

# Развитие ВАБ для новых российских реакторов после аварии на АЭС «Фукусима»

**Г.В. Токмачев**

ОАО «Атомэнергопроект», Москва, Россия

---

**Резюме:** ОАО «Атомэнергопроект», генеральный проектировщик атомных электростанций (АЭС), выполняет вероятностные анализы безопасности (ВАБ) для шести проектируемых АЭС. Они относятся к поколению усовершенствованных АЭС, сооружаемых или планируемых для строительства в России, Индии, Турции и Болгарии, включая АЭС поколения 3+.

Главное преимущество АЭС с реактором нового поколения по сравнению с российскими проектами предыдущих поколений - использование передового оборудования и внедрение дополнительных пассивных систем безопасности в комбинации с обычными активными системами. Использование разнообразия снижает вероятность невыполнения функций безопасности. Новые АЭС с ВВЭР, имеющими внутренне присущие свойства безопасности, рассмотрены с точки зрения их «антифукусимских» свойств.

Авария на АЭС «Фукусима» оказывает непосредственное влияние на развитие ВАБ. Это - вызов разработчикам ВАБ. Уроки, полученные из события на АЭС «Фукусима», должны помочь направить дополнительные усилия к некоторым аспектам развития ВАБ, обсужденным в статье.

Статья нацелена на обсуждение некоторых проблем и опыта, полученного от модификаций проекта и развития ВАБ для новых передовых АЭС.

**Ключевые слова:** новые реакторы, проект, ВАБ, авария на АЭС «Фукусима».

---

## 1. ВВЕДЕНИЕ

ОАО «Атомэнергопроект» является инжиниринговой компанией, генеральным проектировщиком атомных электростанций (АЭС). За годы существования компанией созданы проекты большинства АЭС, построенных на территории России, Восточной Европы и стран СНГ. Компания осуществляет полный комплекс работ и услуг в области сооружения АЭС типа ВВЭР. Более 1350 реакторо-лет эксплуатации АЭС с ВВЭР подтверждают их высокий уровень безопасности.

Несколько различных усовершенствованных АЭС ВВЭР, включая относящиеся к Поколению 3+, проектируются для некоторых новых площадок. Необходимый уровень внутренне присущей реакторной безопасности и эффективности защитных барьеров на пути распространения радиоактивных веществ обосновывается детерминистическими и вероятностными исследованиями. ОАО «Атомэнергопроект» выполняет вероятностные анализы безопасности (ВАБ) для шести проектируемых АЭС. Они относятся к поколению усовершенствованных АЭС, сооружаемых или планируемых для строительства в России, Индии, Турции и Болгарии, включая АЭС поколения 3+. АЭС расположены на площадках, имеющих различные геологические особенности и условия окружающей среды; поэтому существенно, чтобы была выполнена специфическая оценка безопасности АЭС, включая ВАБ для каждого энергоблока.

Катастрофа на АЭС «Фукусима» поставила вопросы к будущей атомной энергетике. Однако ситуация неоднородна в разных странах. К счастью, у российского усовершенствованного ВВЭР есть «антифукусимские» особенности проекта для противодействия с такому типу аварий. Эти решения проекта были разработаны до события на АЭС «Фукусима», что подтверждает правильность выбранного пути. Однако авария выдвинула на первый план направление дальнейшего развития как в области разработки проекта АЭС, так и ВАБ. Статья нацелена на обсуждение некоторых проблем и опыта, полученного от разработки проекта и развития ВАБ для новых передовых АЭС ВВЭР.

## 2. ОСОБЕННОСТИ НОВЫХ РОССИЙСКИХ АЭС

Главное преимущество АЭС с реактором ВВЭР нового поколения по сравнению с предшествующими российскими проектами заключается в использовании передового оборудования и внедрении дополнительных пассивных систем безопасности в комбинации с обычными активными системами. Выполнение функций безопасности может быть осуществлено независимо или активными, или пассивными системами безопасности. Внедрение комплекса активных и пассивных систем безопасности для противодействия проектным и запроектным авариям выгодно, потому что использование разнообразия снижает вероятность невыполнения функций безопасности. Существенно, что учтены современные требования по безопасности, в т.ч. EUR, МАГАТЭ и т.п. С другой стороны, проект усовершенствованного ВВЭР является эволюционным и имеет высокую референтность.

