

Безопасность современных проектов АЭС.

Уроки японской катастрофы.

Введение. На данном этапе развития, когда истощаются запасы органического топлива и резко растут цены на этот вид энергоносителей, а возобновляемые источники энергии, в силу особенностей их использования, не могут обеспечить базовую нагрузку в энергосистемах, человечество не может обойтись без атомной энергетики. Единственным путем ее успешного развития является постоянное подтверждение абсолютной безопасности.

В текущем году в истории атомной энергетики произошли два события, к которым было приковано внимание общественности во всем мире – 25-летие аварии на ЧАЭС и авария на АЭС Фукусима-1 (Fukushima-1) в Японии, вызванная землетрясением магнитудой 9 и последовавшим за ним цунами.

Одним из основных последствий этих аварии явилось осознание всеми членами сообщества необходимости серьезного переосмысления требований к безопасности, как к базовому условию дальнейшего развития атомной энергетики, в сторону их ужесточения. В очередной раз стало очевидным, что экономия в этой сфере может обернуться в любой момент грандиозными, и не только экономическими, потерями. С другой стороны, как показывает история, аварии на АЭС, в конечном счете, оборачиваются прогрессом для всей мировой атомной энергетики, поскольку в каждом отдельном случае делается глубокий анализ подробной информации о произошедшем и предпринимаются соответствующие меры для предотвращения подобного в будущем. Так, например, после аварии на ЧАЭС проблемам обеспечения безопасности на АЭС учеными, конструкторами, и другими специалистами атомной отрасли было уделено особое внимание, в результате их взаимодействия уровень безопасности современных АЭС был повышен на три порядка.

Представители ядерных держав озвучили первую реакцию на события 11 марта в Японии и предварительные решения по стратегическим планам атомных отраслей в их государствах. Большинство стран пока не отказывается от продолжения ядерно-энергетических программ. Однако глубокий анализ будущего атомной энергетики в каждой стране – впереди.

После событий на АЭС Фукусима-1 первоочередными мерами в большинстве стран, в которых работают атомные энергоблоки, явились масштабная проверка действующих реакторов (проведение «стресс-тестов») и ужесточение требований по безопасности для строящихся и

проектируемых атомных станций. К выработке единых наднациональных требований приступили группы при МАГАТЭ и Всемирной ассоциации операторов атомных станций.

20-24 июня в Вене прошла конференция МАГАТЭ на уровне руководителей министерств и ведомств по вопросам ядерной безопасности. К моменту венского форума вышли в финальной редакции два документа: отчет правительства Японии, подготовленный к этой конференции; отчет экспертной группы МАГАТЭ во главе с Майклом Вейтманом, изучавшей обстоятельства аварии в Японии.

В Вене принята декларация, характеризующая отчет МАГАТЭ и отчет, подготовленный японскими экспертами, как «предварительную оценку» японских событий и подчеркивающая необходимость получения в дальнейшем от обеих сторон «всеобъемлющего и абсолютно прозрачного» анализа аварии. В декларации предусмотрена разработка проекта плана действий по повышению ядерной безопасности с учетом уроков аварии на АЭС Фукусима-1 (документ будет рассмотрен на Совете управляющих, а затем в ходе 55-й сессии МАГАТЭ). На основе принятой на конференции декларации, а также окончательного отчета экспертной группы МАГАТЭ представит план действий по повышению ядерной безопасности с учетом уроков аварии на АЭС Фукусима-1 на сентябрьской Генеральной конференции.

Для Республики Беларусь, находящейся в окружении атомных станций, расположенных на зарубежных территориях важно отношение к безопасности АЭС в европейских государствах.

Будущее ядерной энергетики сделалось предметом острых дискуссий и среди стран-членов Евросоюза. 1 июня начата проверка ядерной инфраструктуры Европы. Евросоюз проведет комплексную проверку всех ядерных реакторов на своей территории, для того чтобы удостовериться в их безопасности. Проверке подвергнутся не только ядерные энергоблоки, но все без исключения объекты ядерной индустрии. Осуществлять тестирование (стресс-тесты) будет Европейская комиссия, а также независимые регуляторы.

