



НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГИЯ В СССР:
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ (ЭКОЛОГИЯ, ЭКОНОМИКА, ПРАВО)»

г. Обнинск, 26–29 июня 1990 г.

УДК 621.039.5

Безопасное развитие ядерной энергетики и реакторы
новых поколений

СЛЕСАРЬЕВ И. С.

Анализ состояния топливно-энергетического комплекса нашей страны с учетом воздействия энергетического производства на окружающую среду показывает, что реальной альтернативы ядерной энергетике пока нет. Долговременная ее стагнация нанесла бы существенный урон развитию страны. Вместе с тем ядерная энергетика имеет свои внутренние проблемы, такие как обеспечение экономической конкурентности, экологичности, безопасности.

В настоящее время в центре внимания находится безопасность. После известных аварий широко проявилось настороженное и скептическое отношение общественности к перспективности ядерного производства энергии. Стало очевидным, что безопасность выходит за границы государств и необходимо создать международный режим безопасного развития ядерной энергетики.

Современные требования к безопасности атомных станций следуют из сложившихся представлений о недопустимом облучении населения, эксплуатационного персонала, загрязнения окружающей среды и риска тяжелых аварий. Анализ выделяет несколько критериев риска тяжелых аварий: социальный, экономический, медико-биологический, из которых с учетом реалий наиболее жестким в настоящее время является социальный, связанный с реакцией населения на возможность свершения тяжелых аварий. По существу вопрос ставится о допустимой частоте редких, но чрезвычайных событий.

В общей постановке социальный критерий приемлемости ядерной энергетики, как и другие критерии, может быть определен из сравнительного анализа положительных качеств этой технологии, ее недостатков — в среде всех видов альтернативной технологии производства энергии. Однако неадекватность происшедших тяжелых ядерных аварий, а также трудности проведения такого анализа заставляют на ближайший период выбрать подход, связанный с выдвиганием требований «абсолютного» характера. Таким может быть следующий критерий: по меньшей мере до сере-

дины следующего века на нашей планете с приемлемой вероятностью (скажем, не хуже 99%) не должно быть ни одной тяжелой аварии со значительным выбросом радиоактивности в окружающую среду. Это требование коррелирует и с психологическим барьером неприятия человеком повторяющихся опасных событий при жизни одного поколения людей (оно может быть смягчено лишь при большой значимости ядерной энергетики в жизнеобеспечении людей). Одновременно должен быть учтен и реально возможный масштаб развития ядерной энергетики на перспективу.

Выполнение этого критерия может являться одним из важнейших условий и служить «пропуском» ядерной энергетики в ближайшее будущее.

Если предположить, что к середине следующего века удельная энергооборуженность человека составит не менее 5 кВт (тепл.), а население земли приблизится к 10 млрд чел., то при доле ядерной энергетики, равной 20%, получим, используя распределение Пуассона для редких событий, следующее ограничение на вероятность тяжелой аварии с выбросом (тип аварии A) радиоактивности: $P_A \leq 10^{-2}$ 1/год-энергодок. Учет экономического ущерба для аварий типа A приводит к более мягким ограничениям: $P_A \leq 10^{-5} - 10^{-6}$ 1/год. Приемлемость тяжелых аварий другого типа — с разрушением реактора и последующей локализацией высвободившейся радиоактивности внутри защитной оболочки (B) определяется скорее экономическими, чем социальными факторами, и имеет количественное выражение $P_B \leq 10^{-4} - 10^{-5}$ 1/год на один энергодок, основанное на уже происшедшем ущербе (на АЭС «Три-Майл-Айленд») и его роли в конкурентности атомных станций.

Тот факт, что выбранный социальный критерий для наиболее опасных из тяжелых аварий (типа A) является жестче экономического, свидетельствует о том, что если для удовлетворения социальному критерию необходимы значительные затраты, то они могут оказаться экономически неоправданными. Иначе, начиная с некоторого уровня, даль-

нейшего повышения безопасности следует добиваться дешевыми средствами (в рамках жесткого экономического лимита). Невозможно надеяться на то, что простое оснащение реакторов, уже достаточно громоздких и сложных сооружений, дополнительными средствами безопасности будет укладываться в этот лимит. Скорее всего решение вопроса следует искать через разработку нового поколения реакторов, в которых безопасность повышается за счет использования простых физических (а не сложных инженерных) принципов и упрощения самой конструкции реактора. Только в этом случае можно надеяться, что повышения стоимости атомных станций не произойдет.

Существование двух отличающихся требований (к вероятностям аварий типа А и В) позволяет использовать по крайней мере две различные стратегии достижения приемлемой безопасности. Первая заключается в достижении сначала более низкого уровня защищенности самого реактора, выражаемого вероятностью P разрушения $P \leq P_D \approx 10^{-5}$ 1/год, а затем и всего энергоблока $P \leq P_A \approx 10^{-7}$ 1/год за счет локализации радиоактивности из разрушенного реактора.

Такой путь наиболее прост в рамках традиционной реакторной технологии, но имеет существенные недостатки, главные из которых — необходимость проведения дорогостоящих НИР по тяжелым авариям, поскольку сценарии разрушения реактора должны входить в состав проектных аварий, и заметное удорожание энергоблоков за счет применения средств локализации.

Слабым узлом в доказательности достигаемого уровня устойчивости к тяжелым авариям является недоверие к абсолютным значениям вероятностей тяжелых аварий при сложных схемах действия взаимосвязанных защитных средств, возможность пропуска некоторых аварийных сценариев, трудности в вероятностных оценках действий персонала, влияющих на безопасность энергоблоков. Энергоблоки, удовлетворяющие на перспективу основным современным социальным, экономическим и медико-биологическим критериям, удобно называть блоками приемлемой безопасности.

Вторая стратегия обеспечения приемлемой безопасности заключается в радикальном повышении устойчивости к авариям самого реактора вплоть до «предельного» значения вероятности: $P \rightarrow P_A \approx 10^{-7}$ 1/год. В этом случае энергоблоку принципиально необходима защита только от внешних инициаторов аварий. Такие энергоблоки, названные блоками приемлемой безопасности с предельно защищенными реакторами, скорее всего могут быть созданы на новой технологии с помощью средств, обсуждаемых далее.

Важным звеном в обеспечении безопасности ядерных энергоблоков является минимизация «внутренне присущих» факторов опасности, способных привести к разрушению ядерного реакто-

ра с выделением радиоактивных веществ. Среди них:

- концентрации радиоактивных материалов;
- избыточная реактивность, потенциально опасная в авариях с несанкционированным ее вводом и особенно как первопричина нейтронных вспышек;

- запасенная ядерная и неядерная энергии (остаточное тепловыделение, энергия давления реакторной среды, химическая и другие виды энергии);
- утрата сбалансированного отвода тепловой энергии.