Основными отличительными признаками проекта усовершенствованной АЭС с ВВЭР в терминах безопасности являются следующие:

- Применение функционального и/или конструктивного разнообразия в системах, предназначенных для выполнения каждой отдельной функции безопасности. Взаимно резервируемые системы безопасности "активных" и "пассивных" принципов действия гарантируют защиту против отказов по общей причине и позволяют повысить вероятность выполнения функций безопасности на несколько порядков. Для резервирования всех активных систем безопасности предусмотрены пассивные системы, выполняющие функцию безопасности в полном объеме. Например, инновационные технические решения обеспечивают аварийный отвод тепла через второй контур как активными, так и пассивными системами без ограничения по времени.
- Применение принципа совмещения функций безопасности и функций нормальной эксплуатации, который позволяет увеличить уровень готовности системы безопасности и обеспечивает дополнительную защиту против отказов по общей причине. Это достигается за счёт исключения скрытых отказов, являющихся основным вкладчиком в неготовность системы в режиме ожидания.
- Обеспечение низкой чувствительности к ошибочным действиям персонала, что достигается посредством увеличения уровня автоматического управления систем (исключение человеческих действий) в случае возникновения какой-либо проектной аварии и, в частности, в случае течей из первого во второй контур; и использования пассивных систем, чей запуск не требует участия оперативного персонала.
- Двойная защитная оболочка с контролируемым межоболочечным пространством. Внутренняя (первичная) защитная оболочка из предварительно напряженного железобетона со стальной облицовкой спроектирована на давление 0.5 МПа (абс) и рассчитана на усилия и условия, возникающие при проектных и запроектных авариях. Внутренняя оболочка включает в себя устройство локализации расплава. Межоболочечное пространство находится под разрежением во всех нормальных и аварийных режимах работы, включая полное обесточивание АЭС. Внешняя защитная оболочка предназначена для защиты против природных и техногенных нагрузок и вместе с внутренней защитной оболочкой формирует кольцевое пространство для сбора, контроля и очистки среды от радиоактивных веществ при авариях. Некоторые АЭС оборудованы фильтрами, чтобы уменьшить давление в объеме защитной оболочки в случае длительной аварии.
- Устройство локализации расплава активной зоны рассчитано на прием и размещение в своем объеме жидких и твердых компонентов расплава, фрагментов активной зоны и конструкционных материалов реактора, передачи тепла от расплава охлаждающей воде и минимизации выхода водорода.

Три основных инновационных пассивных системы безопасности, разработанных для повышения безопасности, являются следующими [1]:

- Гидроёмкости второй ступени обеспечивают пассивный залив активной зоны реактора раствором борной кислоты при падении давления в первом контуре ниже 1.5 МПа. Система состоит из четырёх групп ёмкостей общей ёмкостью 1000 т, заполненных раствором борной кислоты с концентрацией 16 г/кг.
- Система пассивного отвода тепла обеспечивает длительный отвод остаточных тепловыделений реактора при отсутствии всех источников электроснабжения (полное обесточивание АЭС). Время работы системы не ограничено. Система состоит из четырех независимых контуров естественной циркуляции теплоносителя второго контура – по одному на каждую циркуляционную петлю реакторной установки. Система работоспособна как при плотном первом контуре, так и при течах.
- Пассивная система фильтрации из межоболочечного пространства предназначена для организованного удаления парогазовой смеси из межоболочечного пространства при авариях, связанных с потерей всех источников переменного тока. Для ее работы не требуется электроснабжение, так как используется тепловая энергия системы пассивного отвода тепла. Эффективность удержания аэрозолей Cs-137 и I-131 в аэрозольной и газовой формах в специальных фильтрах составляет 99.9%. В результате, исключаются неорганизованные протечки из межоболочечного пространства в атмосферу через наружную защитную оболочку в любых ситуациях.