Критерии стресс-тестов включают проверку надежности атомных станций на случай стихийных бедствий, в частности, землетрясений и наводнений, а также различных техногенных аварий. Кроме того, критерии включают широкий круг рисков, вызванных человеческим фактором – от ошибок оператора АЭС, до терактов на станции или падения на нее самолета. Также планируется проанализировать процедуры, разработанные на каждой АЭС на случай экстренной

ситуации, в частности, обеспечение внешнего электропитания критических систем станции, например системы охлаждения реактора.

Проверку надежности и безопасности эксплуатирующихся и строящихся АЭС провела и Россия. По мнению российских атомщиков, после аварии на АЭС Фукусима-1 стандарты безопасности должны стать «нормой международного права, которая будет обязательна для соблюдения всеми государствами».

Краткое описание аварии на АЭС Фукусима-1

11 марта вблизи северо-восточного побережья Японии произошло землетрясение с магнитудой 9, эпицентр которого находился в Тихом океане на расстоянии около 160 км от площадки размещения 6-ти энергоблоков (ЭБ) АЭС Фукусима-1 с разными поколениями реакторов типа BWR.

В момент землетрясения ЭБ 1, 2, 3 работали на мощности, а ЭБ 4, 5, 6 находились в состоянии планового останова для проведения периодического технического обслуживания и перегрузки ядерного топлива, причем на энергоблоке 4 вся активная зона была выгружена в бассейн выдержки, расположенный вне стальной герметичной защитной оболочки.

Справочно: Первые реакторы, на этой АЭС строились по так называемому проекту «Марк-1», разработанному компанией General Electric (GE) американскими специалистами. В отличие от современных АЭС и от более новых реакторов АЭС Фукусима-1 здания реакторов «Марк-1» очень невелики и тесны — фактически в них помещается только реактор и самые важные обслуживающие системы. Тогда разработчики оправдывали это уменьшением затрат на строительство. В защищенных зданиях реакторов не нашлось места для расположения аварийных дизель-генераторов, и их распределителей. Аварийные генераторы поместили по соседству, в машинных залах, где располагались турбины.

Здания с реакторами рассчитаны на сильные землетрясения и цунами, у них толстые бетонные стены и прочные двойные двери. Здания с турбинами менее прочные, особенно их двери.

Первый такой реактор заработал в 1971 г. Но в ходе эксплуатации инженерам ТЕРСО так не понравилась конструкция «Марк-1», что они попросили GE изменить ее, хотя еще не все запланированные реакторы были построены. GE предложила усовершенствованный проект — «Марк-2», по которому и был возведен последний на побережье, шестой, реактор. В здании было достаточно

места для размещения коммутатора и аварийных дизель-генераторов.

11 марта по сигналам от сейсмодатчиков (факту землетрясения) произошла автоматическая остановка энергоблоков 1, 2, 3 путем срабатывания систем аварийной защиты реакторов (САЗ).

Землетрясение вызвало разрушение внешней энергосистемы, что привело к длительному обесточиванию АЭС, т.е. к потере нормального энергоснабжения всех энергоблоков от внутренних и внешних источников. Подача электрической энергии, необходимой для работы системы аварийного отвода остаточных тепловыделений активной зоны реакторов и систем аварийного отвода тепла от отработавшего ядерного топлива в бассейнах выдержки (ОЯТ БВ), была обеспечена с помощью подключения аварийных дизель-генераторов.

Через час станцию накрыла волна цунами, которая затопила машинные залы, где располагались аварийные генераторы. Три дополнительных генератора, установленные в других зданиях, в отдалении на склоне холма, продолжали работать, но уже ничем не могли помочь реакторам № 1-4, поскольку коммутаторы, доставлявшие электричество от генераторов к системам охлаждения, были залиты в машинных залах и не работали.