При отыскании конкретных путей создания ядерных энергоблоков нового поколения, удовлетворяющих новым критериям устойчивости к тяжелым авариям с гарантированной доказательностью, особое значение имеет оптимальный выбор средств и способов защиты. Традиционным для реакторостроения является опора на квалифицированную технологию эксплуатации атомных станций с участием подготовленных специалистов, использующих измерительную, вычислительную и диагностическую технику, а также активные автоматические средства безопасности. В настоящее время приоритет перемещается в сторону применения пассивных средств безопасности, т. е. внутренне присущих свойств и технических средств, не нуждающихся для их функционирования в подводе энергии извне или в информационных сигналах по следующим причинам:

- пассивные средства как правило обладают большим потенциалом надежности;

- автономность функционирования является необычайно важным качеством для повышения доказательности достигнутого уровня безопасности, так как исключает неопределенность действий человека и влияния одних средств защиты на другие.

Защищенность, достигаемую за счет пассивных средств безопасности, называют самозащищенностью — качеством, обеспечивающим достижение новых жестких критериев безопасности и его доказательность.

Современные жесткие требования к безопасности атомных станций и устойчивости к тяжелым авариям заставляют радикально пересмотреть стратегию выбора перспективных концепций, отдавая предпочтение концепциям с наибольшим потенциалом безопасности, определенным надежностью и достаточностью средств блокирования разрушительных аварийных процессов.

Современная концепция высокой безопасности ядерных энергоблоков и станций в целом строится на основе принципа максимально надежной защищенности ядерного реактора и далее предельной самозащищенности. Новые критерии безопасности атомных станций и энергетики в целом, наличие в ней энергоблоков первых поколений с относительно низкой устойчивостью к тяжелым авариям,

требования к увеличению энергопараметры в определенной степени обуславливают стратегию «безопасного» развития ядерной энергетики на перспективу. К настоящему времени наша страна располагает примерно 40 энергоблоками, на которых средняя вероятность тяжелых аварий со значительным выбросом радиоактивности по оценкам составляет для наиболее старых 20—30 блоков не ниже 10^{-4} 1/год. Очевидной представляется неприемлемость долговременной эксплуатации таких блоков, так как рубеж приемлемого риска достигнется уже через несколько лет. Это означает, что часть таких блоков (в зависимости от конкретного состояния безопасности на каждом конкретном блоке) должна быть выведена из эксплуатации или реконструирована с повышением безопасности по крайней мере в 10 раз (к обсуждаемой вероятности). Этого можно достичь путем усиления средств диагностики, локализации радиоактивности, активных инженерных средств защиты. Ядерные энергоблоки с более современными ВВЭР-1000 вместе с модернизированными энергоблоками (вероятность тяжелых аварий $\sim 10^{-5}$ 1/год) уже в недалеком будущем будут представлять угрозу приближения к пределу приемлемого риска, так как даже 30 ГВт мощностей за 30 лет из ресурса подводят энергетику близко к пределу приемлемости по безопасности.

Отсюда следует вывод и необходимость скорейшей разработки и внедрения ядерных реакторов и энергоблоков нового поколения.

В решении проблемы безопасности и других сопряженных вопросов ядерной энергетики возможны по крайней мере два пути: эволюционный, основанный на усовершенствовании традиционных технических решений, и радикальный, использующий принципиально новые технические решения.

Главные компоненты «эволюционной» концепции — акцент на использование проверенной на практике реакторной технологии и опыта эксплуатации и усиление защитных средств, упрощение конструкции реактора, совершенствование управления установкой и средств диагностики.

Основными принципами, позволяющими создать установки нового поколения повышенной защищенности, являются

снижение запаса реактивности, имеющегося в реакторной установке (использование выгорающих поглотителей);

усиление эффективности запасов устойчивости, снижение опасности возникновения течей и других равновидностей аварии типа LOCA;

снижение нагрузок на наиболее напряженные и потенциально опасные элементы конструкций реактора (корпус и др.).

Паряду с этим в новых проектах предусматривается:

усиление средств локализации последствий разрушения активной зоны реактора;

уменьшение запасенной энергии в реакторе; повышение уровня самозащитности (усиление пассивных защитных средств).

Указанные принципы положены в основу усовершенствованных проектов наиболее освоенных водо-водяных реакторов ВВЭР-88 и -92.

Ограниченный потенциал безопасности существующей реакторной технологии, используемой в ВВЭР, РWR, ВWR и т. п., вряд ли позволит достичь предельной защищенности реакторов ($P_D < 10^{-7}$ 1/год). Вот почему здесь необходим большой объем НИР по тяжелым авариям для обоснованного выбора средств локализации радиоактивности разрушенного реактора.

Сильно осложнена и доказательность достигаемого уровня безопасности ввиду сложности применения вероятностного анализа безопасности с учетом неавтономности средств защиты и человеческого фактора.

Эти соображения приводят к выводу о том, что создание ядерных энергоблоков с водяной технологией теплоносителя, удовлетворяющих требованиям безопасности и экономичности на длительную перспективу, представляется проблематичным вследствие:

необходимости проведения дорогих НИР по дальнейшему совершенствованию реакторов и энергоблоков, широкому спектру тяжелых аварий;

удорожания энергоблоков при повышении безопасности;

ограниченности средств радикального снижения расхода ядерного топлива;

ограниченности сферы использования;

относительно низкого к. п. д. и как следствие теплового «загрязнения» среды.

Но даже если и удастся радикально повысить техническую устойчивость тяжелых аварий, доказательство этого факта будет подрываться недоверием к сложному вероятностному анализу и корректности учета человеческого фактора.

Тем не менее этот класс реакторных установок может оказаться полезным для ближайшей перспективы.

Здесь возможен следующий тактический прием, заключающийся в сооружении в ближайшие годы ограниченного (~ 50 ГВт) числа энергоблоков временно приемлемой безопасности с предельно защищенными реакторами, ориентированными на достижение устойчивости к тяжелым авариям с радиоактивными выбросами $\sim 10^{-6}$ 1/год. При таком подходе необходимость в форсировании НИР по тяжелым авариям исчезает и появляется резерв времени для разработок принципиально новых типов реакторов, удовлетворяющих современным критериям безопасности, и (если это будет необходимо) для создания реакторов на традиционной технологии, но радикально усовершенствованных. Примеры концепций таких реакторов типа LWR приведены в этой работе.

Радикальное направление развития подразумевает использование принципиально новых технических решений. В его основу могут быть положены следующие принципы:

максимальное освобождение от внутренних причин опасностей ядерного энергоблока: запасенной энергии, пожароопасных компонентов, избыточной реактивности; увеличение запасов в режимах работы до опасных пределов, в том числе путем целенаправленного подбора современных конструкционных материалов и теплоносителя;

конструирование свойств реактора, обеспечивающих самозащитность: подбор эффектов реактивности, гарантирующих безопасное протекание нештатных событий, использование пассивных механизмов отвода тепла, наделение конструкции реактора специальными свойствами, препятствующими развитию аварий даже без срабатывания аварийных средств защиты, и т. п.;

обеспечение простоты и достоверности доказательств безопасности путем опоры на предельную самозащитенность самого реактора. Доказательство высокой противоаварийной устойчивости целесообразно построить путем детерминистского анализа развития всех наиболее тяжелых сценариев аварий без срабатывания активных средств защиты (с гарантией не пропустить опасных цепочек) и вероятностной оценки работоспособности отдельных пассивных средств защиты.

