



Виктор СИДОРЕНКО, советник директора
НИЦ «Курчатовский институт»

Стратегия и пути

Безопасность использования
атомной (ядерной) энергии.
Основные понятия и цели



Введение

Любая энергетическая технология обладает определенной опасностью, т. е. возможностью вредного воздействия на человека и окружающую среду, несет в себе угрозы здоровью и жизни эксплуатационного персонала и населения. Наряду с опасностями других технологий, ядерная технология обладает специфической опасностью, обуславливающей особый подход к обеспечению безопасности ее использования.

При этом имеются в виду все виды ядерной технологии и применяемые технологические процессы (исключая, естественно, использование ядерного оружия по его прямому назначению).

Специфической опасностью использования атомной энергии (ядерной технологии) являются ядерное излучение различных видов (гамма, бета, альфа, нейтронов) и возможность большого неуправляемого выделения энергии в ядерных установках, применяющих делящиеся ядерные материалы.

Помимо этих двух объективных факторов, обусловивших особый подход к формированию технической политики, обеспечивающей безопасность использования атомной энергии, в том числе и ядерной энергетики, существует и ряд других причин, потребовавших особых подходов к нормативно-правовому регулированию использования атомной энергии во всем мировом сообществе.

Обостренное внимание и обеспокоенность населения опасностью использования атомной энергии определяются, с одной стороны, исторически произошедшей демонстрацией последствий применения ядерного оружия и, с другой стороны, уникально высокой возможностью средств обнаружения ядерного излучения, несравнимой с возможностями фиксации опасных факторов в других технологиях, а также нечувствительностью к ним естественных органов чувств человека.

Эти обстоятельства привели к тому, что в практической деятельности установлен несоизмеримо больший разрыв между опасными для здоровья и узаконенными предельно допустимыми значениями количественных показателей опасности в ядерной области по сравнению со всеми другими технологиями. Это усиливает опасения и отрицательное отношение населения к этой технологии.

Еще одной важной причиной особого внимания и особых подходов к нормативно-правовому регулированию деятельности в этой области является возможность двойного применения ядерных процессов (гражданского и военного), из-за чего безопасность использования атомной энергии приобретает международный характер. В результате ее регулирование развивается как самостоятельная область обеспечения безопасности, отличающаяся в своих подходах от других технологий и технологических опасностей. Это диктует неизбежность того, что правовая

и нормативная система обеспечения и регулирования безопасности использования атомной энергии не может следовать традициям и регулироваться системой, действующей применительно к другим технологиям.

В этой связи регулирование безопасности использования атомной энергии (как государственное, так и межгосударственное) становится важнейшим фактором обеспечения безопасности ядерной технологии.

Основные понятия и цели

Формируя подходы к обеспечению безопасности ядерной технологии («философию» или «концепцию» ядерной безопасности), следует разделить прямые факторы опасности (в данном случае — ядерное излучение, сопровождающее технологический процесс) и потенциальную опасность неуправляемого выделения энергии и аварийного распространения радиоактивных веществ, образующихся и накапливающихся во время работы ядерной установки и также являющихся источниками ядерного излучения.

Реализация потенциальной опасности при нарушениях в работе ядерной установки имеет долговременные последствия в виде реальной долговременной опасности радиоактивных веществ.

В соответствии с этим формируются две параллельные линии обеспечения ядерной безопасности: защита от радиации и предотвращение потенциальной опасности.

Первое направление наполняется содержанием вокруг нормативного понятия «радиационная безопасность». Термин радиационная безопасность характеризует защиту человека и населения от радиации.

Применение термина радиационная безопасность по отношению к ядерной установке обычно также характеризует достаточную защищенность человека от излучения, генерируемого данным объектом.

Второе направление (предотвращение потенциальной опасности ядерной установки) исторически получило различное терминологическое оформление.

По существу в ядерной установке первопричиной и источником опасности являются ядерные процессы, происходящие в установке, а проявляется опасность в форме ядерного излучения, радиации, поэтому следовало бы обеспечение защиты от этой специфической опасности, ее предотвращения, называть ядерной безопасностью, что сделано в английской терминологии (nuclear safety).

В российской терминологии, связанной с ядерной технологией, сформировавшейся самостоятельно, исторически под ядерной безопасностью было определено предотвращение самопроизвольной, неконтролируемой цепной реакции деления. Это закреплено также в названиях ведомственных и государственных контролирующих и надзорных органов, названных органами (комитетами) по ядерной безопасности и контролировавших только невозможность самопроизвольной цепной реакции. На это были направлены специально правила ядерной безопасности (ПБЯ). Вопросами контроля излучения и защиты человека от радиации занимались другие структуры, санитарные органы, системы здравоохранения, формировавшие целенаправленную систему норм и правил защиты от радиации, санитарные правила, правила радиационной безопасности.

При формировании в стране единой системы норм и правил в гражданской ядерной энергетике не сочли возможным

разрушить сложившийся набор понятий, и для характеристик безопасности ядерной установки стало использоваться сочетание двух терминов: ядерная и радиационная безопасность.

Это породило и порождает путаницу и нечеткость в понятиях как в назначении нормативных документов, так и в полномочиях органов надзора и т. п.

В некоторых практических случаях вынуждены идти на дополнительные определения, определения целевой направленности правил и разделение полномочий контролирующих органов. В частности, в санитарных правилах атомных электростанций регулируются и пределы облучения, и технические решения, определяющие характеристики систем безопасности, контролируемые разными надзорными органами.

Проблема терминологии не является второстепенной проблемой. Это подтверждается практикой нормотворчества, в том числе и в области ядерного права. Перманентно и вполне оправданно будируется вопрос о совершенствовании и актуализации правовых и нормативных документов в области использования атомной энергии. В частности, эта задача является предметом обсуждения на регулярно проводимых форумах, посвященных атомной энергии. В качестве первоочередной задачи в области актуализации атомного права на форуме 2011 года названа задача создания внутренне согласованной, адекватной содержанию используемых понятий и корректной терминологии.