Погубило станцию именно цунами. Защита станции была рассчитана на высоту волны 6.5 м, реальная высота волны оценивается в 15 метров (в некоторых источниках эта цифра больше).

В результате цунами отказали дизель-генераторы, но более катастрофические последствия случились в результате затопления нижних горизонтов станции, на которых находились все электрические коммуникации. Станция осталась без электроснабжения.

Из-за потери электроснабжения при наличии высокого остаточного тепловыделения происходило осушение корпусов реакторов, оголение топливных стержней, с последующим расплавлением и разрушением топливных сборок. Пар с радиоактивными продуктами вначале попал в герметичную зону вокруг корпуса реактора, затем произошел выход радиоактивных продуктов в окружающую среду, который сопровождался взрывами водорода.

В отличие от АЭС с реакторами с водой под давлением (типа PWR, ВВЭР российского дизайна) на АЭС с ВВР в системах аварийного охлаждения активной зоны дополнительно к насосам с электроприводом используются насосы с турбоприводом, которые снабжаются паром, генерируемым в реакторе за счет остаточных тепловыделений активной зоны после его остановки. Насосы с

турбоприводом могут подавать воду в реактор до тех пор, пока есть давление в реакторе, что обеспечивает меньшую зависимость выполнения функции аварийного охлаждения активной зоны от аварийных дизель-генераторов. Для работы насосов с турбоприводом кроме генерации пара в реакторе требуется также электропитание соответствующих управляющих систем и регуляторов (клапанов), подача которого производится от аккумуляторных батарей в течение ~ 8 часов после отказа дизель-генераторов.

Использование насосов с турбоприводом обеспечило создание запаса времени для доставки на АЭС аккумуляторных батарей и портативного генератора с других АЭС, которые были доставлены на АЭС вертолетами в течение 13 часов.

Однако генераторы не могли быть подключены к системам безопасности вследствие высокого уровня воды на поверхности площадки, образовавшегося после цунами, и затопления помещений, где располагались эти системы.

Подача воды в реактор от насосов с турбоприводом, по-видимому, с течением времени прекратилась из-за ограниченного запаса воды при работе по разомкнутому циклу или исчерпания емкости батарей. Прекращение охлаждения активной зоны привело к росту давления в реакторе, сбросу пара из него через предохранительные (сбросные) клапаны в объем первичной стальной защитной оболочки и снижению уровня теплоносителя в активной зоне. Снижение уровня теплоносителя в активной зоне привело к оголению верхних частей топливных элементов, росту температуры, возникновению пароциркониевой реакции с выделением водорода и последующим повреждениям (разгерметизация оболочек и частичное разрушение) топливных элементов.

Выделяющиеся в процессе повреждения ядерного топлива радиоактивные продукты выбрасывались вместе с паром и водородом из корпуса реактора в объем первичной стальной защитной оболочки (ЗО), что привело к повышению давления в ЗО энергоблоков 1-3 более чем в 2 раза по сравнению с проектным значением и вызвало необходимость сброса среды из ее объема в объем вторичной негерметичной железобетонной оболочки.

Отсутствие охлаждения отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) бассейнов выдержки (БВ) привело к выкипанию запаса теплоносителя в БВ, оголению верхних частей топливных элементов, росту температуры, возникновению пароциркониевой реакции с выделением водорода и поступлению водорода в объем вторичной ЗО сначала на

энергоблоке 4, а затем и на энергоблоках 1-3.

Поступление водорода в объем вторичных ЗО привело, вследствие отсутствия пассивных рекомбинаторов, к взрыву водорода с последующим разрушением вторичных ЗО и выбросу выделяющихся в процессе аварии радиоактивных веществ (РВ) в окружающую среду.

Основные проведенные противоаварийные действия заключались в следующем: залив реакторов, защитных оболочек и бассейнов морской водой с бором на блоках 1-4 (коррозия, радиоллиз, отложения, сдвиг температуры начала пароциркониевой реакции); подключение блоков 1-4 к внешнему электроснабжению через проложенный кабель; организация подачи пресной воды в реакторы блоков 1-3; откачка радиоактивной воды из помещений с оборудованием; объявление зоны эвакуации –30 км.