Эти принципы можно осуществить путем изначального акцента в проектировании на безопасность атомной станции и существующего упрощения конструкции энергоблоков.

Возможность одновременного решения важных сопряженных задач ядерной энергетики (воспроизводства ядерного топлива, расширения сферы использования, упрощения топливного цикла за счет сжигания долгоживущих радиоактивных продуктов деления) придает указанному направлению принципиальную важность.

В развитии этого направления центр тяжести НИОКР перемещается от исследования тяжелых аварий и путей локализации их последствий к изучению принципов обеспечения самозащитенности атомных станций нового поколения.

Оптимальная координация и развитие обоих направлений в создании атомных станций новых поколений поможет обеспечить экономичное устойчивое развитие ядерной энергетики.

Традиционная реакторная технология. Основной упор в развитии энергетических установок с традиционной реакторной технологией (типа LWR) предполагается в направлениях (эволюционное направление) дальнейшего повышения безопасности, улучшения топливоиспользования и других качеств, связанных с экономичностью. Обладая ограниченным потенциалом повышения безопасности, эти установки все же располагают существенными резервами. Реализовать такие резервы можно путем:

усиления средств локализации после выполнения НИОКР по тяжелым авариям и совершенствования аппарата вероятностного анализа безопасности;

устранения факторов «опасности» при переходе на другие конструкционные материалы и минимизация запасов реактивности (примером такого подхода является концепция ПВЭР) [1].

Улучшение топливоиспользования обычно связывается с переходом к более «жесткому» нейтронному спектру при уменьшении отношения ядер замедлителя и топлива (эффекта «сдвига нейтронного спектра»). Есть несколько практических способов достижения такого эффекта: переход к тесным решеткам твэлов, использование пароводяного (парового) теплоносителя (ПВЭР), переход к сверхкритическому давлению и температуре (СКД).

Улучшение топливоиспользования может вступать в противоречие с задачей повышения безопасности («тесные решетки»), поэтому обратим внимание на две последние из указанных концепций.

Ключевым моментом концепции ПВЭР (SWPR) является применение пароводяной смеси с закритическим выходным паросодержанием, что обеспечивает эффективный теплообмен при давлении 10–16 МПа, небольшом подогреве теплоносителя (10–50 °С). Никакая максимальная температура оболочек твэлов (до 500 °С) позволяет применить малораспухающую сталь ферритного класса. Высокие параметры пара повышают к. п. д. термодинамического цикла.

Двухконтурная схема атомной станции предполагает использование корпуса ВВЭР и многих других компонентов при размещении оборудования первого контура под защитной оболочкой. Конструкция ТВС аналогична ТВС быстрых реакторов. Удельные капитальные затраты на сооружение атомной станции близки к затратам АЭС с ВВЭР.

Потенциал безопасности ПВЭР во многом (хотя и не во всем) базируется на свойствах самозащитенности реактора. Изменение реактивности от плотности теплоносителя имеет максимум, близкий к рабочей точке, подкритичность при заливе активной зоны водой и близкую к нулю реактивность при заливе активной зоны водой и близкую к нулю реактивность при опустошении. Залив реактора водой является независимой системой воздействия на реактивность и отводит остаточное тепловыделение. Применение стальных оболочек твэлов исключает быстропротекающие химические реакции в аварийных ситуациях.

Повышению безопасности ВВЭР—СКД способствуют переход в подкритическое состояние даже при небольшом увеличении температуры теплоносителя, однофазность теплоносителя и отсутствие кризиса теплоотдачи, высокая интенсивность естественной циркуляции.

Эффективность топливоспользования регулируется сдвигом нейтронного спектра, улучшением баланса нейтронов.

Главная особенность концепции кипящего корпусного реактора с интегральной компоновкой (BIPR) — усиление локализующей системы безопасности за счет двойного (стального и железобетонного) корпуса и дополнительных пассивных систем аварийного охлаждения активной зоны. В отличие от серийных BWR предполагается естественная циркуляция теплоносителя в обоих контурах охлаждения. Высокие параметры теплоносителя первого контура позволяют создать более компактные парогенераторы, снизить металлоемкость, стоимость турбин.

Перспективные атомные станции принципиально нового типа («радикальное направление»). Модульные высокотемпературные реакторы (МВТТР) призваны решить проблему расширения сферы использования ядерных источников энергии для технологических целей в сочетании с достижением необходимой для этого высокой безопасности. Ядерная безопасность МВТТР обеспечивается высоким уровнем самозащитности за счет большого отрицательного температурного эффекта реактивности и отрицательного мощностного эффекта, низкой плотности энерговыделения в активной зоне и устойчивости шарошечных топливных элементов, возможности пассивного отвода тепла от корпуса реактора.

В нашей стране накоплен значительный опыт создания и эксплуатация быстрых реакторов с жидкометаллическим (натриевым) теплоносителем. Есть развитая экспериментальная база, расчетно-математический и моделирующий аппарат, технологические и конструкторские разработки, позволяющие развивать это направление реакторостроения. Переместившийся акцент на безопасность атомной станции, новые жесткие требования безопасности и имеющийся потенциал их удовлетворения вызывают определенные раздумья по поводу конкретных путей развития.

В настоящее время потребность в быстрых реакторах может быть обусловлена следующими факторами:

большим, чем для АЭС с LWR, потенциалом, позволяющим создать энергоблок приемлемой безопасности с самозащитным реактором;

значительным удешевлением и упрощением топливного цикла, например, захоронения отходов, учитывая возможность «дожигания» долгоживущих актиноидов;

экономичностью атомной станции за счет сокращения сроков строительства и заводского качества изготовления (в модульных вариантах энергоблоков).

В этой ситуации проекты быстрых реакторов явно недостаточно используют этот потенциал, а имеющийся запас времени в отсрочке размножения топлива располагает к разработке новых проектов

быстрых реакторов, априори ориентированных на высокую безопасность. Удачным примером новой ориентации является американские проекты PRISM и IFR. В отечественных проработках близки по потенциалу безопасности концепции натриевых реакторов с гетерогенной структурой (оксидные и металлические сырьевые твэлы) активной зоны — LMFR.

Основной акцент новых концепций натриевых быстрых реакторов сделан на конструировании свойства самозащитности. Использование топлива с относительно «холодным» рабочим режимом, обеспечение внутреннего коэффициента воспроизводства (к. в. а.), приблизительно равного 1, специальное конструирование геометрических изменений активной зоны и подбор эффектов реактивности приводят к устойчивости реактора по отношению к основным сценариям тяжелых аварий без необходимости срабатывания аварийной защиты (ATWS), в том числе при несанкционированном вводе (TOP) имеющейся реактивности, останове насосов первого контура (LOF), отключении второго контура охлаждения (LOHS), переохлаждении теплоносителя первого контура и др. Приведенная в таблице максимальная расчетная температура натрия в аварийных режимах свидетельствует о наличии определенного запаса до его «кипения».

