сентябрь-октябрь 1987.
3. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций при проектировании, сооружении и эксплуатации (ОПБ-82).-М.: Энергоиздат, 1984.
4. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных электростанций (СПАЭС-79).-М.: Энергоиздат, 1981.
5. Швыряев Ю.В. и др. Оценка вероятностей повреждения активной зоны для АЭС с В-1000: Доклад на советско-западно-германском семинаре по вопросам безопасности.-М., сентябрь 1988.
6. Reactor Safety Study. An Assessment of Accident Risk in US Commercial Nuclear Power Plants. WASH-1400. (NUREG - 75/014). US NRC. 1975.
7. Birkhofer A. Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke. 1980.
8. Обесточивание собственных нужд на АЭС (США)
// Информэнерго. Атомная энергетика за рубежом.-1987.-Вып. 10.- С. 11-17.
9. Simon M. Redundancy proves its worth in FR Germany
// Nuclear Engineering International.-1987.- V.32, N394.-P.57.
10. Основные принципы безопасности атомных электростанций
// Серия безопасности № 75 INSAG - 3. МАГАТЭ.-1988.