Уроки аварии на АЭС Фукусима-1

Уроки, которые могут быть идентифицированы из предварительного рассмотрения аварии на АЭС Фукусима-1, обусловлены недостатками проекта этой станции, который был разработан в 60-х годах прошлого столетия.

Япония не единственная страна, в которой работают реакторы устаревших конструкций. Правда, Германия и Швейцария решили полностью отказаться от ядерной энергетики и закрыть в течение ряда лет все АЭС, а самые старые — уже сейчас. Но в США — несколько десятков реакторов, функционирующих более 30 лет, и 23 из них имеют ту же конструкцию, что и старые реакторы «Фукусимы-1». У некоторых из них в ближайшие годы истекает срок эксплуатации, и неизвестно, продлят ли его регуляторы.

В свою очередь недостатки проекта обусловлены недостаточным уровнем знаний о характеристиках природных явлений в районе размещения площадки АЭС, знаний о процессах протекания запроектных аварий с тяжелым повреждением ядерного топлива, а также несовершенством нормативной базы.

В качестве основных можно отметить следующие недостатки:

1) Площадка АЭС находится в районе высокой сейсмичности и цунами-опасности. Энергоблоки АЭС спроектированы на расчетные уровни землетрясения, характеризуемые величинами горизонтального пикового ускорения на поверхности площадки в диапазоне 0,42-0,52 g и расчетной высотой волны цунами 6,5 м.

Расчетный уровень землетрясения не был превышен, так как по данным сейсмических станций величина пикового ускорения не превышала 0,52 g, и АЭС выдержала без повреждения нагрузки от

произошедшего землетрясения. Однако расчетный уровень цунами был превышен более чем в 2 раза, что привело к затоплению площадки и явилось одной из основных причин катастрофы.

2) Цунами, также как и потеря электроснабжения АЭС, являются вторичными, зависимыми от землетрясения событиями. Поэтому в проектах АЭС должны рассматриваться комплексные воздействия, включающие воздействия от первичного события и всех зависимых от него вторичных событий природного и техногенного происхождения.

3) На АЭС не были предусмотрены технические средства и соответствующие руководства для действий персонала по предотвращению тяжелых аварий с повреждением ЯТ в активной зоне и ОЯТ БВ на случай возникновения полного обесточивания или полного отказа активных систем аварийного отвода тепла от ЯТ АЗ и ОЯТ БВ.

4) В проекте АЭС Фукусима-1 отсутствуют пассивные системы безопасности, выполняющие функции аварийного отвода тепла от ЯТ АЗ и ОЯТ БВ, а также пассивная система удаления водорода (каталитические рекомбинаторы) из первичной и вторичной ЗО.

Безопасность белорусской АЭС.

Республика Беларусь не меняет своих планов по созданию в стране атомной станции и Россия остается основным стратегическим партнером Беларуси. На сегодняшний момент российские требования к безопасности атомных реакторов самые жесткие в мире. Российские специалисты руководствуются принципом – «безопасности много не бывает».

Рассмотрим принципы безопасности, положенные в основу проектирования АЭС:

1. Принцип глубокоэшелонированной защиты и планирование защитных мероприятий. Принцип глубокоэшелонированной защиты представляет собой систему мер, обеспечивающую всестороннюю защиту атомной станции. Планирование защитных мероприятий – это комплекс мер, который исключает радиоактивное загрязнение местности, и облучение людей. Фактически зона эвакуации, при достигнутом уровне безопасности не выходит за пределы площадки станции.

Пять уровней эшелонированной защиты предусматривают регламент действий персонала станции во всех режимах – от нормальной эксплуатации до управления авариями с тяжелыми последствиями и локализации выбросов радиоактивных веществ.

В таблице ниже показаны уровни эшелонированной защиты.