Недостатками натриевых концепций реакторов являются горючесть теплоносителя, низкие запасы до кипения, не позволяющие надежно гарантировать однофазность теплоносителя с учетом существенной неопределенности в расчетных значениях эффектов реактивности. Еще один значительный шаг в направлении радикального повышения безопасности может состоять в переходе к охлаждению быстрого реактора пегорючим жидкометаллическим теплоносителем (например, свинцом).

Рассмотрим, как выполняются радикальные принципы построения безопасности на примере быстрого реактора, охлаждаемого свинцовым теплоносителем.

1. Максимальное освобождение от внутренних присущих опасностей энергоблока — отсутствие давления, быстропотекающих химических реакций, в том числе горения теплоносителя, радикальное увеличение запаса до кипения в сравнении с натрием.

Оценка максимальной температуры натрия T_{Na}^{max} (°C) в режимах ATWS [2]

Характеристика	IFR	LMFR
LOF	660	660
LOHS	600	550
TOP	700	670

2. Конструирование самозащищенности специальным подбором эффектов реактивности конструкцией ТВС, позволяющей избежать нарушений локального теплоотвода, разреженной решеткой твэлов с низким гидравлическим сопротивлением потоку теплоносителя, а также за счет возможности самоподдержания реактивности при выгорании топлива удастся обеспечить предельную самозащищенность реактора ко всем ATWS (при подземном размещении атомной станции здесь удастся избавиться и от внешних инициаторов тяжелых аварий).

3. Доказательность уровня безопасности (детерминистское моделирование ATWS) показывает, что все тяжелые аварии внутреннего происхождения, отвод остаточного тепловыделения и ошибочные действия персонала «перевиваются» энергоблоком без подвода энергии и вмешательства извне. Аварии, связанные с потерей теплоносителя при разрушении первого контура с вероятностью выше 10^{-7} 1/год, невозможны из-за высокой устойчивости двухкорпусной конструкции в нормальных и аварийных условиях (здесь требуется использование вероятностного анализа безопасности для оценки пассивного элемента — корпусной конструкции).

Применение свинца вместо натрия стимулируется его хорошими нейтронно-физическими качествами, низкой радиоактивностью. Прогресс натрия в теплофизических качествах несуществен в условиях, когда время удвоения топлива перестало выступать как важный показатель (при замедлении темпов развития ядерной энергетики) эффективности быстрого реактора.

Быстрые реакторы перспективны и для решения топливной проблемы ядерной энергетики, переживания долгоживущих актиноидов, снижения теплового «загрязнения» среды.

Еще одним интересным с сегодняшних позиций является жидкосольевой реактор. Его основными привлекательными свойствами являются потенциал безопасности, топливная экономичность, возможность разнообразного применения как для электропроизводства, так и в технологических

целях. Высокая безопасность может быть обеспечена здесь за счет нескольких важных внутренних присущих качеств:

возможности непрерывного и быстрого выведения радиоактивных продуктов деления, что уменьшает одну из главных присущих ядерному производству энергии опасностей;

низкого запаса реактивности и давления в реакторе.

Отсутствие части внутренних барьеров (топливной матрицы и оболочки твэлов), по мнению разработчиков, может быть скомпенсировано добавлением внешних барьеров.

Развитие этих реакторов требует освоения новых видов технологии (материал, теплоноситель, технология переработки топлива), часть которых продемонстрирована сегодня лишь на лабораторном уровне. Риск, связанный с развитием таких видов технологии, — основная причина сдержанного отношения специалистов к концепции жидкосольевых реакторов.

Среди концепций НИР рассматриваются предложения соленого реактора с паровыми твэлами (теплоноситель — соль без топлива), лишенными недостатков, связанных с утратой внутренних барьеров.

Многие из новых концепций, не нашедших пока конкретных проектных решений, но обладающих большой привлекательностью на перспективу (особенно жидкометаллические быстрые реакторы нового типа, жидкосольевые реакторы) заслуживают рассмотрения на международном уровне под эгидой МАГАТЭ. Кооперация в этой области поможет найти приемлемый для многих стран на долгосрочную перспективу тип реактора и обеспечит устойчивое и безопасное развитие ядерной энергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев П. Н., Гришанин Е. И., Зверков Ю. А. и др. Концепция пароводяного энергетического реактора. — Атомная энергия, 1989, т. 68, вып. 4, с. 239—243.
2. Alekseev P. N. et al. Concept of the new generation high safety Liquid Metal Reactor (LMFR). — In: Proc. Intern. Conf. Safety of new generation. Power Reactors. USA, Seattle, May 1988, p. 742—746.

УДК 677.3:539.12.04 + 581:539.12.04

Радиоэкологические проблемы ядерной энергетики

АЛЕКСАХИН Р. М., КРЫШЕВ И. И., ФЕСЕНКО С. В., САУЖАРОВА И. И.

Центральной проблемой, определяющей перспективы развития ядерной энергетики, является изучение действия радиационного фактора на окружающую среду и здоровье населения. По другим основным критериям, по которым проводится интегральная оценка перспективности различных видов энергетики (запасы топлива и

различных материальных ресурсов, обеспечивающие устойчивое функционирование различных видов энергетики, влияние на природную среду и человека нерадиационных факторов и др.), серьезных оснований против развития энергетики на ядерном топливе нет, хотя по некоторым аспектам этой проблемы есть задачи, требующие

самостоятельного анализа. К ним, например, относится выделение в окружающую среду тепла в расчете на единицу вырабатываемой энергии для различных видов энергетики относительно ядерного топливного цикла (ЯТЦ).

Выведение радионуклидов в окружающую среду происходит на всех этапах ЯТЦ, однако интенсивность воздействия радиационного фактора на объекты природной среды и человека в разных звеньях ЯТЦ различна. Даже на первых этапах этого цикла — добычи и переработки уранового сырья и изготовления топлив, т. е. когда не происходит ядерных реакций деления и нейтронной активации, пыными словами нет образования искусственных (техногенных) радионуклидов — в окружающую среду выбрасываются тяжелые естественные радионуклиды (продукты распада ^{238}U и ^{232}Th), и «нормальная» интенсивность их круговорота изменяется. На последующих этапах ЯТЦ — при работе АЭС, переработке отработанного топлива, когда образуется большое количество искусственных радионуклидов, а также при захоронении радиоактивных отходов интенсивность воздействия радиационного фактора на объекты окружающей среды, на человека может быть выше. Особенно остро встают радиэкологические проблемы при нарушении технологически нормальных процессов на предприятиях ЯТЦ (в первую очередь при авариях с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду).