Работоспособность всех инновационных пассивных систем безопасности обоснована экспериментально на крупномасштабных экспериментальных стендах и результатами испытаний пассивных систем во время пусконаладочных работ на АЭС «Куданкулам», построенной в Индии.

### **3. «АНТИФУКУСИМСКИЕ» ХАРАКТЕРИСТИКИ НОВЫХ РОССИЙСКИХ АЭС**

Россия продолжает строить ядерные установки, несмотря на воздействие аварии на АЭС «Фукусима» на сектор атомной энергетики. Однако ядерное сообщество попало под общественное давление, требующее пересмотреть ядерные программы и повысить безопасность. В качестве первой реакции спустя два месяца после аварии на АЭС «Фукусима» российские власти поставили задачу провести стресс-тесты для всех национальных АЭС. Стресс-тесты сконцентрированы на областях, выдвинутых на первый план событиями в Японии. Состояние АЭС было полностью проанализировано, учитывая фукусимские факторы, чтобы оценить, как действующие и сооружаемые российские АЭС будут функционировать в случае внешних воздействий (землетрясения и наводнения), которые приводят к длительной потере электроснабжения, отвода тепла к конечному поглотителю, или обоих. Были также рассмотрены проблемы, связанные с управлением тяжелыми авариями. При выполнении стресс-тестов использовались инженерные оценки, детерминистические исследования и результаты выполненных ВАБ.

Хотя последствия, подобные аварии на АЭС «Фукусима», главным образом, анализировались на основании детерминистических стресс-тестов, ВАБ также используется для того, чтобы спроецировать эту аварию на российские АЭС. Антифукусимские меры, осуществляемые в России, включают установку автономных мобильных дизель-генераторов и насосов, увеличение ёмкости батарей, прокладку новых кабельных линий, использование систем пожаротушения для безопасного останова энергоблока и т.д. ВАБ используется, чтобы поддержать оценку «затраты-выгода» вариантов управления тяжелой аварией и поддержать ранжирование, обоснование и лицензирование модернизации АЭС, которые основаны на оценке снижения уровня риска, связанного с каждой альтернативой.

Исследования безопасности для условий фукусимской аварии показали, что усовершенствованные АЭС ВВЭР могут противостоять таким условиям [2]. Исходные события и отказы, которые имели место на АЭС «Фукусима», следующие:

- Сейсмическое воздействие. Специфические для условий площадки проекты ВВЭР разрабатываются, базируясь на значении максимальной интенсивности землетрясения, приблизительно соответствующей 7-8 баллам по шкале MSK-64, которое происходит один раз в 10000 лет. С целью обеспечения возможности размещения АЭС на площадках, характеризующихся более высокими параметрами сейсмических воздействий (8-9 баллов по шкале MSK-64), предусмотрена возможность обновления проекта без существенных изменений объёмно-планировочных и трассировочных решений.

Ряд сейсмических ВАБ, выполненных еще до аварии на АЭС «Фукусима», дал ценные выводы об уровне безопасности российских АЭС. Один из них был проведен как часть ВАБ для АЭС «Белене» в Болгарии на стадии разработки технического проекта [3]. Максимальное расчетное землетрясение для площадки АЭС «Белене» определено в терминах пикового горизонтального ускорения на поверхности как 0.24g. Суммарная частота повреждения активной зоны реактора, рассчитанная для внутренних иницирующих событий, внутренних и внешних воздействий, составляет  $5.1E-07$  на реактор в год. Сейсмически вызванная частота повреждения активной зоны реактора оценена как  $7.1E-9$  на реактор в год. Главным вкладчиком (58 %) является обесточивание, сопровождаемое зависимыми разрывами главных паровых линий из-за разрушения турбинного зала и сейсмически вызванными отказами надежного электропитания, предотвращающего изоляцию парогенератора и действия «сброс-подпитка». Второй вкладчик (40 %) связан с сейсмически вызванными отказами системы пассивного отвода тепла.

