

Выводы экспертиз ВАБ для реакторов типа ВВЭР

Доклад на международной конференции PSAM7/ESREL'04 по
вероятностному анализу безопасности
Берлин, Германия, 14-18 июня, 2004

Геннадий Токмачев
Атомэнергопроект
Москва, Россия

Артур Любарский
НТЦ ЯРБ Госатомнадзора РФ
Москва, Россия

Аннотация

За последнее десятилетие многие ВАБ 1-го уровня были выполнены в России, на Украине и в Армении для реакторов типа ВВЭР. Как правило, эти исследования выполнялись в рамках многонациональных двуязычных проектов. Авторы участвовали в некоторых из них в составе группы, или выполнявшей ВАБ, или проводившей его экспертизу. В докладе представлены некоторые выводы экспертиз, которые могут быть полезны для практиков ВАБ и экспертов других многосторонних проектов. В докладе проанализирована важность основных проблем для обеспечения качества и непротиворечивости ВАБ. Опыт, полученный при проведении экспертиз, был использован при разработке руководств по ВАБ, выпущенных российским надзорным органом.

Введение

За последнее десятилетие многие ВАБ 1-го уровня были выполнены в России, на Украине и в Армении для реакторов типа ВВЭР с поддержкой ДОО США [1-3] и швейцарских правительственных организаций [4] или в рамках проектов ТАСИС [5]. Как правило, эти исследования выполнялись в рамках многонациональных двуязычных проектов. Некоторые ВАБ, выполняемые для проектируемых АЭС [6-8], финансировались эксплуатирующей организацией. Все выполненные ВАБ были подвергнуты тщательной экспертизе. Процесс экспертизы становится все более важным для обеспечения адекватности ВАБ [9-11]. Как указано в таблице 1, экспертиза некоторых ВАБ проводилась несколько раз различными группами экспертов.

1. Опыт проведения экспертиз

Экспертиза обычно запрашивается одной из следующих организаций:

- надзорным органом,
- организацией, финансировавшей разработку ВАБ или
- эксплуатирующей организацией или АЭС, которая собирается использовать результаты ВАБ на практике.

Цель экспертизы надзорного органа заключается в подтверждении корректности ВАБ, если выполнение ВАБ является частью процесса лицензирования. Заключение экспертизы может быть учтено при принятии решения о выдаче лицензии на сооружение/эксплуатацию АЭС или утверждении перечня мероприятий по модернизации АЭС.

Экспертиза надзорного органа часто ограничена сроками и бюджетом. Другая проблема экспертизы надзорного органа может быть связана с отсутствием практиков в области ВАБ в системе надзорного органа. Кроме того, существует проблема поиска опытных экспертов в ядерной энергетике той же страны, которые были бы действительно независимыми. Институт независимых консультантов не столь широко распространен в Восточной Европе. Некоторые надзорные органы разрешают эту проблему путем приглашения независимых экспертиз МАГАТЭ (IPSART). Однако, как указано в [12], IPSART не заменяет внутренней независимой экспертизы, не доказывает корректность ВАБ и не заменяет обеспечение качества. Возможно расширение активности СЕНС (Центра по ядерной безопасности, расположенного в Братиславе, Словакия) было бы полезным для этих стран.