Уровни эшелонированной защиты		
№	Цели безопасности	Способы реализации
1	Предотвращение отказов и нарушений нормальной эксплуатации	Выбор безопасной площадки размещения АЭС Консервативные принципы проектирования Система обеспечения качества при выборе площадки, проектировании, строительстве и эксплуатации Система подготовки персонала Культура безопасности
2	Контроль нарушений нормальной эксплуатации, обнаружение отказов и предотвращение аварий	Выявление отклонений от нормальной эксплуатации и их устранение Управление при эксплуатации с отклонениями
3	Управление авариями в проектных пределах	Постулированные сценарии Эксплуатационный регламент Системы безопасности и локализирующие системы
4	Управление тяжелыми авариями, локализация выброса	Дополнительные проектные меры для предотвращения перехода проектных аварий в тяжелые и смягчения их последствий
5	Планирование защитных мероприятий	Снижение риска для населения и окружающей среды за счет административных мер

2. Принцип самозащищенности реакторной установки. Принцип самозащищенности реакторной установки обеспечивается за счет подбора нейтронно-физических характеристик реактора, предусматривающих самостоятельное прекращение реакции деления в любой нештатной ситуации вне зависимости от действий оператора.

Российский энергетический реактор ВВЭР – самозащищенный реактор. Физика реактора обеспечивает самозащищенность на основе естественных обратных связей – «отрицательные коэффициенты реактивности».

3. Барьеры безопасности. Наличие не менее четырех независимых барьеров безопасности препятствует распространению радиации за пределы площадки станции.

Двойная защитная оболочка реактора – контайнмент – состоит из двух контуров – внутренней и наружной оболочки. Радиоактивные среды удерживаются внутри контайнмента. Толщина внутренней оболочки составляет 1200 мм высокопрочного армированного напряженного железобетона. Изнутри эта оболочка облицована сталью толщиной 6 мм. Внутренний свободный объем контайнмента составляет 75 000 кубических метров (*свободный объем реакторов Фукусимы был в 20 раз меньше*). Внутри контайнмента находится бак с запасом

борированной воды, которая может использоваться при возникновении нештатной ситуации для охлаждения реактора. Внешняя оболочка имеет толщину 800 мм и защищает реактор от внешних воздействий. Она выдерживает падение самолета, смерч и ураган, обледенение, наводнение, террористические атаки.

ВВЭР – двухконтурный реактор. Двухконтурная схема принципиально более безопасная, чем одноконтурная: в первом контуре нет пара, поэтому риск «оголения» топлива и его перегрева принципиально ниже.

4. Многократное дублирование каналов безопасности.

Каждый из четырех каналов безопасности имеет собственный дизель-генератор. Конструкция и расположение дизель-генераторов предусматривают работу в условиях затопления или наводнения.

На случай выхода из строя перечисленных выше систем безопасности российские ВВЭР оснащены системой управления запроектными авариями. Эта система включает: систему удаления водорода (с пассивными рекомбинаторами); систему защиты первого контура от превышения давления; пассивную систему отвода тепла через парогенераторы; пассивную систему отвода тепла от защитной оболочки; устройство локализации расплава (ловушка расплава).

Система удаления водорода. Система представляет собой комплекс каталитического окисления водорода с образованием воды и предназначена для предотвращения возникновения гремучей смеси, способной разрушить контеймент. Эффективность работы системы удаления водорода повышается с ростом температуры.

Система защиты первого контура от превышения давления включается автоматически и не требует участия оператора.

Пассивные системы отвода тепла обеспечивают отвод избыточного тепла в случае остановки реактора при отсутствии внешнего энергоснабжения. Работают за счет естественной циркуляции и не требуют вмешательства оператора. Не содержат вращающихся деталей.

Уникальной особенностью ВВЭР российского производства является наличие ловушки расплава. Ловушка расплава представляет собой жаропрочный тигель весом 250 тонн для защиты шахты реактора в случае расплава активной зоны. Обеспечивает локализацию расплава и предотвращает выход радиоактивных элементов за пределы герметичной оболочки при любых сценариях.