Специфический аспект, к которому нужно обратиться для любой проектируемой АЭС, заключается в недостатке проектной/эксплуатационной информации, особенно для ВАБ, выполняемого на этапе разработки концептуального или технического проекта. Такой ВАБ может содержать существенную неопределенность. Нехватка проектной информации, затрагивающей разработку ВАБ, может быть связана с незавершенностью проекта, что характерно для его промежуточных стадий. Подтверждающие обходы, предназначенные для поддержки результатов анализа, также невозможно провести на предпроектных стадиях. Для решения этой проблемы используются огибающие технологии. Однако этот подход иногда противоречит подходу "наилучшей оценки", рекомендуемому нормативными руководствами. Например, общие критерии для оценки предельной сейсмостойкости, полученной в проекте АЭС, весьма консервативны. С другой стороны, граничная сейсмостойкость АЭС «Белене», оцененная в более реалистических предположениях, соответствуют более высокой максимальной интенсивности землетрясения по максимальному горизонтальному ускорению грунта, по крайней мере, с запасом 40%.

- Потеря всех нормальных и аварийных (дизель-генераторы) источников электропитания переменным током (полное обесточивание АЭС). Как упомянуто выше, российская концепция обеспечения безопасности основана на применении систем безопасности, использующих различные принципы функционирования: "активный" и "пассивный". Все функции безопасности выполняются активными системами, и если они недоступны – пассивными. В условиях потери всех источников переменного тока отвод остаточных тепловыделений от активной зоны реактора осуществляется работой системы пассивного отвода тепла неограниченное время. Фактически, первоначально эта система была разработана для противодействия аварии с полным обесточиванием АЭС. В результате, вклад в частоту повреждения активной зоны от таких путей развития аварии незначителен.

Отвод тепла от отработавшего топлива в бассейне выдержки, осуществляемого в режиме кипения воды, также важен. Запаса воды в бассейне выдержки хватает на 10-20 суток в зависимости от уровня остаточных тепловыделений отработавшего топлива. Последующая подпитка бассейна выдержки в течение следующих 10-20 суток возможна из гидроёмкостей второй ступени, размещенных внутри защитной оболочки, или дополнительных ёмкостей,

расположенных вне защитной оболочки. Темп роста давления в защитной оболочке вследствие кипения бассейна выдержки таков, что в худшем случае после 10 суток давление достигнет расчетного давления защитной оболочки. Как меру управления по ограничению роста давления можно использовать имеющуюся линию сброса давления из защитной оболочки, применяемую при испытании защитной оболочки на плотность, или фильтров защитной оболочки.

Результаты ВАБ показывают, что должен быть проанализирована хронология событий, то есть переходный процесс с последующим полным обесточиванием может привести к отличному сценарию, чем аварийные последовательности, которые непосредственно начинаются с обесточивания.

- Отказ отвода тепла к конечному поглотителю (морская вода). Это было вызвано забиванием каналов и трубопроводов мусором, принесенным цунами к АЭС «Фукусима». Независимо от причины потери отвода тепла к конечному поглотителю на российских усовершенствованных АЭС отвод остаточных тепловыделений от активной зоны реактора осуществляется работой системы пассивного отвода тепла, включающей в свой состав воздушные теплообменники, охлаждаемые атмосферным воздухом. Таким образом, работа системы не зависит от наличия других поглотителей тепла, например, технической воды, морской воды, воды прудов-охладителей и т. п. Теплообменники располагаются на высоте около 40 м и защищены строительными конструкциями. Эти решения проекта исключают или минимизируют их повреждение при наводнениях и других природных или техногенных воздействиях.

Отвод тепла от бассейна выдержки является отдельной проблемой, которая обсуждена выше.