Примыкает к этой проблеме выбор оптимальной формы правовых актов и нормативных документов. По существующей традиции составления таких документов в начальный раздел документа «термины и определения» выносятся также понятийные определения (например, «ядерная установка», «ядерная безопасность» и т. д.), которые в этом случае берут на себя функции опережающего изложения содержательных положений нормативного документа вне его логической нити и без увязки с другими нормативными положениями, что может приводить к неоднозначности толкований смысла вводимого понятия.

В качестве прецедента противоположного подхода можно назвать действующую версию федерального закона «Об использовании атомной энергии», где смысл термина разъясняется в тексте статьи, излагающей связанную с этим понятием правовую норму.

Представляется целесообразным применительно к задаче нейтрализации потенциальной опасности ядерного объекта использовать термин «ядерная безопасность».

Обеспечение ядерной безопасности в широком понимании этого термина возможно лишь за счет нейтрализации всех видов технологических нарушений и тем самым — всех разновидностей технологической опасности: технической (предотвращение разрушения конструкций и оборудования), пожарной (предотвращение и прекращение горения).

Подход к достижению этой цели должен быть в принципе системным; невозможно и недопустимо решать каждую задачу отдельно. Отсюда вытекает и недопустимость разделения областей регулирования и структуры надзорных органов.

Радиационная безопасность ядерной установки во всех эксплуатационных условиях базируется на измеряемых показателях источников ядерного излучения и количественно обоснованной эффективности средств радиационной защиты, составляющих элементы конструкции и сооружений установки.

Мерой приемлемости защитных мер является сопоставление уровней излучения в конкретных местах и конкретных условиях со значениями, допустимыми (безопасными) для человека.

Аналогичным образом ограничиваются эксплуатационными системами очистки от радиоактивных веществ газовые выбросы и жидкие сбросы, поступающие в окружающую среду от ядерной установки. Ограниченные измеряемые количественные значения выходящих вовне радиоактивных веществ сопоставляются с допустимыми (безопасными) их концентрациями во всех природных компонентах.

Достижимые на практике результаты в нормальных эксплуатационных условиях позволяют ядерным установкам (в первую очередь атомным станциям) претендовать на место наиболее экологически чистых источников энергии.

Объективно существующей проблемой в этом направлении безопасности ядерной установки является ограниченное понимание механизма воздействия излучения на организм и связанная с этим возможная некорректность необходимых количественных значений допустимых уровней излучения и радиоактивного загрязнения. Этим вызывается периодическое изменение значений нормативных ограничений по мере накопления новых знаний.

Консерватизм в установлении нормативных значений обеспечивает определенную надежность радиационной безопасности и оставляет возможность оптимизации технических решений по мере повышения достоверности медико-биологических знаний.

Безопасность ядерной установки по отношению к потенциальной опасности определяется эффективностью предотвращения аварийных ситуаций, в результате которых радиоактивные вещества могут выйти за границы устройств, в которых протекают управляемые ядерные процессы.

Возможность и характер аварийных ситуаций определяются самыми различными факторами, связанными с характеристиками и конструкцией установок и их обслуживанием, и в ограниченной степени поддаются целенаправленному управлению.

В итоге предотвращение и ослабление потенциальной опасности ядерной установки становятся центральным содержанием задачи обеспечения ядерной безопасности.

Эта цель реализуется в результате выбора принципиальных проектных решений, обеспечением надежности конструкции установки, условиями эксплуатации, оснащением установки специальными системами и устройствами безопасности, тщательным обслуживанием и контролем. Все эти элементы определяют также содержание и направленность специальных норм и требований ядерной безопасности.

Дополнительные гарантии достижения сформулированных требований безопасности должны давать внешний надзор и контроль в форме системы регулирования ядерной безопасности.

Стратегия и пути обеспечения безопасности

В настоящем очерке сосредоточимся на безопасности ядерных энергетических установок и в первую очередь атомных станций.

В соответствии с существом процессов, происходящих в ядерной энергетической установке, и конечной целью —

предотвратить опасное радиационное воздействие на человека и загрязнение окружающей природы при отклонениях от нормальной эксплуатации и авариях — ядерная безопасность связана с осуществлением трех фундаментальных технических функций:

- удержание под контролем цепной реакции деления;
- отвод тепла, выделяющегося в процессах деления ядерного топлива и излучения образовавшихся радиоактивных веществ;
- удержание радиоактивных веществ в пределах соответствующих барьеров.

Для эффективного осуществления каждой из этих функций декларируются два принципа с соответствующей расстановкой приоритетов:

- принцип предотвращения аварий. В обеспечении безопасности первоочередное внимание уделяется предотвращению аварий, особенно тех, которые могли бы привести к серьезному повреждению активной зоны;
- принцип ослабления аварий. На станции и за ее пределами предусмотрены и подготовлены меры по ослаблению, которые могли бы существенно уменьшить выход и последствия аварийного выхода радиоактивных веществ. Эта система мер и средств формирует процесс «управления авариями».

Последовательная реализация этих принципов формирует всеобъемлющую стратегию глубокоэшелонированной защиты.

Эта стратегия предусматривает наличие в ядерной установке нескольких последовательных барьеров на пути возможного распространения радиоактивных веществ, а также меры и средства для защиты этих барьеров, обеспечивающие их эффективность и формирующие последовательно несколько уровней защиты, ориентированных на выполнение каждой из технических функций безопасности при возникновении и возможном развитии аварийной ситуации.

Типичная структура защитных барьеров и уровней защиты достаточно четко представлена в действующих нормах и правилах, регламентирующих ядерную безопасность. С уровнями защиты увязаны требования к системам нормальной эксплуатации, специальным системам безопасности, обеспечивающим эффективное выполнение технических функций безопасности после нарушения нормальных условий, а также средствам управления авариями.

Здесь же следует подчеркнуть, что требования к характеристикам систем безопасности и управления авариями и их практическое исполнение определяются конкретными особенностями ядерной установки, формирующими ее исходную опасность.

В иерархии обеспечения ядерной безопасности уменьшение исходной опасности объекта присутствует как важнейшая форма предотвращения аварий на первом уровне защиты (который обычно определяется как предотвращение опасных отклонений от нормальной эксплуатации).