Так, например, наличие комплекса мер безопасности, включая наличие ловушки расплава, позволило МАГАТЭ признать Тяньванскую

АЭС (Китай) самой безопасной в мире. Балтийская и Белорусская АЭС являются копиями Ленинградской АЭС-2, прототипом которой, в свою очередь, является Тяньваньская АЭС.

5. Применение пассивных систем безопасности. Пассивные системы безопасности не требуют источников энергии и не содержат вращающихся элементов. При полной потере внешнего энергоснабжения пассивные системы безопасности обеспечивают остановку реактора и отвод остаточного тепловыделения за счет естественных законов природы

6. Концепция безопасности, предусматривающая не только средства предотвращения аварий, но и средства управления последствиями запроектных аварий, обеспечивающие локализацию радиоактивных веществ в пределах гермооболочки.

В случае тяжелой аварии предусматривается наличие специальных устройств, которые даже в случае самой тяжелой аварии не позволяют радиоактивным веществам выходить за пределы защитной оболочки.

7. Культура безопасности на всех этапах жизненного цикла. Культура безопасности на всех этапах жизненного цикла предусматривает выбор площадки, консервативный принцип проектирования, систему подготовки кадров, систему независимого надзора и т.д. вплоть до вывода станции из эксплуатации. Культура безопасности – это внутренняя психологическая и квалификационная готовность и способность персонала станции к обеспечению ее безопасной эксплуатации. Безопасность станции имеет наивысший приоритет.

8. Собственные силы и средства ГО и ЧС на каждой АЭС. Существующие нормативы предусматривают наличие на каждой станции собственных подразделений гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций, в обязанность которых входит обеспечение безопасности при возникновении нештатных ситуаций (*На АЭС Фукусима таких подразделений не было. Государственная система реагирования оказалась перегруженной ликвидацией последствий землетрясения и цунами и не смогла эффективно обеспечить безопасность станции в условиях катастрофических разрушений, в том числе и инфраструктуры пожарных служб*).

Собственные силы и средства гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций представляют собой штатную структуру, находящуюся в постоянной боевой готовности оперативно предотвратить последствия любой аварии. Штатная структура

подобного рода является уникальной особенностью российских проектов.

Собственные подразделения ГО и ЧС на каждой АЭС оснащены необходимыми техническими средствами, в том числе резервными источниками питания и резервными насосами. Технические средства на энергоблоке для подключения внешних источников питания и внешних насосов (штуцеры) разнесены на разные стороны энергоблока. Убежища и средства защиты персонала имеются на площадке каждой АЭС. Убежища оснащены резервными системами управления энергоблоком.

После чернобыльской катастрофы на всех российских АЭС предусмотрены внешние разъемы для подключения источников энергии и электроснабжения (*этого не было на Фукусиме*). Нормативы предусматривают дублирование таких разъемов на разных сторонах энергоблоков, что также является дополнительной мерой безопасности.

9. Принцип выбора площадки АЭС в местах, где отсутствуют запрещающие факторы. Принципы выбора площадки предусматривают запреты на строительство и эксплуатацию атомных станций в местах, не соответствующих нормативным требованиям (*по российским нормативам строительство станции на том месте, где располагалась японская станция Фукусима, запрещено*).

О состоянии защищенности АЭС с реакторами нового поколения ВВЭР-1000, ВВЭР-1200 в случае возникновения чрезвычайных ситуаций

Проектные решения по безопасности для энергоблоков АЭС с ВВЭР нового поколения направлены на создание АЭС с повышенным уровнем безопасности, чтобы общий риск от эксплуатации АЭС был настолько мал, насколько это разумно достижимо (принцип ALARA). При этом должны, безусловно, выполняться требования действующих в России нормативных документов по безопасности, а так же рекомендации МАГАТЭ, EUR и других международных организаций.