Экспертизы ВАБ, проведенные за последние 4 года

Таблица 1

АЭС с ВВЭР, Страна, Основной разработчик ВАБ	Год проведения экспертизы	Тип экспертизы
Армянская АЭС, блок 2, Армения, Согин, Италия	2003	Независимая экспертиза с поддержкой министерства энергетики США
АЭС Темелин, блок 1, Чехия, Сайнтех, США	2003	Экспертиза МАГАТЭ IPSART
АЭС Тяньвань, Китай, Атомэнергопроект, Санкт-Петербург	2000, 2002	Экспертиза МАГАТЭ IPSART
АЭС Бушер, Иран, Атомэнергопроект, Москва	2002	Экспертиза МАГАТЭ IPSART
Кольская АЭС, блоки 1,2,3, Россия, Кольская АЭС	2000-2002	Экспертиза надзорного органа
Ростовская АЭС, Россия, Атомэнергопроект, Нижний Новгород	2000	Экспертиза надзорного органа
Балаковская АЭС, блок 1, Россия, Атомэнергопроект, Москва	2002	Экспертиза надзорного органа
Калининская АЭС, блок 3, Россия, Атомэнергопроект, Нижний Новгород	2002	Экспертиза надзорного органа
Нововоронежская АЭС, блок 3, Россия, Атомэнергопроект, Москва	2001	Экспертиза надзорного органа
	2001-2002	Независимая экспертиза с поддержкой министерства энергетики США
Нововоронежская АЭС, блок 4, Россия, Атомэнергопроект, Москва	2002	Экспертиза надзорного органа
Нововоронежская АЭС, блок 5, Россия, НТЦ ЯРБ ГАН, Россия	2001	Экспертиза МАГАТЭ IPSART
АЭС Моховце, Словакия, ВУЙЕ	2001	Экспертиза МАГАТЭ IPSART
АЭС Богунце V1, Словакия, Релко	2002	Экспертиза МАГАТЭ IPSART
Южно-Украинская АЭС, блок 1, Украина, Энергориск	2000	Экспертиза МАГАТЭ IPSART
	2001-2002	Экспертиза надзорного органа
	2002	Экспертиза ЕТид и ГРС
Запорожская АЭС, блок 5, Украина, ЕИС и Энергориск	2001	Экспертиза МАГАТЭ IPSART
	2001-2002	Экспертиза надзорного органа
	2001-2002	Независимая экспертиза с поддержкой министерства энергетики США и ГРС

Если экспертиза устроена организацией, финансировавшей работы по ВАБ, то она нацелена на оценку эффективности инвестиций и похожа на апостериорный

анализ «затраты-выгода». Наиболее эффективный способ – это выполнение экспертизы в режиме «он-лайн», т.е. каждый раз, когда очередная задача ВАБ близка к завершению. В этом случае экспертиза может помочь группе ВАБ найти возможные недостатки анализа и своевременно устранить их, таким образом достигая высокого качества ВАБ. Следует понимать, что любая экспертиза является конфликтом интересов. Если экспертируемый ВАБ выполняется в рамках коммерческого проекта, то группа ВАБ не стремится к совершенству, создавая идеальный ВАБ, а скорее настолько хороший ВАБ, насколько это возможно в рамках ограниченного бюджета и в установленные сроки. Поэтому группа ВАБ стремится к положительной оценке выполненного анализа, и её не устраивает получение большого числа замечаний. Опыт проведения экспертиз показал, что наиболее важным и трудным моментом является создание атмосферы сотрудничества между экспертами и группой ВАБ. Ключом к успеху в мотивации группы ВАБ к улучшению анализа возможно является распределение некоторой части бюджета ВАБ (около 20%) на переработку документации и модели ВАБ по результатам экспертизы.

Эксплуатирующие организации обычно делают запрос на проведение экспертизы, когда ВАБ выполняется внешним контрагентом. В этом случае ответственность персонала АЭС обычно ограничена предоставлением стационарной документации, например, описаний систем, и консультациями. Поэтому возможности и опыт группы ВАБ на АЭС ограничены, и экспертиза необходима для оценки корректности результатов и выводов, полученных в ВАБ, а также их применимости для нужд АЭС.

Опыт показывает, что большинство экспертиз начинаются, когда группа ВАБ закончила окончательный отчет, и обычно выполняются в рамках достаточно ограниченного бюджета и периода времени. Следовательно, проведение углубленной экспертизы затруднено. Установлено, что около 80% замечаний, сделанных экспертами, как правило, относятся к следующим областям:

- Объём анализа
- Допущения и ограничения исследования
- Упущения модели с точки зрения эксперта
- Результаты задачи анализа данных, т.е. значения параметров, используемые для количественных расчетов вероятностных показателей безопасности

С другой стороны, во время некоторых экспертиз наблюдается тенденция к глобализации требований, когда эксперт не пытается ответить на вопрос, могли ли значительные вкладчики в частоту повреждения активной зоны быть пропущены или нет. Обычно это свойственно экспертам, имеющим ограниченный практический опыт выполнения ВАБ и страхующих себя против потенциальных ошибок в экспертных заключениях, требуя как можно больше, причём в общем виде. Однако выполнение идеального ВАБ невозможно, так как для этого требуются многие годы и неограниченное финансирование. Поэтому такие замечания бесполезны, ибо надзорный орган не может поддержать практически невыполнимые требования. Эта точка зрения соответствует рекомендации IAEA-TECDOC-1135 [13].