Цель уменьшения исходной опасности объекта достигается оптимальным выбором его конструкции, наличием необходимого комплекса свойств и характеристик. Свойства и характеристики объекта далее определяют возможную эффективность и стоимость защитных средств. В условиях неизменного повышения ожидаемого уровня безопасности (требований ядерной безопасности) и удорожания по этой причине мер безопасности и всей энергетической установки реальные успехи в движении к указанной цели становятся центральной задачей развития технологии.



Происходившие аварии периодически обостряли значимость этого направления; проработка новых энергетических установок для перспективного развития ядерной энергетики привела к активному развитию и практическому применению соответствующих технических решений.

Охарактеризуем это направление как максимальное использование и развитие свойств внутренней самозащищенности (или «внутренне присущей безопасности»).

Сюда можно отнести такие группы технических свойств, решений и т. п.:

- максимально возможное устранение и уменьшение опасных факторов (уменьшение запаса реактивности, снижение давления, температуры, химической активности теплоносителя, выбор соответствующих материалов, условий их работы, установление соответствующих запасов в эксплуатационных условиях и др.);

- эффективные отрицательные обратные связи при отклонении процессов от нормы, обеспечивающие самогашение аварийных процессов;

- использование естественных и саморегулируемых процессов, исключающих или уменьшающих возможность исходных аварийных отказов, повреждений и др.;

- максимально возможное повышение инерционности процессов, облегчающее и повышающее эффективность преодоления опасного развития событий, создающее дополнительные резервы времени для эффективного вмешательства оператора в процесс;

- максимальное использование естественных процессов, самосрабатывающих устройств прямого действия и др. (непосредственно по режимному параметру или состоянию процесса и т. д.).

Аналогичным образом совершенствуются (повышаются эффективность и надежность, удешевляются)

средства управления авариями; в системах безопасности – максимальное применение пассивных технических средств, т. е. средств, не требующих источников энергии или вспомогательных (иницирующих) механических устройств.

Следует особо подчеркнуть, что последовательное осуществление стратегии глубоководной защиты при создании ядерного энергоисточника должно быть основой обеспечения его безопасности при любом уровне использования внутренних свойств безопасности, уменьшающих исходную опасность объекта.

Следует также выделить один немаловажный аспект, который связан с внедрением в практику принципиально новых подходов, существенно меняющих конструкцию или структуру систем ядерной установки.

В концепции ядерной безопасности сформулирован важный принцип «использование апробированных решений», что подразумевает реализацию достаточно представительной формы такой апробации. Это в зависимости от характера и масштаба нового технического шага может быть и представительное научное исследование либо стендовое испытание изделия, либо ресурсное испытание в условиях объекта, либо степень новизны может требовать создания и эксплуатации установки (станции)-прототипа, призванного выявить скрытые проблемы нового решения и обосновать надежный переход к стадии промышленного внедрения.

Следует особо упомянуть один фактор, который в некоторых случаях может иметь значение при формировании стратегических решений развития ядерной энергетики, – уменьшение количества радиоактивных продуктов деления, накапливаемых при работе ядерной установки. Это может достигаться, например, уменьшением единичной мощности установки. Возможна реализация системы с постоянным или периодическим удалением осколков деления из активной зоны.

Изложенная здесь концепция обеспечения ядерной безопасности сформирована всем предыдущим развитием ядерной энергетики. В то же время при рассмотрении будущего развития иногда предлагаются новые концепции, преподносимые как принципиально новые. Внимательное их рассмотрение позволяет констатировать, что все они (если оставить в стороне минимизацию радиоактивных отходов) сводятся к формированию конкретных (качественных и количественных) требований к конструкции и проектным решениям ядерно-энергетической установки, в которой должны быть реализованы в приемлемой степени свойства внутренне присущей безопасности, самозащищенности.

В конечном счете формулирование конкретных технических требований направлено на выбор таких конструкций и свойств, которые бы максимально возможным образом повышали надежность выполнения функций ограничения мощности, обеспечения теплоотвода и сохранения теплоносителя, удержания радиоактивных веществ, длительного отвода тепла.

Важным системным требованием к объектам развивающейся ядерной энергетики является обеспечение такого уровня безопасности, который исключал бы какие-либо дополнительные ограничения по их размещению по сравнению с объектами других энергетических технологий.

Все это позволяет констатировать, что в целом направленность конкретных действий при создании установки для перспективной ядерной энергетики по своему содержанию не выходит за рамки сформулированной концепции ядерной безопасности.



Тем не менее по отношению к «новым концепциям» остается беспокойство терминологического характера. Нечеткость в понятиях и неправомочность их применения создают основу для ложного понимания предлагаемых технических решений и дезинформации относительно их ожидаемой эффективности. К ним относятся такие понятия, как «естественная безопасность».

Некоторые разработчики новых ядерных установок использование в установке конкретных, объективно «естественных» процессов в качестве базы формирования безопасности этой установки преподносят как общую характеристику результата – «естественная безопасность», что воспринимается неспециалистами и многими специалистами как «абсолютная безопасность». Может ли быть абсолютная безопасность? Естественный ожидаемый ответ, что нет. Такое понятие в научно-технической сфере недопустимо.

Тяжелые аварии

Особо следует обсудить случившиеся в ядерной энергетике серьезные аварии и их влияние на технические решения для последующего развития и на саму концепцию обеспечения ядерной безопасности.

Первая – в 1979 году на АЭС «Три-Майл-Айленд» в США.

Авария привела к разрушению активной зоны реактора, но основные принципы безопасности и проектные решения, препятствующие распространению радиоактивных продуктов за пределы станции, предотвратили человеческие жертвы и радиоактивное заражение местности. На основании

полученного опыта для предотвращения тяжелых аварий в будущем были разработаны и реализованы меры, направленные на лучший учет роли человеческого фактора, использование вероятностных оценок безопасности, совершенствование систем безопасности и аварийного планирования.

Вторая – в 1986 году на Чернобыльской АЭС в СССР.

