

# Атомные электростанции: Использование ВОБ для повышения эксплуатационной безопасности

*Вероятностные оценки безопасности служат  
для удовлетворения различных потребителей*

Л. Ледерман и Б. Томик

Вероятностная оценка безопасности (ВОБ) – логическое развитие старой инженерной дисциплины – анализа надежности, впервые стала применяться в коммерческой ядерной энергетике в середине 70-х годов. В настоящее время на атомных электростанциях в различных странах мира было уже проведено свыше 70 ВОБ. Эти исследования предоставляют информацию о безопасности, которую нельзя получить другими путями. В большинстве стран, имеющих ядерноэнергетические программы, ВОБ стала стандартным инструментом оценки безопасности.

Короче говоря, ВОБ является системным методом моделирования отклика АЭС на целый ряд начальных событий, которые могут отрицательно повлиять на ее безопасную эксплуатацию. Для разработки необходимых моделей требуется подробная информация о конструкции и эксплуатации АЭС. Основные модели (например, дерево отказов или дерево событий) разрабатываются для идентификации путей развития событий, ведущих к отказу или благоприятному исходу. При проведении анализа таких моделей принимается во внимание целый ряд факторов, включая случайные отказы компонентов, отказы с общей причиной возникновения или обусловленные ошибкой человека, а также стратегией испытания и эксплуатации.

Некоторые ВОБ проводились по инициативе электроэнергетических компаний в ответ на озабоченность по поводу регулирующих правил и норм или в целях демонстрации общественности низкого риска, связанного с эксплуатацией АЭС (например, на АЭС Сион в США и Сайзвелл в Великобри-

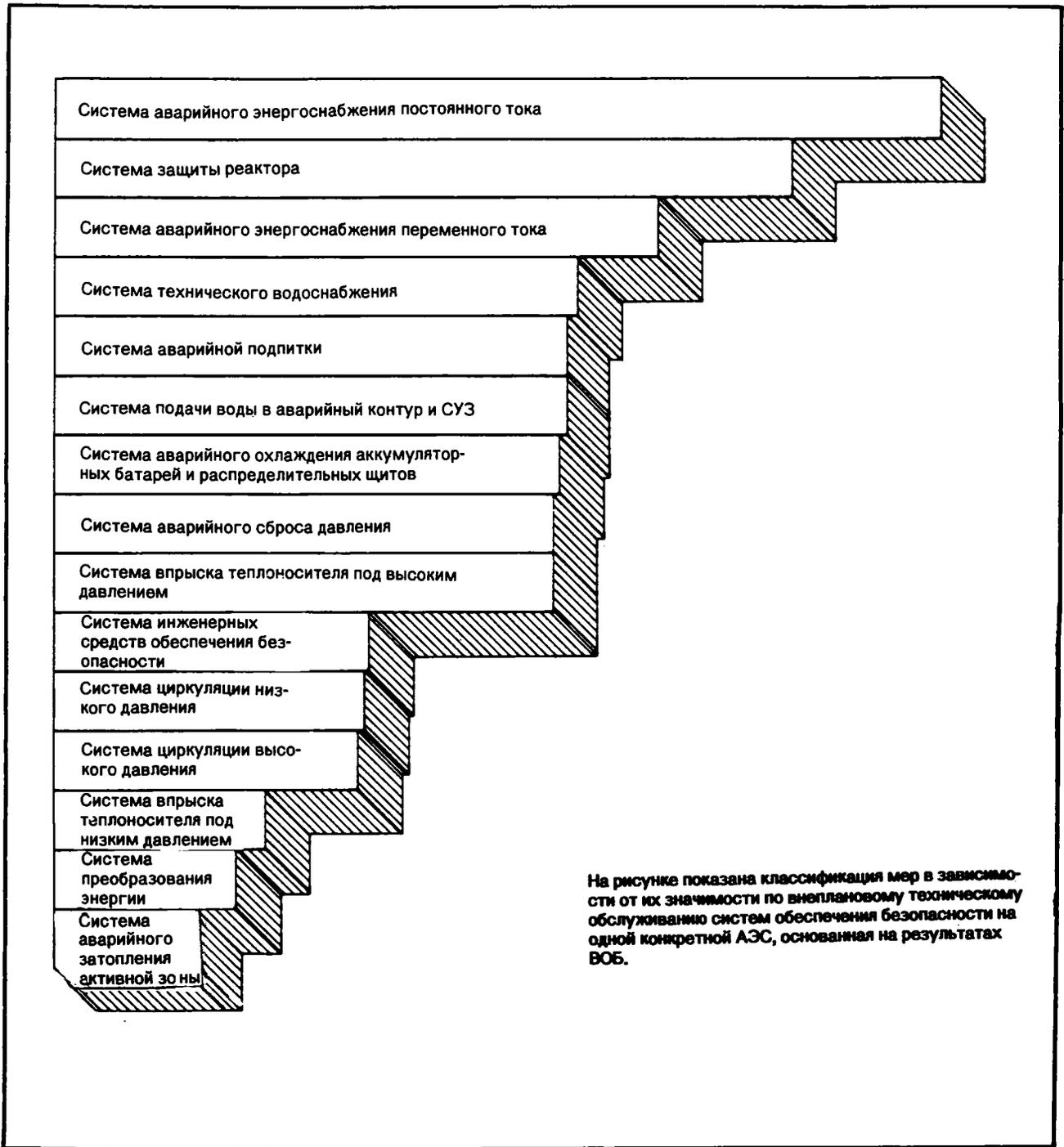
тании). Спонсорами других ВОБ были регулирующие организации, стремившиеся к расширению использования этих методов. Более того, по мере совершенствования методологии результаты ВОБ стали во все возрастающей степени использоваться для повышения эксплуатационной безопасности АЭС.