Опыт, полученный при проведении экспертиз, и выявленные проблемы стимулировали разработку российских национальных нормативных документов в этой области.

2. Технические проблемы, выявленные во время экспертиз

Опыт показал, что некоторые проблемы часто поднимаются повторно в замечаниях экспертиз. По всей видимости, существуют некоторые корневые

причины, вызывающие повторение одних и тех же недостатков. Авторы попытались идентифицировать корневые причины, которые перечислены ниже.

- Ограниченный объём анализа

Типичной является ситуация, когда в экспертируемом ВАБ не рассмотрен адекватный перечень внутренних исходных событий, групп элементов, подверженных отказам по общей причине, до-аварийных ошибок персонала и т.п.

- Недостаток проектной информации

АЭС с реакторами типа ВВЭР проектируются для России, Украины, Ирана, Индии и Китая. Сначала ВАБ разрабатывается на стадии ПООБ, например, для получения лицензии на сооружение АЭС. ВАБ на стадии ПООБ имеет особенности из-за ограниченной информации, например, отсутствия аварийных эксплуатационных инструкций. С другой стороны, результаты ВАБ могут влиять на проектные основы после его выполнения. Это рождает проблему итерационного обновления ВАБ.

- ВАБ не является «живущим» в некоторых аспектах

Для повышения уровня безопасности АЭС часто вносятся изменения в проект или эксплуатационные режимы АЭС, включая меры по модернизации, рекомендованные в ВАБ. Оценка влияния всех изменений на модель и результаты ВАБ достаточна трудна. Например, небольшие вкладчики могут быть изначально отсеяны по частоте, но они могли бы стать заметными после повышения уровня безопасности. Это может вызвать необходимость пересмотра перечня исходных событий, что будет сопровождаться значительными трудозатратами на моделирование.

- Проблемы с исходными данными

Отношение к методу Байеса иногда сродни религиозному. В этом случае группа ВАБ верит, что все проблемы, связанные с недостатком данных, могут быть всегда решены с помощью байесовского подхода. В результате не уделяется должного внимания применимости обобщенных данных / априорной информации к АЭС, являющейся предметом анализа. Априорные значения, используемые в процессе уточнения данных, часто не согласуются со специфическими данными АЭС в точки зрения как определений исходного события / оборудования, так и численных значений. Опыт показывает, что различия в определениях исходных событий являются основной причиной изменений значений частот исходных событий при использовании разных источников информации.

- Плохая координация между задачами ВАБ

Типичным примером является несогласованность определений границ элементов и видов отказов, используемых в анализе данных и систем, в частности для новых элементов, когда используются данные завода-изготовителя. Границы элемента в системном анализе ВАБ обычно шире, чем границы, определяемые изготовителем оборудования. Например, в границы насоса при проведении ВАБ обычно входят его механическая часть, двигатель, выключатель и местные цепи управления. Данные завода-изготовителя для отказов насоса могут включать только механическую часть насоса, так как другие поставщики отвечают за другие составные части насоса.

- Плохая координация между группой ВАБ и персоналом АЭС

Если в группу ВАБ не включены активные представители эксплуатационного персонала АЭС, то невозможно обеспечить, чтобы модели и используемые данные адекватно отображали бы проект АЭС и эксплуатационные особенности, давая адекватную картину поведения АЭС. Вовлечение персонала АЭС должно быть обязательным, по крайней мере, при классификации событий-отказов по видам, принятым в ВАБ, и детальном анализе действий операторов, особенно, если отсутствуют письменные инструкции.

- Детерминистическое мышление членов группы ВАБ

ВАБ обычно используется в качестве дополнения к детерминистскому анализу для определения дефицитов безопасности. Очень полезно, если некоторые члены группы ВАБ имеют детерминистский опыт. Однако иногда этот опыт оказывает негативное влияние на разработку ВАБ. При проведении некоторых экспертиз было выявлено, что применение детерминистских принципов (например, принципа единичного отказа) при выполнении задач ВАБ приводило к отсеиванию запроектных аварий или множественных отказов, которые казались «невозможными».