Практически случилась авария с максимальными возможными последствиями. Персоналу и аварийным командам удалось предотвратить распространение аварии на три других энергоблока этой АЭС. В результате погиб 31 человек; обширные территории подверглись радиоактивному загрязнению. Авария привела к повышенному числу раковых заболеваний щитовидной железы и другим негативным последствиям для здоровья людей и оказала огромное психологическое влияние на общество.

В итоге после извлечения уроков из этих аварий ядерное сообщество изменило подход к регулированию ядерной безопасности и проектированию АЭС, разработало принципы безопасности, внедрило в каждодневную практику фундаментальный принцип культуры безопасности. Был создан международный режим ядерной безопасности, опирающийся на Конвенцию о ядерной безопасности и другие международные соглашения. Сформировалось представление, что серьезных аварий больше не будет. Однако сообщество ошиблось. Произошла тяжелая авария на АЭС «Фукусима» в Японии.

В 1970-е годы наиболее четко обратил внимание на социальные последствия возможных тяжелых аварий на АЭС проф. Фармер из Великобритании (F.R. Farmer. Выбор обоснованных норм риска. Доклад на симпозиуме МАГАТЭ. 1973 г.).

Оценивая возможные радиационные последствия предполагаемых тяжелых аварий, можно признать, что предельному приемлемому уровню риска нанесения ущерба индивидууму (на уровне 10^{-5} на одно лицо в год) соответствует вероятность крупных аварий в пределах $10^{-3} \dots 10^{-4}$ на реактор в год. Приемлемый коллективный риск общества оценивается автором величиной, меньшей 10^{-4} (т. е. общественный ущерб ставит более жесткие ограничения, чем индивидуальный ущерб), исходя из следующих соображений:

«Если крупная авария произойдет в течение следующих 10 лет (оценка делалась в 1973 году!) или около этого, тогда дальнейшее развитие ядерной энергетики может быть задержано, работающие АЭС будут остановлены. В результате население какое-то время будет испытывать нехватку электроэнергии и будет вынуждено оплачивать по более высокой цене другие источники энергии. Обычно говорят, что подобное событие не должно случиться. Это означает, что вероятность совершения подобного события должна быть очень малой.

Если крупная авария произойдет в следующие 20...30 лет, тогда ряд стран, которые будут сильно зависеть от развития ядерной энергетики, вряд ли легко воспримут последствия остановки работающих АЭС. Можно предвидеть вероятность резких ограничений в правилах эксплуатации, проведение дополнительных мероприятий по модификации оборудования и инспекционных осмотров. Отсюда следует необходимость создания таких условий, чтобы событие имело малую вероятность совершения применительно ко всем АЭС, строящимся по существующей технологии, и, по крайней мере, применительно к тем АЭС, строительство

которых запланировано до 1980 года. К тому времени будут эксплуатироваться или строиться около 500 АЭС, так что суммарный опыт эксплуатации к тому времени составит свыше десяти тысяч реакторо-лет».

Отсюда появляется как приемлемая вероятность крупной аварии – менее 10^{-4} на реактор в год, как верхний предел. Если поставить цель из соображений снижения социального риска снизить уровень вероятности тяжелой аварии в 10 или 100 раз, тогда задача сводится к достижению значений вероятности аварии в расчете на реактор в год до $10^{-5} \dots 10^{-6}$.

Можно напомнить, что в момент аварии на Чернобыльской АЭС общий опыт эксплуатации атомных станций составлял около 4 000 реакторо-лет, т. е. реализовалось событие с частотой около $2 \cdot 10^{-4}$.

Общественные последствия известны: приостановка намеченного развития атомной энергетики в Советском Союзе, резкий рост оппозиции такому развитию в ряде других стран с принятием ряда политических решений по постепенному закрытию атомной энергетики.

Еще более болезненный круг социальных последствий в Советском Союзе оказался связан с населением, попавшим в зону радиационного воздействия аварии. Непосредственно радиационное поражение оказалось меньшим, чем можно было ожидать для тяжелой аварии (т. е. превалирование общественного ущерба над индивидуальным оказалось еще большим, чем оценивал проф. Фармер).

К моменту аварии на АЭС «Фукусима» суммарный опыт эксплуатации АЭС в мире превысил 14 000 реакторо-лет и, исходя из того, что за это время произошли три тяжелые аварии (по крайней мере две с существенными радиационными последствиями), реализовались события с частотой $2 \cdot 10^{-4}$ (либо $1,5 \cdot 10^{-4}$), т. е. частота реализации осталась на том же уровне, что и в момент чернобыльской аварии. Тем самым угроза отторжения обществом этого направления энергетики не уменьшилась, а скорее всего увеличилась, имея в виду демонстрацию недостаточной эффективности принятых мер по исключению тяжелых аварий.

Авария на АЭС «Фукусима». Уроки и последствия

Рассматривая причины и последствия аварии в Японии, следует выделить три группы вопросов:

- отступления от сформировавшейся к настоящему времени концепции ядерной безопасности и недостатки в проектах станций и системе обеспечения ядерной безопасности в стране;
- влияние на программы и перспективы развития ядерной энергетики в мире;
- использование современных проектов и конструкций атомных станций; реализация для дальнейшего развития ядерной энергетики новых технических решений и необходимость изменения (или корректирования) концепции ядерной безопасности.

При анализе развития аварии на АЭС «Фукусима-1» при мощном землетрясении, сопровождавшемся неординарным цунами, выделены такие факторы:

- неадекватный выбранной площадке расположения АЭС учет внешнего воздействия (максимальная высота волны, неудачное расположение оборудования аварийного энергоснабжения);

- недостатки аварийного планирования и системы управления аварией;
- необеспеченность водородной безопасности на случай тяжелого развития аварий;
- неэффективность государственного регулирования ядерной безопасности.

В приложении этого опыта к атомным станциям России следует обозначить несколько направлений действий по повышению их безопасности.

- Обеспечение водородной безопасности на всех действующих блоках. Мероприятия, необходимое оборудование и этапы внедрения будут различными для всех станций.