Концепция безопасности Концепция безопасности в проектах АЭС с реакторами ВВЭР нового поколения основывается на применении детерминистических (инженерных) принципов современной концепции глубокоэшелонированной защиты и применении вероятностных анализов безопасности (ВАБ) для количественной оценки достигаемого уровня безопасности. При формировании концепции безопасности учитывались недостатки

проектов действующих АЭС с ВВЭР-1000 (В-320), определенные по результатам ВАБ для энергоблоков Балаковской АЭС.

Концепция безопасности в проектах АЭС с реакторами ВВЭР нового поколения основывается на следующих основных принципах.

- Выбор площадки размещения АЭС, основывающийся на обеспечении минимизации влияния максимальных расчетных уровней воздействия от характерных для района размещения площадки внешних воздействий природного (землетрясения, цунами, наводнения, смерч, ураган, торнадо, высокие, низкие температуры окружающей среды, осадки в виде дождя, снега и т.п.) и техногенного (аварии на воздушном, водном, наземном транспорте, разрушение плотин, гидротехнических сооружений, ударная волна и т.п.) происхождения.

На рисунке схематично представлены вероятные внешние воздействия, учтенные при проектировании АЭС с реакторами ВВЭР нового поколения.



В проектах предусматриваются достаточные запасы прочности для предотвращения повреждения важных для безопасности зданий, строительных конструкций, сооружений, оборудования при возникновении различных внешних воздействий и их сочетаний. Например, выбором площадки для Ново-воронежской АЭС-2 исключено затопление ее от экстремального наводнения, поскольку площадка расположена на 20 м выше уровня воды в водохранилище. Принципиально не существует каких-либо сочетаний событий, которые могли бы привести к затоплению площадки АЭС.

- Применение принципа функционального и/или конструктивного разнообразия в системах, выполняющих каждую отдельную функцию

безопасности. Применяются взаиморезервирующие одна другую системы безопасности «активного» и «пассивного» принципов действия, что обеспечивает защиту от отказов по общей причине (ООП) и позволяет на несколько порядков повысить показатели надёжности выполнения функций безопасности (ФБ).

- Использование каналов «активных» СБ для выполнения функций нормальной эксплуатации, что позволяет повысить уровень готовности систем безопасности и обеспечить дополнительную защиту от ООП, исключаются скрытые отказы.

- Расширенное применение пассивных СБ, для функционирования которых не требуется подача электропитания, каких-либо сред и управляющих сигналов, а также каких-либо действий оперативного персонала.

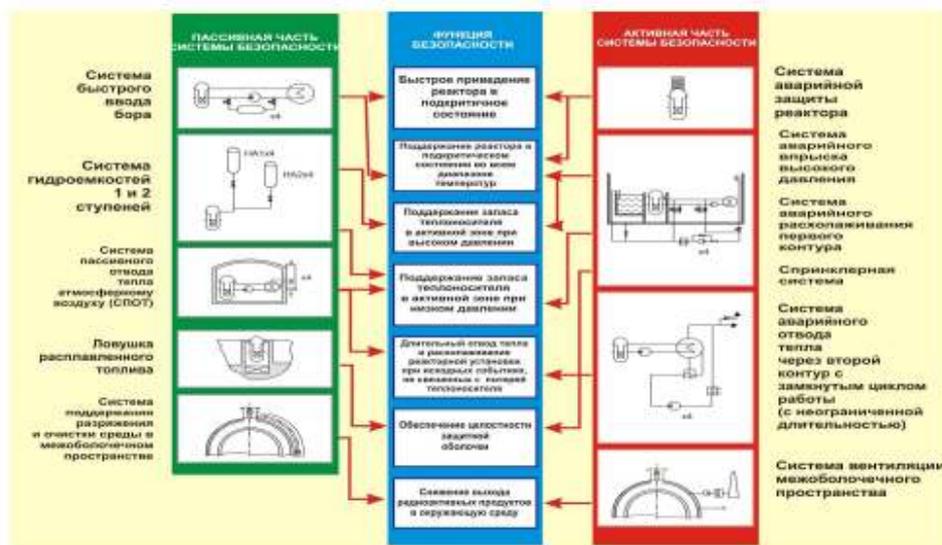
- Обеспечение защиты от ошибочных действий персонала за счёт повышения уровня автоматического управления системами (исключение действий персонала) при возникновении проектных аварий; применение пассивных СБ.