## Участие национальных электроэнергетических компаний

Опыт проведения ВОБ показывает, что на качество этого анализа и полезность результатов в большей степени влияет отношение к нему электроэнергетических компаний, а не фактическое количество расходуемых средств. В этом контексте важную роль играет тот факт, что электроэнергетическая компания, в частности ее эксплуатационный персонал, принимает участие в разработке модели станции на самых ранних стадиях. Это помогает убедиться в том, что в оценке используются реалистичные критерии. К таким критериям относятся полнота охвата рассматриваемых начальных событий, приводящих к аварии, и их классификации, отклик станции и взаимодействие систем, критерии благоприятного исхода, используемые для систем обеспечения безопасности первого уровня, правила испытаний и технологического обслуживания, эксплуатационные процедуры, эксплуатационные операции.

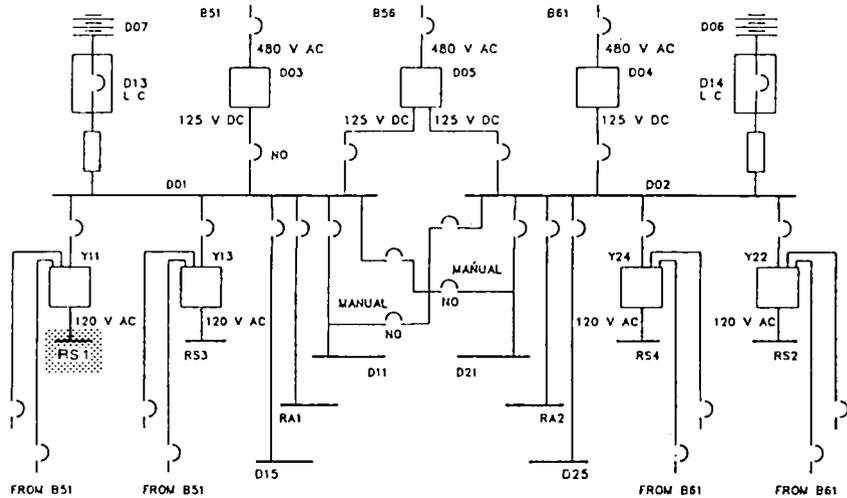
Во время анализа конкретных станций необходимо максимально использовать всю имеющуюся на АЭС информацию, включая данные прошлого опыта эксплуатации. Однако наиболее важно, чтобы руководство станции и электроэнергетической

Г-да Ледерман и Томик – штатные сотрудники Отдела ядерной безопасности МАГАТЭ.



На рисунке показана классификация мер в зависимости от их значимости по внеплановому техническому обслуживанию систем обеспечения безопасности на одной конкретной АЭС, основанная на результатах ВОБ.

DC POWER SYSTEM SCHEMATIC



SYSTEM MENU

▶ END OF INPUT

Программное обеспечение, которое можно использовать для применения результатов ВОБ в целях управления безопасностью АЭС, разрабатывалось для персональных компьютеров. На рисунке показаны два элемента программы PRISIM, выведенные на экран дисплея.

Вверху показана принципиальная схема системы энергоснабжения постоянного тока АЭС; внизу – сообщение о риске, связанном с выходом из строя шины переменного тока 120 В. Компьютерное меню с заголовками дополнительной информации. (Программное обеспечение написано только на английском языке).

RISK IMPLICATIONS OF THE CURRENT PLANT STATUS

11 IS THE RISK FACTOR WITH THE FOLLOWING EQUIPMENT OUT OF SERVICE

120 V AC Bus RS1 Fails to Provide Power

MENU FOR ADDITIONAL INFORMATION

- ▶ 1. Ranking of safety-related equipment
- 2. Ranking of core melt scenarios
- 3. Improvement from repair
- 4. Return to Control Screen

компания выполняло соответствующие меры, включающие внесение изменений в конструкцию или эксплуатацию станции, которые были рекомендованы после проведения ВОБ.