– Ревизия предельных (проектных и максимальных) внешних воздействий (природных и техногенных) по всем площадкам АЭС. Необходимо подтвердить представительность имеющегося перечня воздействий, реальное соответствие характеристик станций этому перечню и при обнаружении неполноты реального или ожидаемого характера воздействий, предусмотренного проектом, наметить меры устранения или компенсации.

– Анализ на всех блоках выполнения (доказательности) установленных критериев безопасности и требований к работоспособности и надежности оборудования. При необходимости следует провести контрольные расчеты и на основании этого наметить меры по доведению характеристик систем и оборудования до требуемых. Для устранения выявленного несоответствия необходимо составить специализированные программы (по всему набору содержания таких программ).

– Ревизия состояния систем аварийной готовности, включая полноту задач, обеспеченность (материальную и организационную), подготовленность персонала, системы учения и проверок.

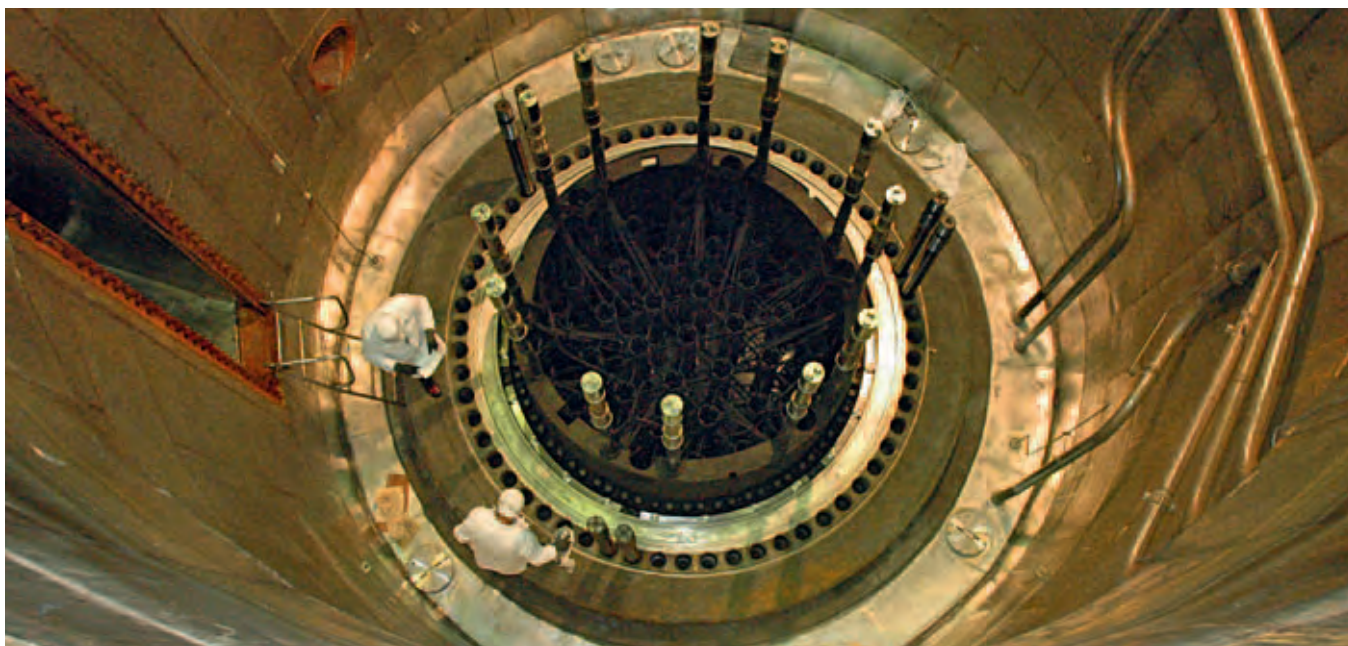
– Разработка мер управления авариями для предельных сценариев. Выработка обобщенных обоснованных критериев и сценариев совпадения исходных событий (техногенных и природных). Конкретизация сценариев для каждой площадки и каждого блока.

– Внедрение средств персонального контроля радиационной обстановки в районе АЭС на случай аварий. Это должно сопровождаться широкой программой распространения знаний по радиационной опасности, реальным пределам опасности и способам контроля.

Одновременно должны быть сформулированы принципы выработки и распространения информации о фактах аварий, деталях их развития и радиационных проявлениях последствий аварий.

По своей природе, ввиду возможности трансграничных эффектов, ядерная энергетика носит международный характер. Принимая во внимание обостренное внимание населения к опасности использования атомной энергии, авария на АЭС «Фукусима-1» не может не проявиться в определенном снижении темпов развития ядерной энергетики вплоть до отказа в отдельных странах от этого направления энергетики. Тем не менее в согласии с логикой проф. Фармера, изложенной выше, не видно оснований ожидать резких изменений в доле ядерного топлива в топливно-энергетическом балансе мира.

В то же время необходимо сделать все практические шаги, исключающие повторение тяжелых аварий. Достижение этой цели представляется реальным и при дальнейшем ожидаемом развитии ядерной энергетики в мире.



В связи с этим следует вернуться к содержанию установленного международного режима ядерной безопасности. Международные соглашения должны формировать основу обеспечения безопасности ядерной энергетики в государствах, не обладающих соответствующими потенциалом и ресурсами. Формирование обязательных международных требований по безопасности потребует создания независимой международной экспертной организации для обеспечения их должного соблюдения. Одной из функций такой организации должна стать обязательная периодическая оценка политики и практики деятельности эксплуатирующих организаций и национальных органов регулирования ядерной безопасности с обязательным характером выполнения формируемых рекомендаций.

В связи с аварией на японской АЭС обострился вопрос об использовании атомных станций освоенных типов для дальнейшего развития ядерной энергетики.

При этом предмет обсуждения вышел за рамки общей задачи развития и внедрения в разрабатываемые конструкции реакторов и проекты станций свойств внутренней безопасности, а был переведен в плоскость отказа от применения воды в качестве первичного теплоносителя. Логика такой тенденции базируется на опасности, связанной с образованием в аварийных условиях водорода и высокой потенциальной энергией, содержащейся в воде высокого давления.