- Упрощения модели

Упрощения модели обычно вызваны ограничениями бюджета или сроков. Часто это приводит к потере важных зависимостей. Упрощения модели без потери каких-либо зависимостей требует очень высокой квалификации аналитика ВАБ. Цель ВАБ заключается не только в количественной оценке уровня безопасности в терминах частот повреждения активной зоны и большого раннего радиоактивного выброса. Если ВАБ используется только для этой цели, то тогда он превращается в средство пиар. ВАБ – это инженерный количественный и качественный анализ (поиск и ранжирование) слабых мест рассматриваемой АЭС, которые зачастую существуют из-за скрытых зависимостей.

- Недостатки методологии, использованной для разработки модели и количественных расчетов

В зависимости от сложности всей модели, разрыв кольцевых логических петель, которые существуют из-за взаимной зависимости обеспечивающих систем, может быть непростой задачей. Сложность значительно возрастает при включении в модель КИПиА и их зависимостей от обеспечивающих систем и при использовании дополнительных возможностей дерева отказов, предоставляемых логическими ключами. Отсутствие детальных процедур в этой области привело к некорректному обрыванию логических петель во многих ВАБ.

При проведении экспертиз было обнаружено, что некоторые комбинации действий персонала отсеиваются во время предварительных расчетов, хотя обычно зависимости между действиями персонала не рассматриваются на этой стадии, например минимальное сечение, включающее 6 различных ошибок персонала, было отсеяно в одном ВАБ. В настоящее время российские нормативные документы требуют, чтобы вероятность ошибки персонала принималась равной 1, чтобы удостовериться, что зависимости между действиями персонала не отсеиваются при выполнении предварительных расчетов.

- Двуязычные проблемы

Многоязычные проблемы возникают, когда разработчики ВАБ и его потребители говорят на разных языках (например, на русском языке, который является рабочим в России, Армении и на Украине, и английском). Документы разрабатываются на русском и английском, а окончательные их версии должны быть представлены на обоих языках. Разработка общего словаря терминов очень важна с самого начала работы, так как разные переводчики часто переводят один и тот же термин по-разному. Типичной является ситуация, когда ряд переводчиков работает с разными документами ВАБ, что приводит к несоответствиям в терминах и понятиях. Прослеживание изменений в документах, выпущенных на обоих языках, является ещё одной проблемой. Как правило, ограниченное число разработчиков ВАБ свободно владеет обоими языками. Поэтому адекватные изменения не всегда вносятся в документы, файлы и модели, написанные на противоположном языке.

- Частоты редких событий

Было выявлено, что большие и средние течи теплоносителя 1-го контура могут быть значительными вкладчиками в частоту повреждения активной зоны на АЭС с ВВЭР. Однако частоты таких течей сильно различаются. Пример частот исходных

событий для средних течей, представленный в работе [14], иллюстрирует проблему, где ясно показано, что ни различия проектов, ни размеры течей не влияют на результаты оценок частот исходных событий. Различия в значениях частот было вызвано использованием различных обобщенных наработок, определенных для нулевой статистики. Поэтому можно сделать вывод, что метод Байеса очень чувствителен к выбору априорной информации, и существует очень высокая неопределенность оценок частот относительно больших течей. Международный консенсус по этому вопросу был бы очень полезным для обеспечения сравнимости результатов ВАБ.

3. Российские нормы и руководства в области ВАБ

Для повышения эффективности экспертиз, выполняемых надзорным органом в России, было разработано и проверено на практике детальное руководство. В 2002 году руководство по проведению экспертиз ВАБ надзорным органом было опубликовано [15].

Для повышения качества ВАБ опыт, полученный при проведении экспертиз, был использован для разработки руководств по ВАБ, выпущенных Госатомнадзором России. Хотя основной российский документ по безопасности [16] и выпущенное позже Заявление о политике Госатомнадзора РФ [17] предписывают выполнение ВАБ для АЭС, до недавнего времени конкретные требования к содержанию и качеству ВАБ официально не публиковались. В марте 2003 года Госатомнадзор РФ выпустил руководство по безопасности [18], которое содержит детальные требования к каждой задаче ВАБ.