В ноябре 1988 г. Комиссия по ядерному регулированию США потребовала от электроэнергетических компаний провести „анализ отдельных станций” в целях выявления на основе вероятностного подхода уязвимых мест с точки зрения крупных аварий. Такое требование Комиссии по ядерному регулированию способствует более активному применению ВОБ и оказывает максимально возможное содействие участию электроэнергетических компаний.

В некоторых других странах, включая Испанию и Швецию, от электроэнергетических компаний потребовали провести оценку безопасности с использованием ВОБ. Во Франции компания „Электрисите де Франс” скоро должна завершить исследование по ВОБ, полностью основанной на информации и данных по конкретным станциям. Это исследование будет носить представительный характер для целого ряда идентичных АЭС.

#### „Живая” ВОБ

Характер ВОБ, а именно подробное моделирование поведения систем и представление последствий аварий в виде отказов основных компонентов и действий персонала, иногда трудно понять людям, которые не принимали непосредственного участия в самом исследовании, что не позволяет им полностью оценить и получить выгоду от использования его результатов. Иногда объем отчета ВОБ превышает 10 толстых томов. Некоторые приложения к последним исследованиям насчитывали свыше 10 000 страниц с подробным описанием моделей поведения систем станции.

После получения результатов ВОБ их нужно постоянно обновлять и представлять в форме, облегчающей изучение и поиск этих результатов. В этом контексте появилась концепция „живой” ВОБ, которой уделяется все возрастающее внимание.

Значительные усовершенствования информационной технологии, особенно увеличение быстродействия персональных компьютеров, помогли решить некоторые из этих проблем. Разрабатывается программное обеспечение для персональных компьютеров, которое облегчает избирательный просмотр результатов ВОБ, а также обновление данных и моделей. (Далее в статье будет дано краткое описание подобного программного обеспечения).

Такие разработки позволили лучше использовать широкий диапазон результатов ВОБ. Кроме того, они помогли избежать просмотра результатов „последнего уровня” (например, частота полного расплава активной зоны) в качестве основной информации ВОБ. Результаты ВОБ предоставляют широкий диапазон преимуществ, позволяющих руководству станции более эффективно использовать имеющиеся ресурсы по приоритетным направлениям (см. соответствующий рисунок).

#### Практическое применение результатов ВОБ

В широкой перспективе ВОБ проводится в настоящее время в двух направлениях: незначительные модификации станции и руководство эксплуатацией (включая правила эксплуатации, оценку статуса станции и подготовку операторов).

**Модификации станции.** Как правило, результаты ВОБ указывают на те части конструкции станции, модификация которых даст наибольшую выгоду. Такие результаты очень часто используются электроэнергетическими компаниями для планирования модификации конструкции и для оценки значимости предложенной или потребованной регулирующим органом модификации с точки зрения безопасности.

В отчете о последнем исследовании, проведенном в США Институтом электроэнергетических исследований (EPRI), сообщается о практическом применении результатов 26 ВОБ десятию электроэнергетическими компаниями США\*. Ниже приведены примеры выгод, полученных электроэнергетическими компаниями благодаря ВОБ, проведенным на конкретных АЭС:

- На АЭС Майлстоун-1 в штате Коннектикут результаты ВОБ показали, что требование регулирующих органов установить многоуровневые контрольно-измерительные системы не влияет на безопасность станции, поэтому был реализован альтернативный вариант модификации, что позволило сэкономить 250 000 долл. США. В качестве другого примера данная АЭС смогла получить освобождение от выполнения регулирующих правил, касающихся проверки пригодности целого ряда вентиляторов с электроприводами. Полученная экономия составила 2–3 млн. долл. США, кроме того, это позволило избежать дополнительного обучения персонала, связанного с проведением таких работ.
- На АЭС Янки в штате Массачусетс было получено освобождение от выполнения регулирующих правил, касающихся целого ряда проходок в здании противоаварийной оболочки, что дало экономию в 16 млн. долл. США. На той же станции был обнаружен крупный конструктивный недостаток в системе энергоснабжения вентиляторов системы водного охлаждения дизель-генератора.
- На АЭС Биг-Рок Пойнт в штате Мичиган успешное решение целого ряда регулирующих проблем помогло по оценкам сэкономить в целом 20–40 млн. долл. США. В настоящее время электроэнергетическая компания руководствуется в эксплуатации станции результатами ВОБ.
- На АЭС Катаубе в штате Южная Каролина была обнаружена и устранена потенциальная причина отказа систем в случае отключения энергоснабжения АЭС.

\*„The Practical Application of Probabilistic Risk Assessment”, EPRI, NP-5664 (March 1988).