Многие годы подобные сомнения существуют в оптимальности реализованного на практике направления использования натрия в качестве теплоносителя реакторов на быстрых нейтронах, что связано с пожароопасностью натрия и высокой химической активностью при взаимодействии с водой. В качестве альтернативы здесь многие годы рассматривается гелий, а также сплав свинец-висмут, опробованный на ядерных установках подводных лодок. Нейтрализация в практических конструкциях опасных свойств натрия позволила до сего времени надежно эксплуатировать созданные ядерные установки, но проблема для будущего развития остается.

Водоохлаждаемые реакторы составляют основу развитой ядерной энергетики, и вопрос об их замещении приобретает принципиальный характер.

При зарождении ядерной энергетики было признано, что водяное охлаждение имеет то преимущество, что в таком агрегате «может быть более, чем в других агрегатах, использован опыт обычной котельной практики, низкая температура теплоносителя (300 °С) исключает ряд трудностей конструкторского характера; общая относительная простота агрегата облегчает и удешевляет его строительство» (И.В. Курчагов).

Дальнейшее использование легкой воды как замедлителя нейтронов позволило реализовать компактные и технически достаточно простые конструкции с приемлемыми нейтронно-физическими свойствами, обладающие существенным и чертами внутренней безопасности. Эволюционное развитие этого направления в прошедшие десятилетия обеспечило создание ядерных энергетических установок, обладающих удовлетворительными потребительскими свойствами и соответствующими современным требованиям ядерной безопасности. Ближайшая перспектива развития ядерной энергетики в нашей стране опирается на эволюционное развитие ВВЭР.

В направлении легководных корпусных реакторов в мире вложено сил, времени и материальных средств больше, чем в любое другое реакторное направление. Накоплен бесценный мировой опыт эксплуатации, имеются проверенные на практике технические, конструкционные и технологические решения, зарекомендовавшие себя как положительно, так и отрицательно. Есть множество предложений и практических проработок их дальнейшего совершенствования. Стало актуальным сформировать образ нового поколения легководных реакторов, приемлемого для последующего этапа развития ядерной энергетики.

Вопрос о месте легководных реакторов в будущей ядерной энергетике является одним из центральных вопросов стратегии ее развития как в России, так и во всем мире.

Важным фактором в решении этого вопроса является согласие предлагаемого развития с концепцией ядерной безопасности.

О «новой» концепции обеспечения ядерной безопасности

Из оглашенных после японской аварии положений «новой» концепции обеспечения ядерной безопасности следует выделить тезис о переходе с «вероятностного принципа» обеспечения безопасности на «детерминистический принцип». Этот тезис является развитием тезиса о реакторах «естественной» безопасности. В конструкции и характеристиках реакторов, созданных на базе принципа «детерминированной безопасности», якобы отсутствуют полностью опасные факторы.

Терминологические спекуляции на тему «естественной безопасности» обсуждены в нашем тексте ранее.

Использование в существующей практике вероятностного метода для оценки результата последовательного применения всех предусмотренных уровней защиты установки в целях обеспечения ее безопасности преподносится критиками действующей концепции безопасности как «вероятностная концепция», отличающаяся от «детерминистической».

Использование понятия «детерминированная» как характеристики безопасности воспринимается как предопределенная и потому не требующая никаких других действий и мер.

Применение подобных понятий (так же, как «естественная безопасность») в качестве характеристики подходов и принципов обеспечения ядерной безопасности и обозначения конечного свойства системы («безопасность») представляется лозунговым по форме, пиаровским по назначению и демагогическим по существу.

Признавая неправомочность декларирования «абсолютной безопасности», в то же время специалисты и эксперты в области ядерной энергетики используют при обсуждении задач обеспечения ядерной безопасности понятие (словосочетание) «гарантия безопасности». Признавая этот выбор не очень удачным, его использование можно оправдать тем, что он указывает лишь направление и цель практических действий.

Рассматривая вероятностные анализы безопасности (ВАБ), следует обратить внимание на то, что вероятностный метод в современной концепции безопасности не является содержанием норм обеспечения ядерной безопасности. В практике разработок ядерных установок вероятностная методика полезна и применяется для взвешенного выбора альтернативных технических решений. Кроме того, вероятностные подходы используются как инструмент оценки выполнения целей безопасности.

Это второе назначение вероятностных методик представляется необходимым при любой реализации свойств внутренней безопасности в конструкции и проекте установки. Нелишне обратить внимание на то, что при неуместности понятия «абсолютной» безопасности также неуместны возможные утверждения (или молчаливое подразумевание) об «исчерпывающем» рассмотрении в предлагаемых проектах всех путей опасного развития событий при осуществлении всех технических функций безопасности.

Пользователи вероятностных оценок четко представляют несовершенство методики, когда погрешность результата может на порядки величины превышать базовые значения.

Методология ВАБ развивается и совершенствуется. В частности, важнейшим и эффективным является количественно-вероятностный анализ процессов образования течи теплоносителя и крупномасштабного разруше-

ния оборудования ядерной установки на базе физико-статистического моделирования процессов накопления повреждения. Доверие к результатам в данном случае формируется обязательным дополнением научно-технических доказательств постоянным эксплуатационным контролем ответственного оборудования, повреждение которого может быть основным носителем опасности ядерной установки. Это – конкретная реализация стратегии глубокоэшелонированной защиты, которая, как уже сказано ранее, должна быть основой концепции безопасности для любых установок с любым уровнем использования внутренних свойств безопасности.

Переход от широковещательных положений об изменении концепции к практическим действиям сводится к конкретным техническим предложениям и проектно-конструкторским решениям, эффективность которых в любом случае требует обоснований и доказательств.

Развитие ядерной энергетики как отрасли и конкретных технологий требует новых решений. При стратегическом планировании следует иметь в виду, что создание принципиально новых установок до их массового внедрения должно пройти этапы доказательства технической осуществимости (демонстрационные установки) и подтверждения потребительской приемлемости (опытно-промышленные установки).