Литература

1. V.Rozin, W.Puglia, C.Afshar, and P.Pizzica. Organization and Management of the Plant Safety Evaluation of the VVER-440/230 Units at Novovoronezh. In: M. Modarres (Ed.) Proceedings of the PSA'99 International Topical Meeting on Probabilistic Safety Assessment "Risk-Informed, and Performance-Based Regulation in the New Millennium", Volume 1, p.29-37, August 22-26, 1999, Washington, DC.
2. O.Sevbo, I.Lola. South Ukraine NPP Unit 1 PSA Results, Insights and Recommendations, International Workshop safety of VVER-1000 nuclear power plants, 7-12 April 2003, Piešťany, Slovakia
3. O.Kocharyants, V.Boychuk, T.Voytovich. Results of ZNPP Unit 5 PSA and Their Application for Modernization Evaluation, International Workshop safety of VVER-1000 nuclear power plants, 7-12 April 2003, Piešťany, Slovakia
4. A. Lioubarski, I. Kouzmina, T. Berg, et al. Novovoronezh Unit 5 Probabilistic Safety Assessment. Part I: PSA Level-1 for Internal Initiating Events. Main Report. Project SWISRUS. SWISRUS-99-001. Scientific and Engineering Center for Nuclear and Radiation Safety of the Federal Nuclear Safety Authority of Russia. – Moscow, 1999 - 445 p.
5. J A Carretero, Y Shvyryaev, G Tokmachev, et al. Results of Novovoronezh-3 PSA performed within TACIS-91 Programme In: Proceedings of the TOPSAFE'98 International Conference held by the European Nuclear Society and the Spanish Nuclear Society in Valencia, Spain, April 15-17, 1998. Senda Editorial,S.A: CD-Rom "TOPSAFE'98 Papers".
6. Yu.Shviriaev, G.Tokmachev, E.Baikova. Results of updated PSA for advanced VVER-1000, Seventh International Information Exchange Forum on "Safety Analysis for Nuclear Power Plants of VVER and RBMK Types" (Forum-7, 28-30 October, 2003, Piešťany, Slovakia)
7. Yu.Shviriaev, A.Barsukov, O.Krasnoriadtseva, and G.Tokmachev. PSA application for operating NPPs and NPPs under design with VVER-1000 reactors (Balakovo NPP), International Workshop safety of VVER-1000 nuclear power plants, 7-12 April 2003, Piešťany, Slovakia
8. G.Ershov and A.Sobolev. Plant status and PSA of Tianwan NPP, International Workshop safety of VVER-1000 nuclear power plants, 7-12 April 2003, Piešťany, Slovakia
9. A. LubarSKI. Overview of VVER-1000 PSAs, International Workshop safety of VVER-1000 nuclear power plants, 7-12 April 2003, Piešťany, Slovakia

10. A.Lubarski, G.Samokhin, D.Noskov. Review of Insights gained from PSA in Russia, International Workshop on Safety of VVER-1000 Nuclear Power Plants, 7-12 April 2003, Piešťany, Slovakia
11. S.Klevtsov. Insights gained from PSA Level 1 Reviews in Ukraine, International Workshop on Safety of VVER-1000 Nuclear Power Plants, 7-12 April 2003, Piešťany, Slovakia
12. International Atomic Energy Agency. IPERS guidelines for the international peer review service. Second Edition, IAEA-TECDOC-832, IAEA, 1995, Vienna
13. International Atomic Energy Agency. Regulatory review of probabilistic safety assessment (PSA) Level 1, IAEA-TECDOC-1135, IAEA, 2000, Vienna.
14. I.Kouzmina. Insights from IAEA Workshop on Harmonization of PSAs for VVER-440 Plants, International Workshop on Safety of First-Generation VVER-440 Nuclear Power Plants, 20-24 May 2002; Piešťany, Slovakia
15. НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России. Руководство по проведению экспертиз вероятностного анализа безопасности атомных электростанций. Часть 1. ВАБ уровня 1. Раздел 1.1. Внутренние иницирующие события, 2002, Москва
16. Госатомнадзор России. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций, ОПБ – 88/97, 1997, Москва
17. Госатомнадзор России. Заявление о политике “Применение вероятностного анализа безопасности для действующих энергоблоков атомных станций”, 1999, Москва
18. Госатомнадзор России. Рекомендации по выполнению вероятностного анализа безопасности атомных станций уровня 1 для внутренних иницирующих событий (при работе блока в режиме выработки электроэнергии во внешнюю сеть) РБ-024-02, 2003, Москва