

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО НАУКЕ И ТЕХНИКЕ**

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

**ВСЕСОЮЗНЫЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
(ВИНИТИ)**

НОВОСТИ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Серия. Атомная энергетика

Реферативный сборник

Выпуск 7

Издается с 1962 г.

Москва 1990

Выходит 12 раз в год

БЕЗОПАСНОСТЬ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

90.7.3. Состояние и тенденции развития вероятностных
анализов безопасности атомных станций

Вероятностные анализы риска от АЭС первоначально выполнялись с целью количественной оценки риска для здоровья населения. В дальнейшем было обнаружено, что вероятностные методы являются эффективным инженерным средством при исследовании, оценке и принятии решения в области безопасности атомных станций (АС). Для такого более широкого понятия используется термин "вероятностный анализ (или оценка) безопасности (ВАБ)".

При проведении ВАБ используются логические диаграммы (деревья событий и отказов) и аналитический аппарат (модели систем и процессов) для исследования и описания эффективности сложных систем безопасности и для анализа реакции АС на различные комбинации исходных событий аварии, граничных условий и отказов. При этом оцениваются частота возникновения каждой комбинации (аварийной последовательности) и ее последствия.

В зависимости от объема и целей исследования ВАБ можно разбить на несколько уровней. Традиционные анализы надежности отдельных объектов называются ВАБ низшего или нулевого уровня (ВАБ-0). Аварийные последовательности, приводящие к конечным состояниям с повреждением активной зоны, размеры которого превышают проектные пределы, изучаются в ВАБ 1-го уровня (ВАБ-1). Сценарии плавления активной зоны, работоспособность защитной оболочки и выход активности после ее отказа анализируются в ВАБ 2-го уровня (ВАБ-2). И, наконец, последствия аварии для окружающей АЭС среды и людей являются предметом исследования при проведении ВАБ 3-го уровня (ВАБ-3), называемого также полномасштабным ВАБ.

Разработка моделей АЭС для проведения ВАБ требует объединения усилий проектировщиков и конструкторов тепломеханических, электрических и управляющих систем со специалистами по техническому обслуживанию и испытаниям оборудования, пусконаладочным работам, эксплуатации и надзору. Это позволяет преодолеть основную трудность при анализе современных АЭС, а именно невозможность полного

понимания АС как целого одним человеком. Известно, что ВАБ конкретных АЭС позволяли выявить довольно слабые и уязвимые места при тяжелых авариях, которые часто могли быть устранены с помощью недорогих изменений эксплуатационных процедур или небольших модификаций проекта. Наиболее эффективно и с небольшими затратами результаты ВАБ могут использоваться на этапе проектирования АС.

Первый полномасштабный ВАБ (отчет WASH - 1400) был выполнен в США в 1974 г. В последующие годы методология ВАБ была значительно усовершенствована, что потребовало переоценки результатов WASH - 1400, сделанной в отчете NUREG - 1150. Основные изменения методологии ВАБ заключаются в следующем:

- значительно улучшен процесс экспертной оценки параметров, по которым не существует адекватной информации, для чего были использованы результаты большого числа исследований тяжелых аварий;
- проведены новые оценки нагрузок на защитную оболочку, ее надежности и размеров и изотопного состава радиоактивных выбросов с широким использованием расчетных программ;
- усовершенствованы программы расчетов последствий радиоактивных выбросов;
- проведен учет потенциальных внешних событий, таких, как пожары и землетрясения;
- учтены действия персонала по управлению тяжелой аварией;
- улучшена форма представления конечных результатов.

Отношение к ВАБ органов надзора. До настоящего времени практика регулирования АС основывалась, главным образом, на детерминистском подходе, который включал ряд общих инженерных принципов, концепцию глубоко эшелонированной защиты, семейство проектных аварий и другие регулирующие требования, например специфические для каждой конкретной АС проектные критерии и эксплуатационные ограничения. Ряд важных решений принимался на основе сочетания экспертных инженерных оценок и опыта эксплуатации. Однако уже в рамках такого подхода правила и критерии безопасности различных уровней часто содержали качественные вероятностные требования, касающиеся частоты и последствий различных событий, например: достаточная надежность, пренебрежимо малая вероятность, крайне малая вероятность, вероятность настолько низкая, насколько это разумно достижимо (принцип

ALARA). В настоящее время ВАБ не только является дополнительным инструментом при оценке безопасности конкретных ядерных объектов, но и обеспечивает информационную базу для принятия широкого спектра решений. Детерминистский и вероятностный подходы используются совместно для оценки и повышения безопасности АС.