- Образование водорода в результате паро-циркониевой реакции, выброс водорода в объем здания реакторной установки и повреждение здания вследствие взрыва водорода. Внутри первичной оболочки российских АЭС размещены пассивные рекомбинаторы водорода, исключающие рост концентрации водорода до опасных пределов во всех аварийных режимах, включая запроектные. Расчеты тяжелой аварии на внекорпусной фазе в поддержку ВАБ уровня 2 показали, что максимальное значение водородной концентрации составляет приблизительно 6 % при значительной концентрации водного пара. Поэтому, возможность как взрывов водорода, так и повреждения реакторного здания настолько маловероятна, насколько это возможно. Как следствие, исключается возможность выхода радиоактивных продуктов в окружающую среду. Дополнительная защита от выхода активности в окружающую среду обеспечивается созданием разрежения в межоболочечном пространстве как с помощью активной, так и пассивной системы.
- Повреждение фундаментной части здания реакторной установки и выход активности в окружающую среду. В нижней части защитной оболочки размещено специальное устройство, называемое устройством локализации расплава и предназначенное для локализации и охлаждения расплава активной зоны реактора в случае возникновения гипотетической аварии, которая может привести к повреждению активной зоны реактора. Устройство локализации расплава позволяет сохранить целостность защитной оболочки и тем самым исключить выход радиоактивных продуктов в окружающую среду даже при гипотетических тяжелых авариях за исключением проплавления корпуса реактора при высоком давлении. Частота аварийных последовательностей, приводящих к эжекции расплава из корпуса реактора под высоким давлением оценивается значением  $2.1E-08$  в год.

После аварии на АЭС «Фукусима» также исследованы более тяжелые аварийные условия по сравнению с АЭС «Фукусима». Их примером является потеря всех источников переменного тока (полное обесточивание) совместно с разрывом трубопровода первого контура максимального диаметра (большая течь теплоносителя первого контура). Согласно результатам ВАБ большая течь теплоносителя первого контура является доминирующим вкладчиком среди внутренних иницирующих событий. В зависимости от свойств энергосистемы большая течь теплоносителя первого контура, сопровождаемая аварийным остановом АЭС, может вызвать проблемы с электроснабжением. Именно поэтому вышеупомянутая запроектная авария была исследована

подробно. В указанных аварийных условиях отвод остаточных тепловыделений от активной зоны реактора осуществляется совместной работой системы пассивного отвода тепла и гидроемкостей второй ступени. Установлено, что автономность АЭС (отсутствие повреждения активной зоны) в этом режиме определяется запасом воды в гидроемкостях второй ступени (от 26 до 280 часов в зависимости от размера разрыва). Резервный запас воды в бассейне выдержки позволяет обеспечить автономность для любого размера течи не менее 72 часов для разрывов любого размера. После исчерпания запасов воды в гидроёмкостях второй ступени и бассейне выдержки, если не удалось восстановить нормальное или аварийное электропитание, может потребоваться подпитка реактора и бассейна выдержки от дополнительных гидроёмкостей, расположенных вне защитной оболочки (для некоторых проектов) или с помощью насосных агрегатов, запитанных от мобильного дизель-генератора с воздушным охлаждением. Использование мобильных дизель-генераторов с воздушным охлаждением – это пример модификации после аварии на АЭС «Фукусима». Причина использования воздушного охлаждения основана на предположении, что вода в качестве охладителя дизель-генератора может быть недоступной.

#### 4. ТЕНДЕНЦИИ ВАБ

Авария на АЭС «Фукусима» в Японии оказывает непосредственное влияние на развитие ВАБ. Это - вызов разработчикам ВАБ. Следующие выводы, сделанные при изучении аварии на АЭС «Фукусима», должны стимулировать направление дополнительных усилий на следующие аспекты развития ВАБ [4]:

- Анализ комплексных внутренних/внешних событий. После аварии на АЭС «Фукусима» в Японии основное внимание должно быть обращено на характерные для площадки внешние воздействия, которые существенны для АЭС, имеющих внутренне присущие свойства безопасности. В России эта работа выполнялась до аварии на АЭС «Фукусима» и продолжается после нее. Последствия аварии на АЭС «Фукусима» показывают, что комбинации воздействий могут быть существенными для риска. Фактически, анализ множественных событий должен включать систематическую проверку зависимостей между всеми внутренними и внешними воздействиями. Очевидно, что комбинации воздействий могут оказать значительно более высокое влияние на безопасность АЭС, чем каждое индивидуальное событие, рассматриваемое отдельно. С другой стороны, частота коррелированных событий может быть сопоставимой с частотой индивидуальных воздействий. Относительно опыта от аварий в Японии, произошедших 11 марта 2011 года, можно обнаружить, по крайней мере, три типа зависимостей между воздействиями. Во-первых, сейсмическое воздействие вызвало другое внешнее воздействие (цунами). Во-вторых, пожар (внутреннее воздействие) произошел в турбинной секции АЭС «Онагава» после землетрясения (внешнее воздействие). В-третьих, затопление, вызванное действиями по восстановлению путем залива помещений АЭС «Фукусима» большим объемом воды, оставило в состоянии неработоспособности насосы системы безопасности этой АЭС. Анализ комбинированных внутренних/внешних событий, как определено предполагается, является чрезвычайно трудоёмким.
- Сейсмический ВАБ. После аварии на АЭС «Фукусима» специальное внимание уделено разработке сейсмического ВАБ. Полномасштабный сейсмический ВАБ для действующего энергоблока-1 Балаковской АЭС был закончен к концу 2011. Ряд важных результатов, особенно найденных во время обходов АЭС, находятся сейчас на экспертизе в регулирующем органе. Проблема заключается в том, что сейсмический ВАБ является очень трудоёмкой задачей. Наша главная задача сейчас состоит в том, чтобы применить разработанную методологию сейсмического ВАБ для детального анализа проекта новых АЭС, построенных в сейсмических областях, таких как Индия, Турция и Болгария. Например, некоторые отдаленные последствия, такие как сейсмически вызванная потеря насосов дизельного топлива, могут стать существенными, если рассматривать долгосрочную потерю электроснабжения от энергосистемы. Повторные сейсмические толчки и их воздействие на ослабленные конструкции или оборудование могут также быть важными.

- Отсроченные последствия. Для новых проектов, характеристики которых позволяют отдалить повреждение отработавшего ядерного топлива в бассейне выдержки, необходимо рассмотреть более длительных послеварийных сроков и отсроченных последствий. Некоторые отсроченные последствия могут стать важными, если рассматривать долгосрочную потерю электроснабжения от энергосистемы. Очевидно, что после обесточивания насосы, охлаждающие отработавшее ядерное топливо в бассейне выдержки, должны быть запитаны от дизель генераторов, даже если водный запас достаточен, чтобы отводить остаточное тепло испарением в течение нескольких суток. Другими важными аспектами могут быть ресурсы, разделенные между бассейном выдержки и активной зоной или среди нескольких энергоблоков в случае длительной аварии или/и аварии многоблочной АЭС.

Относительно стандартного ВАБ, который выполняется для определения частоты повреждения активной зоны, намного более длительные времена выполнения функций при аварии (трое суток и более) нужно рассматривать в ВАБ для проектов новых АЭС по сравнению с обычным временем 24 часа. Аварии с продолжительностями, более чем 24 часа, или процедуры для событий, длящихся дольше, чем 24 часа, имеют очень большое значение. Например, как упомянуто выше, российские усовершенствованные ВВЭР оснащены пассивными гидроёмкостями второй ступени низкого давления с долгосрочной способностью функционировать. В это время активное аварийное охлаждение активной зоны не является необходимым. Поэтому, в этом случае 24-часовое время выполнения функции неадекватно, чтобы определить значение фактического вклада в частоту повреждения активной зоны от аварии с потерей теплоносителя первого контура. Вообще, расчеты для аварийных последовательностей должны быть расширены от момента времени, когда реактор был остановлен и другие системы безопасности приведены в действие, до того пока устойчивое долгосрочное состояние не будет достигнуто. С другой стороны, большее время выполнения функции может использоваться для действий восстановления и ремонта, обычно игнорируемых в ВАБ для существующих АЭС. Например, оценено, что частота повреждения активной зоны на АЭС «Белене» составляет  $1.93E-07$  в год для внутренних инициаторов и 24-часового времени моделирования, причем действия по восстановлению после аварии не рассматривались. Как альтернативу рассмотрели 720-часовое время выполнения функции, принимая во внимание возможные действия по восстановлению после 24 часов. Частота повреждения активной зоны увеличилась на  $1.2E-08$  в год и составила  $2.05E-07$  в год [5].