Естественный радиационный фон. Ионизирующее излучение, связанное с радионуклидами, высвобождаемыми в окружающую среду в ЯТЦ, не является новым, присущим только ядерной технологии фактором среды. Человек и все живое на Земле развивались в условиях постоянно действующего естественного фона радиации. Имеются суждения, что этот природный фон в течение геологической эволюции Земли существенно варьировал, также значительно менялись и условия облучения живых организмов и человека на Земле. Учитывая это, есть основания заключить, что сравнение техногенного увеличения естественного радиационного фона с «нормальными» (усредненными для относительно больших площадей) значениями этого показателя является рациональной основой для оценки последствий дополнительного (техногенного) облучения человека и живых организмов.

В настоящее время есть три точки зрения на биологическую роль малой дозы облучения (в том числе и на природный фон). Согласно первой из них — радиационно-гигиенической — биологическое действие излучения описывается беспороговой линейной зависимостью доза — эффект; по этой концепции любой сколько-нибудь малой поглощенной дозе соответствует определенный вредный эффект. Эта точка зрения наиболее консервативна, оправданность ее признания базируется на гигиенической презумпции — лучше перестра-

хотиться возможный вредный эффект облучения, чем недооценить. Каких либо научно убедительных данных, свидетельствующих о справедливости этой концепции (или, наоборот, об ее некорректности) для области малой дозы (в силу объективных причин — необходимости оценить эффекты на очень больших выборках облучаемых живых организмов), нет.

Все современные расчеты риска облучения человека основываются на этой концепции.

Вторая точка зрения полярна первой — считается, что естественный радиационный фон обязателен для нормального развития всего живого. Дискутируется вопрос о радиационном гормезисе (т. е. таком состоянии, когда для нормального развития живого организма обязательно облучение в невысокой дозе). Сторонники этой точки зрения видят подтверждение ее справедливости в наличии стимуляционных эффектов при облучении разных видов живых организмов (микроорганизмов, растений, животных и даже человека) малой дозой. Описываются результаты опытов, в которых снижение дозы облучения естественного фона ведет к ослаблению роста и развития живых организмов [1].

Наконец, в соответствии с третьей точкой зрения имеется порог и действия ионизирующего излучения на живые организмы (и человека), ниже которого облучение вредного воздействия не оказывает. Логическим выводом такого положения является обоснованное многочисленными биологическими и экологическими исследованиями влияние различных факторов окружающей среды (в том числе и ионизирующего излучения) убеждение, что живые организмы и их сообщества могут адаптироваться к воздействию малой дозы облучения (и уж во всяком случае к фоновому природному облучению). Многолетними радиэкологическими исследованиями, проведенными в течение последних 30 лет в различных регионах земного шара (в том числе и в нашей стране, в частности, в Коми АССР), убедительно показано отсутствие каких либо экологических сдвигов в природных популяциях живых организмов при дозе облучения, превышающей фоновый уровень до 5—10 раз. Фактически об этом же свидетельствуют результаты более 30-летних исследований по ликвидации последствий ядерной аварии на Южном Урале в 1957 г. [2].

Рассматривая современный природный радиационный фон, следует отметить, что фактически еще одним компонентом этого фона стало глобальное загрязнение вследствие ядерных испытаний. Суммарная инъекция в результате ядерных взрывов до 1980 г. (после этого периода выведение радионуклидов в атмосферу за счет этого источника незначительно) двух основных биологически значимых долгоживущих радионуклидов — ^{90}Sr и ^{137}Cs составила соответственно $6,04 \cdot 10^{17}$ и $9,60 \times 10^{17}$ Бк, что создало максимальную плотность

загрязнения (пояс 40—50° с. ш.) $3,32 \cdot 10^3$ и $5,17 \times 10^3$ Бк/м² [3].

Основные принципы радиационной защиты окружающей среды. При выведении радионуклидов в окружающую среду следует выделить две группы явлений, определяющих опасность радиоактивного загрязнения биосферы. Первую группу составляют эффекты повреждения объектов живой природы и человека, связанные с воздействием ионизирующего излучения, носителем которого являются инжектированные в природную среду радионуклиды. Ко второй группе эффектов относится радиоактивное загрязнение объектов природной среды. В этом случае радиационного поражения объектов может и не наблюдаться, однако накопление радионуклидов в них может достичь такого уровня, который включает (или серьезно ограничивает) их использование человеком. Если соизмерить масштабы этих двух групп эффектов (даже для аварийных ситуаций, не говоря уже о штатном режиме работы АЭС и других предприятий ЯТЦ), то следует прийти к выводу о существенно большем значении эффектов, обусловленных радиоактивным загрязнением объектов внешней среды, чем радиационным повреждением живых организмов и их сообществ. Критериями для такого сравнения могут быть размеры площадей, подверженных воздействию радиоактивного выброса, или материальные затраты на ликвидацию последствий аварий, связанные соответственно с радиационным поражением и радиоактивным загрязнением объектов живой природы. Указанная особенность составляет основную парадигму современной радиоэкологии — радиоактивное загрязнение играет существенно большую роль, чем радиационное поражение живых организмов [4].

В основе концепции радиационной защиты с экологической точки зрения (т. е. защиты живых организмов всех видов, а не только человека) лежит постулат, принятый Международной комиссией по радиационной защите, согласно которому если обеспечен уровень защиты всех людей, по-видимому, этого будет достаточно для защиты организмов других видов, хотя и не обязательно отдельных особей видов [5]. Однако, соглашаясь с данным тезисом, не следует трактовать его механически. По нашему мнению, это положение подразумевает эквивалентность облучения человека, с одной стороны, и живых организмов всех других видов, — с другой. В данном случае обеспечение защищенности от воздействия ионизирующего излучения живых организмов при соблюдении этой защищенности для человека является простым следствием большей радиустойчивости первых относительно человека (тем не менее разница в радиочувствительности в крайних случаях и не столь велика; так, по полудетальной дозе LD_{50} человек и хвойные деревья различаются всего лишь в 1,5—2 раза, хотя в целом по ука-

занному показателю запасы «устойчивости» человека выше, чем других представителей животного мира, в сотни, тысячи и более раз). Как экстремальный пример радиационного повреждения одного из наиболее радиочувствительных представителей живой природы — деревьев хвойных пород можно указать на генетические изменения (мутантные формы ферментов и неполноценность семян сосны), происходящие при хроническом облучении мощностью дозы $2 \cdot 10^{-5}$ Гр/сут (около 0,007 Гр/год, что выше естественного фона примерно в 7 раз) [6].

Вместе с тем для большинства радиологических ситуаций, связанных с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду, облучение для разных видов живых организмов является резко псевдодозным. Более того, как правило, живые организмы по сравнению с человеком получают существенно более высокую биологически эффективную дозу. Это связано с различной биологической ролью β -излучения, разницей в экранировании, спецификой дезактивации у человека относительно других живых существ, возможностью сознательного избегания полей интенсивного излучения человеком, чего лишены животные и растения. Кроме того, отдельные группы живых организмов из среды их обитания могут концентрировать радионуклиды с высоким коэффициентом накопления, что не характерно для человека.