- Применение двойной защитной оболочки полного давления с пассивными системами (рекомбинаторами) удаления водорода, ловушки расплавленного ядерного топлива, обеспечивающей не превышение установленных значений предельного выброса при запроектных авариях с тяжёлым повреждением активной зоны.

- Создание достаточных запасов времени для управления глубоко запроектными авариями для предотвращения тяжёлых повреждений ядерного топлива.

Реализация концепции безопасности представлена на рисунке.

Конфигурация систем безопасности



Выводы

Принятые в проектах АЭС нового поколения с реакторами ВВЭР-1000, ВВЭР-1200 (реактор АЭС-2006) решения по обеспечению безопасности позволяют достичь уровня «практической» безопасности, характеризуемого вероятностью превышения установленных для проектных аварий показателей радиационного воздействия на население и окружающую среду величиной $3 \cdot 10^{-8}$ за один год эксплуатации одного энергоблока, что эквивалентно значениям вероятности природных катаклизмов.

Безопасность атомных станций сегодня оценивается по вероятностному методу. Приемлемым уровень безопасности считается в случае вероятности одного события с тяжелыми последствиями на 100 тысяч лет. Для действующих энергоблоков эта вероятность даже ниже. И до Фукусимы все события с вероятностью более чем 10^{-5} считались невозможными и практически не рассматривались. После событий на Фукусиме специалисты считают необходимым переход от вероятностных к детерминистским оценкам. Вероятностная оценка устарела, и это лишь один из инструментов, который позволяет оценить безопасность атомной станции. Сейчас весь мир будет работать над тем, чтобы требования, предъявляемые к атомным станциям, позволяли получить конкретный ответ – безопасна станция или нет. Ошибка, приведшая к аварии на Фукусиме, связана не с вероятностным критерием безопасности, а с теми исходными данными, которые были заложены в основу расчетов. При поднятии нулевого уровня станции на 10-20 метров аварии бы не случилось.

Российские специалисты и сегодня считают, что вероятность 10^{-5} достаточна для того, чтобы считать реактор безопасным. Но в сложившейся ситуации (даже для внутренней убежденности в безопасности атомных реакторов для предотвращения сценария событий, произошедших на Фукусиме) Росатомом разработаны краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные меры. Эти меры уже начали реализовываться.

Под краткосрочными мерами подразумеваются те, которые японские специалисты вынуждены были делать в первые дни после аварии. Все блоки должны быть обеспечены аварийными дизель-генераторами, необходимым количеством сборных трубопроводов, шлангов, необходимым запасом воды, дизель-насосными установками. При наличии таких средств на станции Фукусима разрушения топливных сборок удалось бы избежать. Реализовать эти меры Росатом планирует в течение срока от двух месяцев до полугода.

Среднесрочные меры предполагают более глубокие изменения в проектах. В ближайшее время проектировщики получают техническое задание на изменения проектов. Изменения будут реализованы в течение одного-двух лет.

В качестве долгосрочной меры рассматривается постепенный вывод из эксплуатации устаревших энергоблоков с заменой их на более современные. В перспективе необходим переход на принципиально новую атомную энергетику, прообразом которой считаются реакторы на быстрых нейтронах с замыканием топливного цикла.

При подготовке материала были использованы доклады, представленные на Форуме-диалоге «Атомная энергия, общество, безопасность», 19-20 апреля 2011 г., Санкт-Петербург и материалы сайтов:

<http://www.voanews.com/russian/news/Analysis-and-perspectives/World-Atom-Fukushima-2011-05-31-122891619.html>,
Nuclear.ru/,
<http://energobelarus.by>,
<http://www.atomic-energy.ru/news/2011/06/20/>,
<http://www.iaea.org/>