Сложность технологии и дороговизна разработок в ряде случаев делают необходимой международную кооперацию для реализации новых решений в целесообразные сроки. Международный характер ядерной энергетики, в первую очередь по фактору ядерной безопасности, и существование мирового рынка этой технологии диктуют неизбежность международной координации новых решений.

Государственное регулирование ядерной безопасности

По своей сути как «сложная технология» атомная энергетика диктует необходимость централизованного, научно и технически обеспеченного управления.

Специфическая радиационная опасность этой «высокой» технологии сформировала во всем мире систему государственного регулирования безопасности ядерных установок, в том числе атомных станций. Государственное регулирование и надзор являются обязательной составной частью всей системы обеспечения ядерной безопасности и ее непереносимого элемента – «культуры безопасности», в этом случае – культуры безопасности органов государственной власти.

К сожалению, сегодня приходится констатировать явный дефицит культуры безопасности на этом уровне. А дефицит или отсутствие культуры безопасности на верхних уровнях размывает этот фундаментальный принцип на других уровнях, практически обеспечивающих ядерную безопасность России.

Следует обратить внимание на такие конкретные проявления этой тенденции.

- Распространение федерального закона «О техническом регулировании», по своему назначению призванного регулировать качество и безопасность рыночной продукции, на область обеспечения безопасности ядерной энергетики, регулируемую специальным законом «Об использовании атомной энергии», полностью разрушало всю систему обеспечения ядерной безопасности. Четырехлетняя эпопея с попытками исправить ошибку закончилась

поправками к закону, предписывающими установить особые условия применения положений закона «О техническом регулировании» к ядерной деятельности. Эти особые условия до сих пор не установлены.

- Закон, посвященный ослаблению давления на предпринимательскую деятельность и позволяющий проводить периодические инспекции не чаще одного раза в три года, распространен, в том числе, на проверки состояния ядерно опасных объектов. Нелепая ошибка.

- Особую тревогу вызывает многолетняя чехарда непродуманных действий по формам существования, полномочиям и подчиненности государственных органов ядерного регулирования и технического надзора.

Международная Конвенция о ядерной безопасности, подтверждая, что ответственность за ядерную безопасность лежит на государстве, в юрисдикции которого находится ядерная установка, определила, что государство создает законодательную и регулируемую основу для обеспечения безопасности ядерных установок и учреждает или назначает регулирующий орган, которому поручается реализация законодательной и регулирующей основы и который наделяется надлежащими полномочиями, компетенцией и финансовыми и людскими ресурсами, необходимыми для выполнения порученных ему обязанностей.

Тем не менее в начале 2004 года федеральный орган исполнительной власти, осуществлявший государственное регулирование ядерной и радиационной безопасности, был расформирован как самостоятельный орган, а его остатки включены в Федеральную службу по экологическому, технологическому и атомному надзору. Затем в 2008 году эта Федеральная служба, включающая подразделения, осуществляющие функции государственного регулирования ядерной и радиационной безопасности, была переведена в ведение Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, что привело к невозможности выполнения функции государственного регулирования (потеря полномочий и сокращение численности).

Пока единственным позитивным шагом в исправлении этого положения было решение о выведении системы технического регулирования и надзора из состава Минприроды, что стало реакцией на понимание причин аварии на Саяно-Шушенской ГЭС, системные причины которой практически не отличаются от системных причин чернобыльской аварии.

В то же время в процессе коммерциализации атомной отрасли, сопровождающемся возможностью передачи в собственность юридических лиц (в том числе иностранных юридических лиц) ядерных материалов и ядерных установок, законами, посвященными образованию Государственной корпорации «Росатом», внесены принципиальные изменения в структуру государственного управления – совмещение корпоративного управления хозяйственно-экономической деятельностью и осуществления функций государственной власти. Одновременно часть функций государственного регулирования ядерной безопасности делегирована «Росатому».

В этих условиях становится предельно актуальным усиление государственного регулирования ядерной безопасности. Необходимо воссоздание самостоятельного государственного органа по регулированию ядерной безопасности, который бы целиком сосредоточился на решении задач безопасности при использовании атомной энергии,

с полным набором функций регулирования – нормативной, разрешительной и надзорной, обеспеченного адекватными людскими, финансовыми и материальными ресурсами.

События на АЭС «Фукусима» жестко напоминают об этом.

Приложение 1

Реакторная установка на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем в течение многих лет преподносится разработчиками как реакторная установка «естественной безопасности» и является конкретным примером систем, демонстрирующих реализацию принципа «детерминированной» безопасности. Это утверждение базируется на двух центральных проектных особенностях реактора: малый оперативный запас реактивности, обеспечиваемый коэффициентом воспроизводства, близким к единице, и химическая инертность свинца, исключающая пожароопасность и активное взаимодействие с водой в отличие от натрия, используемого в реакторах на быстрых нейтронах.

Место реакторных систем на быстрых нейтронах с низким воспроизводством в развивающейся ядерной энергетике является предметом формирования оптимальной стратегии этого развития.

Здесь следует обратить внимание на неправомерность рассмотрения свинца в качестве реакторного теплоносителя как носителя признака «естественной безопасности».

Несомненная опасность связана с высокой температурой его плавления. Сложность технологических процедур при эксплуатации установки и возможность их нарушения должны быть предметом специальных мер безопасности.

Высокая температура кипения свинца, при которой будут разрушены все конструкции реактора, практически исключает фактор самоограничения аварийных ситуаций при нарушении теплоотвода.

Низкое давление теплоносителя устраняет фактор взрывоопасного выделения энергии при потере теплоносителя, но никак не устраняет опасность потери теплоносителя в результате мыслимых нарушений конструкции реакторной установки.

Высокий удельный вес свинца является отягчающим фактором в устойчивости к сейсмическим воздействиям.

Практические проблемы и опасности выявляются в процессе достаточного опыта эксплуатации и не позволяют априори представлять вновь разрабатываемую установку как «детерминированно» безопасную.

Создание и эксплуатация любой реакторной установки должны следовать концепции, опирающейся на стратегию глубоководной защиты.