Более интенсивное облучение представителей животного мира по сравнению с человеком при выбросах радиоактивных веществ в окружающую среду может отчасти снизить связанный с разницей в радиочувствительности «разрыв» в допустимой дозе облучения человека и живых существ, однако анализ разных радиологических ситуаций, даже наиболее тяжелых аварийных, показывает, что этот барьер, как правило, не преодолевается. Наконец, надо иметь в виду, что критерии радиационной защиты и нормативы допустимого облучения для человека существенно более жестки, чем для других живых организмов. Таким образом, хотя тезис о защищенности природных объектов, если обеспечена радиационная защита человека, является достаточно теоретически и экспериментально обоснованным, в каждой конкретной радиологической ситуации последствия облучения человека и сообществ живых организмов должны анализироваться отдельно.

Работа АЭС и других предприятий ЯТЦ в технологически нормальном режиме. Радиоактивные выбросы АЭС и других предприятий ЯТЦ, работающих в технологически нормальном режиме, регулируются жесткими нормативами, в результате чего выбросы крайне мало изменяют природный фон и естественное содержание радионуклидов в объектах природной среды. Используемые на АЭС технические меры обеспечивают при нормальных условиях эксплуатации высокий коэффициент удержания радионуклидов. Фак-

человеческие выбросы радионуклидов в атмосферу ВВЭР составляют несколько процентов ПДВ. Выбросы радионуклидов РБМК в целом выше, но также не превышают ПДВ. Например, для Ленинградской АЭС газоаэрозольные выбросы в 1980—1985 гг. составляли в среднем по инертным радиоактивным газам — 30%, ^{131}I — 20%, ^{90}Sr — 3%, короткоживущим радионуклидам — 30%, долгоживущим радионуклидам — 1,5% ПДВ.

Основную долю в выбросах радионуклидов АЭС составляют продукты деления, куда входят инертные радиоактивные газы, ^3H , а также радиоизотопы таких экологически значимых элементов, как цезий, стронций, празеодим и др. Другая группа радионуклидов представляет собой продукты коррозии материалов активной зоны реактора и первого контура теплоносителя: ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{60}Co и др. Выбросы трансураниевых элементов обычно пренебрежимо малы по сравнению с выбросами других радионуклидов [7].

Среди инертных радиоактивных газов особую значимость имеет ^{85}Kr , который поступает в атмосферу в процессе как эксплуатации АЭС, так и заводов по регенерации ядерного топлива. Увеличение концентрации ^{85}Kr в атмосфере может изменить в результате ионизации электропроводность воздушной среды и вызвать труднопрогнозируемые геофизические эффекты (уменьшение электрического заряда Земли, изменение магнитного поля и др.). В настоящее время не представляется возможным сделать выводы о влиянии повышения концентрации ^{85}Kr на электрическое состояние атмосферы, поскольку необходим учет всех основных факторов, действующих на электропроводность воздуха (в частности, загрязнение атмосферы), и несомненно необходимость детального изучения данной проблемы.

Согласно многолетним исследованиям, концентрация радионуклидов в аэрозолях приземного воздуха в районах АЭС значительно ниже (в 10^4 — 10^6 раз) допустимой, регламентированной нормами радиационной безопасности. Частота определения радионуклидов стационарного происхождения уменьшается с удалением от АЭС, не превышая нескольких процентов на расстоянии более 10 км. По наблюдениям в районе Ленинградской АЭС распространение следовых количеств ^{131}I прослеживается до расстояния 35 км от АЭС. Влияние АЭС на радиоактивное загрязнение воздушной среды ^{137}Cs мало по сравнению с глобальным радиационным фоном и достоверно выявляется только при минимальном глобальном выпадении. Влияние АЭС на радиоактивность атмосферных выпадений прослеживается в основном в санитарно-защитной зоне. Вблизи Ленинградской АЭС невозможно идентифицировать долгоживущие искусственные радионуклиды (^{90}Sr , ^{137}Cs) стационарного происхождения в объектах пищевых цепочек человека (сельскохозяйственные продукты, ягоды, рыба и т. п.) на фоне глобальных выпа-

Таблица 1. Содержание радионуклидов в сельскохозяйственных продуктах в районе Ленинградской АЭС (1976—1985 гг., усредненные данные), Бк/кг

Продукт	^{137}Cs	^{90}Sr
Молоко	$0,9 \pm 0,5$	$0,8 \pm 0,3$
Рожь	$1,2 \pm 0,8$	$0,5 \pm 0,2$
Ячмень	$0,3 \pm 0,14$	$0,7 \pm 0,3$
Пшеница	$1,3 \pm 1,0$	$0,5 \pm 0,14$
Овес	$0,6 \pm 0,5$	$0,4 \pm 0,15$
Картофель	$0,5 \pm 0,2$	$0,16 \pm 0,10$
Турнепс	$0,4 \pm 0,14$	$0,4 \pm 0,13$
Грибы	40 ± 12	$1,0 \pm 0,7$
Ягоды	$5,0 \pm 1,2$	$2,0 \pm 0,6$

Таблица 2. Содержание ^{137}Cs в почвах районов АЭС, кБк/м²

АЭС	Год обследования	Район	
		АЭС	Контрольный
Ленинградская	1977	$2,4 \pm 0,1$	$2,40 \pm 0,03$
Курская	1978	$2,8 \pm 0,1$	$2,70 \pm 0,03$
Чернобыльская	1979	$2,6 \pm 0,1$	$2,64 \pm 0,02$
Нововоронежская	1980	$3,2 \pm 0,2$	$2,61 \pm 0,02$

дений (табл. 1). Из данных табл. 2 следует, что концентрация ^{137}Cs в почвах вблизи АЭС мало отличается от загрязнения, связанного с глобальными выпадениями.

При нормальной эксплуатации АЭС население испытывает дополнительное радиационное воздействие, в десятки—сотни раз меньшее природного фона. Из-за накопления радионуклидов в тканях живых организмов их доза облучения может быть выше, чем человека. Наиболее экологически уязвимым звеном природной среды в районе АЭС является биоценоз водоема-охладителя, испытывающий воздействие комплекса антропогенных факторов: теплового сброса, химического загрязнения, эвтрофикации, механического травмирования организмов на водозаборных устройствах АЭС, а также дополнительного облучения искусственными радионуклидами. Формирование дозы облучения гидробионтов происходит под действием облучения от инкорпорированных радионуклидов и внешнего облучения от радионуклидов, содержащихся в воде, донных отложениях и других компонентах экосистем. В силу низкой концентрации искусственных радионуклидов в воде последний компонент дозы облучения гидробионтов обычно пренебрежимо мал. Согласно многолетним исследованиям в районе Ленинградской АЭС, радиоактивность рыб в основном определялась естественным ^{40}K [8]. Так, содержание ^{137}Cs , ^{90}Sr и некото-

Таблица 3. Мощность дозы внутреннего облучения искусственными радионуклидами в районе Ленинградской АЭС, мГр/сут (1976—1985 гг., усредненные данные)

Вид рыбы	Оброслой канал АЭС-1	Копорская губа	Реки
Салака	—	30	—
Корюшка	—	14	—
Белуга	—	—	23
Гольян	35	—	20
Плотва	130	120	34
Уклея	27	25	—
Лещ	—	21	—
Густера	—	—	12
Окунь	65	47	23
Камбала	—	22	—
Треска	—	18	—
Налим	—	—	12
Ерш	—	10	—
Колхозка 3-летняя	45	32	28
Колхозка 9-летняя	47	33	31

рых других радионуклидов для подавляющего большинства видов рыбы находилось в пределах 1—4% естественного фона и только в редких случаях достигало 10% (табл. 3). Вследствие этого при нормальной эксплуатации АЭС дополнительные дозовые нагрузки на гидробионты не выходят за пределы малой дозы.