Лицензионная процедура, принятая в большинстве стран, предусматривает выполнение по крайней мере анализов надежности важных систем СС, и существует общая тенденция проведения ВАБ-1 конкретных АС, т.е. анализов и количественной оценки путей развития аварии, ведущих к разрушению активной зоны. В некоторых странах считаются важными и ВАБ 2-го и 3-го уровней. Побудительной причиной появления регулирующих требований к проведению ВАБ является стремление решить следующие проблемы:

- обеспечение необходимого уровня безопасности при проектировании и эксплуатации АЭС;
- сооружение хорошо сбалансированной АЭС с точки зрения безопасности;
- управление риском на протяжении всего жизненного цикла АС;
- оптимальное использование ресурсов для повышения безопасности;
- организация рационального процесса принятия решений.

В настоящее время ВАБ используется в качестве системного инженерного подхода с ограниченной ролью количественных результатов. В одних случаях проведение ВАБ предписывают органы надзора, а в других ВАБ выполняется по инициативе промышленных фирм.

Преимущества и ограничения ВАБ. Современный уровень развития ВАБ позволяет обеспечить достижение следующих целей:

- улучшения понимания работы АЭС и ее безопасности;
- идентификации узких мест в проекте и эксплуатации АС;
- выявления количественной оценки и приоритетизации мер, направленных на повышение безопасности АЭС и заключающихся во внедрении дополнительных или изменении существующих эксплуатационных процедур и систем или оборудования;
- улучшения процесса подготовки операторов АС;
- облегчения лицензирования АС в органах надзора;

– определения действительного уровня безопасности АС с помощью количественных показателей и границ безопасности при нарушении проектных пределов;

– разработки систем поддержки операторов АЭС и внедрения на ЭВМ щитов управления АЭС программных комплексов, обеспечивающих проведение оперативных ВАБ в режиме поступления данных;

– концентрации технических средств и мер для предотвращения или ограничения наиболее опасных исходных событий и путей развития аварий;

– разработки стратегии управления тяжелыми авариями.

В качестве примера можно привести общие выводы, полученные в результате проведения ВАБ пяти АЭС США (отчет NUREG – 1150):

– действия оператора по управлению тяжелой аварией оказывают значительное влияние на вероятность повреждения активной зоны;

– основанные на признаках событий эксплуатационные инструкции имеют преимущество по сравнению с инструкциями, ориентированными непосредственно на события, так как снижают вероятность неправильных действий персонала АС;

– тщательно спроектированные поперечные связи между системами могут значительно уменьшить вероятность повреждения активной зоны, обеспечивая больше возможностей при отказах оборудования;

– обеспечение возможности работы насосов аварийного охлаждения активной зоны после отказа защитной оболочки также снижает вероятность разрушения активной зоны.

К ограничениям и недостаткам современных ВАБ, определяющим направления дальнейших разработок, относятся следующие:

– недостаточно хорошо разработанный аппарат анализа внешних по отношению к АС исходных событий аварии;

– непредставительная база данных по редким событиям на АЭС;

– значительные неопределенности при анализах отказов по общей причине, надежности персонала и выброса радионуклидов при тяжелых авариях; трудности в анализе отказов по общим причинам объясняются, в первую очередь, недостаточностью статистических данных, хотя существуют уже базы данных, содержащие до 2000 таких событий;

– возрастание степени неопределенности результатов при проведении ВАБ более высоких уровней.

Подходы к использованию количественных результатов

ВАБ. Использование количественных результатов ВАБ должно производиться с определенной осторожностью. Их следует рассматривать как дополнительную информацию при принятии решений. При проведении ВАБ разных уровней определяется различная номенклатура количественных показателей: ВАБ-0 - показатели надежности систем безопасности и их элементов, вероятность невыполнения функций безопасности, частота исходных событий аварии; ВАБ-1 - частота аварийных последовательностей и плавления активной зоны; ВАБ-2 - частота крупных радиоактивных выбросов; ВАБ-3 - индивидуальный и коллективный риск.

Существуют два подхода к практическому использованию количественных результатов ВАБ: в качестве количественных критериев в рамках детерминистского подхода и для целей управления риском. В первом случае могут быть решены следующие задачи:

- установление предельных критериев для определения основных проектных положений;
- отбор и частотная классификация событий или состояний АС;
- определение технических или радиологических пределов для классов событий с целью ограничения частоты неконтролируемых условий на АС.

Однако основное практическое использование в рамках детерминистского подхода находят качественные результаты ВАБ.

Второй подход, связанный с управлением риском, основан на понимании того, что абсолютная безопасность недостижима и что уровень безопасности может значительно изменяться в течение срока службы АС. Управление риском имеет целью разработать, поддерживать в состоянии готовности и улучшать средства защиты против радиологического риска для каждой АС на протяжении всего ее срока службы, тем самым активно ограничивая угрозу здоровью и жизни людей и окружающей среде на уровне ниже, чем аналогичный уровень от конкурентных источников энергии. Таким образом, управление риском представляет собой динамический процесс.