**Руководство эксплуатацией.** В странах, эксплуатирующих АЭС, устанавливаются пределы и режимы эксплуатации станций, которые часто называют техническими условиями эксплуатации АЭС. Их общая цель заключается в ограничении или максимальном уменьшении общего риска.

В большинстве случаев технические условия основываются на инженерных оценках или здравом смысле и не поддаются оптимизации с точки зрения безопасности. Некоторые требования могут быть весьма обременительными для эксплуатационного персонала и могут привести к ненужному радиационному облучению. В этом отношении результаты ВОБ можно использовать для систематического определения требований, предъявляемых к техническим условиям эксплуатации. Такие результаты наиболее полезно использовать для обоснования технической основы определенных условий эксплуатации, в частности, интервалов между контрольными испытаниями и допустимого времени простоя.

Контрольные испытания проводятся для выявления потенциальных отказов и, следовательно, являются способом контроля за риском. Однако, если их проводить слишком часто, то эти испытания сами могут привести к усилению риска, став причиной, например, переходных режимов станции или временного вывода из эксплуатации некоторых компонентов. С точки зрения эксплуатации предпочтительней длинные интервалы между контрольными испытаниями оборудования, однако это может быть неадекватным с точки зрения обеспечения общей безопасности станции. Аналогичные противоречивые соображения имеются и в отношении допустимого времени простоя.

С учетом всех этих фактов было признано полезным использовать ВОБ для анализа технических условий проведения контрольных испытаний и времени простоя, а также в целях усовершенствования руководства с точки зрения общей безопасности, обеспечивая при этом более высокую эксплуатационную гибкость. Оценка технических условий, основанная на ВОБ, проводится в США, а также в Скандинавских странах.

**Контроль за состоянием станции.** До недавнего времени большой объем информации, полученной в результате ВОБ, как правило, использовался статически и ограниченно. Одна из причин заключается в том, что для осуществления даже самых незначительных изменений, необходимых для изучения фактической конфигурации систем во время эксплуатации, требуется проведение значительных расчетов.

На совещании, организованном МАГАТЭ в 1987 г., анализировались усилия по использованию информации ВОБ для повседневного обеспечения эксплуатационной безопасности с помощью персональных компьютеров.\* Был представлен пакет про-

грамм для персональных компьютеров (названный PRISIM), способный анализировать результаты завершенной ВОБ в целях оказания помощи персоналу станции и инспекторам из регулирующих органов. Операторы станций могут использовать данное программное обеспечение для определения влияния на безопасность станции, например, вывода из эксплуатации на определенный период времени определенной комбинации оборудования в целях проведения испытаний или технического обслуживания. Инспекторы, проверяющие станцию, могут быстро получить доступ к результатам ВОБ непосредственно на месте, чтобы принять решение, например, относительно ввода в эксплуатацию остановленного оборудования или обеспечения пригодности к эксплуатации другого оборудования, а также относительно графика проведения инспекций, основанного на тенденциях отказов компонентов и систем и их значении для эксплуатационной безопасности.

**Подготовка операторов.** Результаты и информация ВОБ имеют огромное значение для подготовки операторов АЭС, в частности, в отношении их готовности к крупным авариям. В разнообразных сценариях потенциальных аварий, разработанных на основе ВОБ, содержится ценная информация об отклике станции на широкий диапазон наблюдаемых и ожидаемых начальных событий аварии. Такие последовательности объединяют в себе многочисленные отказы различных систем и ошибки персонала и по своему характеру являются редкими событиями, которые могут привести к повреждению активной зоны. Поэтому операторы АЭС должны знать такие ситуации. Одним из естественных способов подготовки операторов является их привлечение к проведению ВОБ.

Кроме того, результаты ВОБ имеют большое значение для разработки аварийных эксплуатационных процедур и их полезно использовать во время подготовки операторов на тренажерах. На заседании технического комитета представители компании „Электрисите де Франс” сообщили об использовании этой компанией двух сценариев аварии, основанных на ВОБ, для подготовки операторов на полномасштабных тренажерах\*.

### Деятельность МАГАТЭ

В последнее время деятельность МАГАТЭ в области ВОБ организовывалась в соответствии с высоко приоритетными рекомендациями, которые были сформулированы на основе опыта аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году. Программа ВОБ имеет три четко выраженные цели: (1) оказание содействия и помощи в использовании ВОБ путем

\*Отчет о совещании Вы можете найти в документе *Improving Operational Safety Management through PSA on Personal Computers, IAEA-TECDOC-480 (1988)*. См. также „PRISIM – A Computer Program that Enhances Operational Safety”, by Fussel, J.B., NUREG/CR-5021, Vol. 2 (March 1988).

\*Отчет о совещании опубликован в документе *Experience with Simulator Training for Emergency Conditions, IAEA-TECDOC-443 (1987)*.