Радиоэкологические проблемы радиационных аварий. Мировой опыт ядерной энергетики свидетельствует о том, что при работе предприятий АТЦ в технологически нормальном режиме радиационное воздействие на природную среду существенно ниже естественного фона и глобального загрязнения ^{90}Sr и ^{137}Cs . Принципиально другая ситуация может сложиться в случае крупной радиационной аварии на АЭС с частичным повреждением активной зоны и выходом газообразных, летучих, а в некоторых ситуациях и тугоплавких радионуклидов за пределы территории АЭС. В случае гипотетической аварии ВВЭР-1000, являющейся в настоящее время базовым в ядерной энергетике нашей страны, выброс биологически значимых (определяющих радиационные последствия) радионуклидов может составить более $5,6 \times 10^{16}$ Бк, включая $1,4 \cdot 10^{16}$ Бк ^{131}I и $1,1 \cdot 10^{14}$ Бк ^{137}Cs и ^{134}Cs [9]. В результате радиоактивному загрязнению могут подвергнуться сельскохозяйственные угодья и природные экосистемы на значительной территории, что приведет к тяжелым социально-экономическим и радиоэкологическим последствиям, оценить которые можно исходя из опыта ликвидации наиболее крупных произошедших к настоящему времени радиационных аварий (табл. 4).

Представленные данные свидетельствуют о существенных различиях разных аварий как по объему выброса и радионуклидному составу, так и тяжести последствий воздействия этих выбросов

и размерам территории, подвергшейся загрязнению долгоживущими радионуклидами и выведенной из хозяйственного использования. Так, основное значение с точки зрения воздействия на окружающую среду и население непосредственно после аварий в Уиндской и на АЭС «Три-Майл-Айленд» имело поступление в окружающую среду изотопов йода, вследствие чего радиоэкологические последствия носили кратковременный характер. В аварийном выбросе на Чернобыльской АЭС наряду с ^{131}I , выпадения которого оказали существенное воздействие на агропромышленное производство и население не только в СССР, но и странах Западной и Восточной Европы, в большом количестве был ^{137}Cs , и как результат — последствия этой аварии носят долгосрочный характер и требуют многолетних усилий для нормализации обстановки в сфере агропромышленного производства на значительной территории. Радиоэкологическая обстановка в районе аварии на Южном Урале определялась загрязнением территории ^{90}Sr , вследствие чего сельскохозяйственные угодья на площади 108 тыс. га были выведены из использования на срок от 4 до 20 лет. Такого рода различия между характеристиками аварийных выбросов дают возможность оценить спектр возможных ситуаций и роль факторов, определяющих их последствия.

Указанные факторы можно разделить на две большие группы: 1) параметры выброса, включая суммарное количество радионуклидов, поступавших в окружающую среду, особенности формирования и переноса радиоактивного облака, радионуклидный состав и физико-химическая форма выпадений, время (сезон) выброса; 2) экологические особенности территории, подвергшейся загрязнению, в том числе природно-климатические условия, почвенный покров, структура агропромышленного производства, характеристики природных экосистем в ближней зоне воздействия радиоактивного выброса.

К наиболее тяжелым авариям как по объему выброса, так и большому содержанию в выбросе долгоживущих радионуклидов относятся аварии на Южном Урале и Чернобыльской АЭС. В результате аварий существенному радиоактивному загрязнению подверглась значительная территория (15 тыс. и 100 тыс. км² соответственно). При этом важное значение, определявшее большие размеры загрязненной территории, имело то обстоятельство, что в обоих случаях выброс радионуклидов происходил на значительную высоту (до 1 км на Южном Урале и до 7 км в Чернобыле). После аварии на Чернобыльской АЭС в результате тропосферного переноса радиоактивному загрязнению подверглись природные и аграрные экосистемы не только в нашей стране, но и многих странах Западной и Восточной Европы, в результате чего ущерб только из-за нарушения сложившейся международной структуры производства и рас-

Таблица 3. Характеристика выбросов радионуклидов в окружающую среду при крупных ядерных авариях, Бк [2, 9—13]

Авария	Выброс				Территория, выведенная из хозяйственного использования, км ²	Территория, на которой отмечено действие выброса, км ²	Примечание
	Суммарный	⁹⁰ Sr	¹³¹ I	¹³⁷ Cs			
Южный Урал, 1957 г.	$7,4 \cdot 10^{13}$	$2,0 \cdot 10^{15}$	Отсутствовал	$2,7 \cdot 10^{13}$	1000	15000 *	Состав выброшенной смеси радионуклидов: ⁹⁰ Sr— ⁹⁰ Y—5,4%, ¹⁴¹ Ce + ¹⁴⁴ Pr—66%, ⁹⁵ Zr + ⁹⁵ Nb—24,9%, ¹⁰⁶ Ru + ¹⁰⁶ Rh—3,7%, ¹³⁷ Cs—0,036%
Уиндскейла (Великобритания), 1957 г.	—	$7,4 \cdot 10^{14}$	$7,4 \cdot 10^{14}$	$2,2 \cdot 10^{14}$	—	500 *	Среди выброшенных радионуклидов присутствовали также ⁹⁰ Sr, ¹³² Te и некоторые другие
АЭС «Три-Майл-Айленд» (США), 1979 г.	—	—	$7,4 \cdot 10^{11}$	—	—	—	Выброс радионуклидов в окружающую среду был очень незначительным
Чернобыльская АЭС, 1986 г.	$3,7 \cdot 10^{16}$	$8,1 \cdot 10^{16}$	$(3,7—6,3) \cdot 10^{17}$	$7,4 \cdot 10^{16}$	3000	20000 ***	Среди других биологически значимых были инжестрированы в атмосферу ¹³⁷ Cs, ¹⁰³ Ru, ¹⁰⁶ Rh, ¹⁴¹ Ce, ¹⁴⁴ Pr, ⁹⁵ Sr, ²³⁹ Pu и некоторые другие радионуклиды
Гилогетичская авария ВВЭР-1000	$5,6 \cdot 10^{14}$	$8,9 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{15}$	$1,1 \cdot 10^{14}$	—	10000 ****	

* Исходя из предположения содержания в дожде глобального ⁹⁰Sr.
 ** Исходя из предположения содержания ¹³¹I в молоке по нормативу, принятому в Пешаварской провинции, $1 \cdot 10^{-7}$ Ки/л (3700 Бк/л) [13].
 *** Исходя из предположения плотности выпадения ¹³⁷Cs в 5 Ки/км² ($0,19$ МВк/км²).
 **** Исходя из предположения содержания ¹³¹I в молоке по нормативу, принятому в СССР, $1 \cdot 10^{-7}$ Ки/л (3700 Бк/л).