Управление риском имеет три уровня, органически связанных с ВАБ-1,-2,-3 соответственно:

- 1) управление безопасностью с целью сохранить АЭС в состоянии безопасной эксплуатации; для этого эффективно

Подходы к использованию количественных результатов ВАБ. Использование количественных результатов ВАБ должно производиться с определенной осторожностью. Их следует рассматривать как дополнительную информацию при принятии решений. При проведении ВАБ разных уровней определяется различная номенклатура количественных показателей: ВАБ-0 - показатели надежности систем безопасности и их элементов, вероятность невыполнения функций безопасности, частота исходных событий аварии; ВАБ-1 - частота аварийных последовательностей и плавления активной зоны; ВАБ-2 - частота крупных радиоактивных выбросов; ВАБ-3 - индивидуальный и коллективный риск.

Существуют два подхода к практическому использованию количественных результатов ВАБ: в качестве количественных критериев в рамках детерминистского подхода и для целей управления риском. В первом случае могут быть решены следующие задачи:

- установление предельных критериев для определения основных проектных положений;
- отбор и частотная классификация событий или состояний АС;
- определение технических или радиологических пределов для классов событий с целью ограничения частоты неконтролируемых условий на АС.

Однако основное практическое использование в рамках детерминистского подхода находят качественные результаты ВАБ.

Второй подход, связанный с управлением риском, основан на понимании того, что абсолютная безопасность недостижима и что уровень безопасности может значительно изменяться в течение срока службы АС. Управление риском имеет целью разработать, поддерживать в состоянии готовности и улучшать средства защиты против радиологического риска для каждой АС на протяжении всего ее срока службы, тем самым активно ограничивая угрозу здоровью и жизни людей и окружающей среде на уровне ниже, чем аналогичный уровень от конкурентных источников энергии. Таким образом, управление риском представляет собой динамический процесс.

Управление риском имеет три уровня, органически связанных с ВАБ-1,-2,-3 соответственно:

- 1) управление безопасностью с целью сохранить АЭС в состоянии безопасной эксплуатации; для этого эффективно

могут использоваться оперативные ВАБ, проводимые с помощью ЭВМ на АС;

2) управление аварией с целью предотвращения и ослабления ее последствий;

3) аварийное планирование с целью защиты людей и окружающей среды в случае радиоактивного выброса.

По количественным результатам ВАБ определяют, выполняются ли следующие требования к АС:

- отсутствуют отдельные системы безопасности или категории аварийных последовательностей: вносящие доминирующий вклад в частоту плавления активной зоны;

- обеспечивается достаточная уверенность, что среди нынешнего поколения АС не произойдет серьезных аварий с расплавлением активной зоны за весь срок их эксплуатации;

- риск от аварий не превышает риск от нормальной эксплуатации АС;

- риск от АС не превышает риск от конкурирующих технологий;

- АС не вносят значительного дополнительного индивидуального риска.

Намечается международный консенсус в отношении критериальных средних значений для вероятностных показателей безопасности, которые рассматриваются как цели безопасности, а именно:

Частота плавления активной зоны, 1/реакторо-год $1 \cdot 10^{-5}$

Категории аварийных последовательностей 10% вклад

Частота крупных радиоактивных выбросов,
1/реакторо-год $1 \cdot 10^{-6}$

Отказ защитной оболочки, 1/требование $1 \cdot 10^{-1}$

Индивидуальный риск, 1/реакторо-год $1 \cdot 10^{-6}$

Индивидуальный риск от тяжелых аварий,
1/ реакторо-год $1 \cdot 10^{-7}$

Что касается аналогичных критериальных значений для коллективного риска, то пока распространено убеждение о невозможности корректного сравнения таких показателей из-за значительной неопределенности результатов, вызванной большим числом различных качественных оценок.

Г.В. Токмачев

1. Chakraborty S., Hertrich P.M., Niehaus F. Status and trends of probabilistic safety assessment programmes and probabilistic safety criteria // Regul. Pract. and Safety Stand. Nucl. Power Plants: Proc. Int. Symp., Munich, 7-10 Nov., 1988. - Vienna, 1989. - P. 411-424.
2. Ericsson D.M. Probabilistic safety assessment reaches maturity // Nucl. Eng. Int. - 1989. - 34, № 422. - P. 66, 68-69.
3. Quantified risk assessment: Its input to decision making // Atom. - 1989. - № 396. - P. 5.
4. Rubio A.; Loewenstein W.B.; Ochlberg R. Nuclear safety research: Responsive industry results // Nucl. Eng. and Des. - 1989. - 115, № 2-3. - P. 219-271.