Приложение 2

В развитии концепции безопасности АЭС в России (бывшем Советском Союзе) можно выделить три характерных периода. Первый относится к начальной стадии развития ядерной энергетике, когда предполагалось, что за счет обеспечения высокого качества трубопроводов, оборудования и других компонентов реакторной установки можно будет избежать сколько-нибудь значительного их повреждения, исключив тем самым возможность серьезных аварий.

В связи с этим в первых проектах АЭС как с ВВЭР, так и с канальными кипящими реакторами, в качестве максимальной проектной аварии рассматривалась течь

теплоносителя конечного размера и, соответственно, ограничивались требования к системам локализации аварий. Такие системы включали рассчитанные на избыточное давление герметичные помещения, в которых частично или полностью размещался контур теплоносителя, и спринклерные устройства, предназначенные для конденсации выделяющегося при аварии пара. Изолирующие устройства в такой системе не предусматривались и не предъявлялись специальные требования к герметичности помещений при повышенном давлении, так как серьезных повреждений твэлов не ожидалось.

В этот период созданы первые поколения энергоблоков с ВВЭР-440 и РБМК-1000. АЭС в этот период проектировались, строились и эксплуатировались в основном в соответствии с общепромышленными стандартами и правилами. Разработка специальных норм и правил первоначально была связана только с такими новыми специфическими аспектами использования атомной энергии, как радиационная защита, ядерная физика, радиационное материаловедение и т. п.

Однако, уже первый опыт сооружения и эксплуатации АЭС показал, что даже самый тщательный выбор металла и самые высокие требования к качеству изготовления оборудования и трубопроводов не способны полностью исключить возможность их повреждения при эксплуатации. Поэтому в этот период начинает формироваться новый комплексный подход к АЭС как объекту повышенной опасности, требующему разработки и применения специальных мер для обеспечения безопасности.

Именно тогда разрабатываются Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных электростанций и Общие положения обеспечения безопасности атомных электростанций при проектировании, строительстве и эксплуатации (ОПБ-73). Первая редакция ОПБ введена в действие 30.12.71 г. совместным решением Госкомитета по использованию атомной энергии, Министерства здравоохранения и Министерства энергетики и электрификации с грифом «для служебного пользования» как «временная». Очень скоро последний документ приобретает статус высшего нормативного документа по безопасности АЭС, формирующего ее концепцию.

С вводом в действие ОПБ-73 начинается второй период в развитии ядерной энергетики. Для него характерно создание систем безопасности, включая системы аварийного охлаждения и локализации аварий, рассчитанные на максимальную проектную аварию, в качестве которой принимался мгновенный разрыв циркуляционного трубопровода контура теплоносителя. В этот период созданы энергоблоки с ВВЭР-440 и РБМК-1000 второго поколения, а также ВВЭР-1000. В 1982 году ОПБ-73 были пересмотрены с учетом накопленного опыта и заменены ОПБ-82. При этом концепция безопасности осталась почти неизменной.

Третий период развития связан с аварией на четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС. На основе уроков этой аварии и аварии на АЭС «Три-Майл-Айленд» (США) ОПБ-82 были снова пересмотрены, концепция безопасности претерпела существенные изменения. Вместо ОПБ-82 разработаны и с 1 июля 1990 год введены в действие Общие положения обеспечения безопасности атомных станций ОПБ-88. Новая концепция безопасности включает рассмотрение запроектных аварий с возможным тяжелым

повреждением активной зоны до ее полного расплавления. В концепции глубокоэшелонированной защиты появился новый уровень защиты, обеспечиваемый так называемым управлением аварией.

После принятия Закона об использовании атомной энергии введена уточненная версия ОПБ 88/97. На основании этих документов появились АЭС третьего поколения (по уровню безопасности).

В середине 1970-х годов возникли условия для следующего шага в разработке новых технических решений и демонстрации нового уровня в безопасности ядерных энергоисточников.

Эта техническая задача связывалась с применением ядерных энергоисточников в системах централизованного теплоснабжения, имея в виду климатические условия большинства регионов России, развитость систем централизованного отопления горячей водой и быстро ухудшающуюся экологическую обстановку в крупных городах. Новый класс ядерных установок, располагаемых в непосредственной близости от больших городов и на территориях с большой плотностью населения, должен был исключить необходимость специальных и труднореализуемых мер защиты населения в аварийных ситуациях.

Этим условиям удовлетворяли реакторные установки атомных станций теплоснабжения. В 1978 году сформулированы также дополнительные нормативные требования к безопасности этих установок и к условиям их размещения.

Уместно подчеркнуть, что разработка этих установок была завершена до чернобыльской катастрофы, а требования к ним сформулированы и сами работы начались до аварии на американской АЭС «Три-Майл-Айленд».

В 1981 году начато сооружение двух таких атомных станций АСТ-500 с двумя установками тепловой мощностью по 500 МВт в городах Горький и Воронеж.

Оппозиция населения после чернобыльской аварии не позволила ввести в строй законченную строительством Горьковскую АСТ. В то же время именно в конструкции этих станций, как отмечено ранее, в полной мере реализованы получившие впоследствии широкое признание черты «внутренней» и «пассивной» безопасности, а также уделено особое внимание проблеме удержания радиоактивности в нормальных и аварийных условиях: естественная циркуляция во всех нормальных и аварийных режимах, малая энергонапряженность активной зоны, медленное протекание всех эксплуатационных и аварийных режимов, большие запасы теплоносителя в первом контуре, пассивные системы аварийного теплоотвода, интегральная компоновка в едином корпусе первого контура и теплообменников, наличие второго (страховочного) корпуса на полное давление, защищенность от падения самолета и др.

Все проектные решения экспериментально и расчетно обоснованы и получили одобрение надзорного органа ядерной безопасности. Наиболее полное знакомство со всеми техническими решениями этой установки международная ядерная общественность получила при международной экспертизе Горьковской АСТ, организованной МАГАТЭ в 1988 году.

Ядерные установки АСТ-500, сооруженные в середине 1980-х годов прошлого века, вправе рассматриваться как четвертое поколение по фактору ядерной безопасности. 