- Исследование аварий на многоблочной АЭС. Исторически некоторые аварии на многоблочной АЭС рассматривались в российских ВАБ, такие как обесточивание нескольких энергоблоков. Некоторые зависимости, такие как общие дизели, распределительные устройства, трансформаторы, теплообменники, и т.д. являются очевидными и обычно анализируются при выполнении ВАБ. Наиболее важными являются неявные зависимости, которые потенциально могут привести к одновременному отказу систем безопасности на смежных энергоблоках при длительной аварии. Запасы общей охлаждающей воды и дизельного топлива имеют большое значение. Другие важные аспекты - анализ надежности руководящего оперативного персонала в случае множественных аварий, так же как достаточности запасных частей и ремонтного персонала для нескольких блоков одновременно. Распределение доступных ресурсов может быть очень полезным применением ВАБ. Для многоблочной АЭС потенциальное распространение воздействия, как сейсмически вызванный пожар, к другим энергоблокам нужно также рассматривать в анализе.
- Необходимость иметь расширенный перечень аварийных инструкций для персонала на случай потенциальных запроектных аварий. Очевидно, что японский персонал оказался не готов к управлению этой аварией. Управление аварией и надежность персонала при выполнении действий по восстановлению при аварии должны рассматриваться в ВАБ. Основные, альтернативные или дополнительные системы и меры должны быть оценены методами ВАБ и внедрены в процедуры по управлению аварией с целью восстановить функцию систем важных для безопасности и предотвратить перерастание событий в более серьезные аварии.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы полагаем, что в проектах усовершенствованной российской АЭС, предложенным для строительства, реализован полный комплекс технических решений, позволяющих обеспечить безопасность АЭС и уменьшить до максимально возможного уровня выход радиоактивных сред в окружающую среду в условиях внешних (природных и техногенных) воздействий в сочетании с внутренними исходными событиями и дополнительными отказами. Главная цель - наша уверенность должна быть поддержана всесторонним, последовательным и прослеживаемым ВАБ высокого качества, который позволяет объяснить сущность проблем обеспечения безопасности при рассмотрении различных аспектов АЭС и может быть понятным для всех.

### Литература

- [1] Копытов И.И., Таранов Г.С. Применение пассивных систем безопасности в проектах АЭС с ВВЭР. 9-ая Международная научно-практическая конференция по проблемам атомной энергетики «Безопасность, эффективность, ресурс ЯЭУ», г. Севастополь, Украина, 4-6 октября, 2011 г.
- [2] Копытов И.И. Безопасность ВВЭР ТОИ при исходных событиях и отказах, имевших место на АЭС «Фукусима-1». Международный форум "Атомэкспо-2011", 6-8 июня 2011 г., г. Москва.
- [3] Морозов В.Б., Токмачев Г.В., Байкова Е.В. Вероятностный анализ безопасности АЭС "Белене" на этапе технического проекта. 7-ая Международная научно-техническая конференция «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР», 17-20 мая 2011 г., г. Подольск.
- [4] Морозов В.Б., Токмачев Г.В. Опыт, полученный при проведении ВАБ новых и усовершенствованных реакторов в России. Семинар OECD/NEA по ВАБ для новых и передовых реакторов, Франция, г. Париж, 20 - 24 июня 2011 г.
- [5] Морозов В.Б., Токмачев Г.В., Байкова Е.В., Чулухадзе В.Р., Федулов М.В. Оценка вероятностных показателей безопасности АЭС на длительном послеварийном периоде. Известия вузов. Ядерная энергетика. № 2, стр. 78-89, 2010 г.