предела производства агропромышленного производства составил более 1,5 млрд дол. [14]. На сложившуюся пространственную структуру радиоактивных выпадений существенное влияние оказали погодные условия, способствовавшие распространению радиоактивного облака на большое расстояние, наличие осадков в момент прохождения облака, микро- и мезорельеф местности.

В первый период после аварии на Чернобыльской АЭС вследствие интенсивного аграрного загрязнения пастбищной растительности концентрация ¹³¹I в молоке в некоторых районах Белоруссии и Украины достигала $(0,4—4) \cdot 10^5$ Бк/л. Близкое к этому максимальное загрязнение молока наблюдалось и после других крупных радиационных аварий — в Уиндскейле ($7,4 \cdot 10^4$ Бк/л) и на АЭС «Три-Майл-Айленд». Вследствие того, что ¹³¹I в аварийных выбросах, как правило, составляет значительную долю активности радионуклидов, поступающих в окружающую среду, почти полностью задерживается в растительности, обладает способностью к концентрированию в высокой степени в отдельном органе (щитовидной железе животных и человека), именно этот радионуклид в значительной степени определяет и острый пе-

риод масштабы воздействия на аграрные экосистемы и население. Аналогичные последствия за исключением аварийных выбросов, подобных выбросу на Южном Урале, в начальный период были характерны и для аварии на Чернобыльской АЭС, при этом только в нашей стране существенное поверхностное загрязнение территории ¹³¹I отмечалось в 39 районах 9 областей БССР, УССР и РСФСР, где общая численность населения составляла 1,5 млн. чел.

Поскольку в острый период воздействия радиоактивных выбросов основную часть в смеси продуктов деления составляют короткоживущие радионуклиды, именно в это время может сформироваться значительная доза внешнего и внутреннего облучения растений и животных, составляющих природные и сельскохозяйственные экологические системы. Так, непосредственно после аварии в Уиндскейле дозовые нагрузки на щитовидную железу овец, находившихся в месте максимальных выпадений, равнялись около 10 Зв, близкими к этим значениям были дозовые нагрузки на щитовидную железу крупного рогатого скота и в районе Чернобыля. При оценке воздействия радиоактивных выбросов на аграрные (по крите-

...национальная конференция (397)

рными загрязнениями продукции и действию радиации) и природные (только по критерию действия) экосистемы следует учитывать, что последствия влияния радиоактивных выбросов существенно зависят от времени, когда они происходят. Объясняется это тем, что основной формой воздействия в данный момент является аэральное загрязнение растительности с последующим интенсивным включением радионуклидов в трофические и пищевые цепочки, которое возможно, естественно, в период вегетации сельскохозяйственных культур. Так, не очень существенный выброс радионуклидов в окружающую среду после аварии на АЭС «Три-Майл-Айленд» (около $7,4 \cdot 10^{11}$ Бк ^{131}I) потребовал принятия мер по ограничению агропромышленного производства и потребление пищевых продуктов, произведенных в этой зоне, в результате чего агропромышленному производству штата Пенсильвания был нанесен ущерб на десятки миллионов долларов [15].

Хроническое (долгосрочное) воздействие аварийных выбросов может наблюдаться только в тех случаях, когда в смеси продуктов деления, поступающих в окружающую среду, в большом количестве содержатся долгоживущие радионуклиды — ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{239}Pu и некоторые другие. Такая ситуация возможна в случае аварии на радиохимических предприятиях или тяжелой аварии на АЭС. Поскольку в настоящее время основное количество предприятий ЯТЦ размещено в традиционно аграрных районах, возможность такого рода ситуации определяет высокую степень опасности с точки зрения воздействия на агроэкосистемы, поскольку ведет, как показал опыт ликвидации аварий на Южном Урале и в Чернобыле, к долгосрочным (десятилетиями) радиэкологическим последствиям в сфере сельскохозяйственного производства.

В этот период загрязнение продукции агропромышленного производства в основном определяется корневым поглощением радионуклидов. Вследствие продолжительности хронического периода воздействия радиоактивных выбросов наряду с параметрами выброса, определяющими начальную плотность выпадений долгоживущих радионуклидов, существенным образом зависит и от свойств природной среды. Среди таких свойств наибольшее значение имеют характеристики почвенного покрова, от которых зависит доступность радионуклидов для усвоения их растениями. Так, одной из радиэкологических особенностей аварии на Чернобыльской АЭС было то, что в районе интенсивного выпадения радионуклидов почвенный покров был представлен легкими песчаными и супесчаными дерново-подзолистыми кислыми почвами, что предопределило интенсивное включение радионуклидов в сельскохозяйственные трофические цепочки и существенно расширило масштабы последствий воздействия аварийного выброса на сферу агропромышленного производства.

Значительно менее интенсивно радионуклиды включаются в пищевые цепочки на более плодородных почвах, в частности, черноземах, составляющих основу почвенного покрова в районе аварии на Южном Урале. Этим объясняется то, что территорию 106 тыс. га, выведенную в 1958 г. из хозяйственного оборота, удалось относительно быстро (к 1961 г. 46 тыс. га и к 1978 г. почти полностью) вернуть в сферу агропромышленного производства.

Как уже указывалось, среди двух основных видов воздействия радиоактивных выбросов в окружающую среду — загрязнение объектов и радиационное воздействие, первая группа эффектов имеет существенное большее значение и охватывает значительно большую площадь. Так, после аварии на Чернобыльской АЭС радиационное воздействие на агроэкосистемы наблюдалось только в зоне высокого уровня загрязнения — в пределах нескольких километров от Чернобыльской АЭС. Значимые эффекты отмечались у одного из наиболее радиационно-уязвимых компонентов биосферы — сосновых лесонасаждений, в результате облучения которых в дозе, превышающей 10 Гр, площадь погибших лесов достигла 400 га [16]. В этой же зоне отмечались эффекты облучения почвенных животных, не приведшего, однако, к заметному падению их численности. На большей части территории аварийного следа на территории УССР, БССР и РСФСР мощность поглощенной дозы облучения в кроне сосен варьировала в июле — августе 1986 г. в широких пределах — от $1 \cdot 10^{-6}$ до $5 \cdot 10^{-4}$ Гр/сут, оставаясь за пределами небольшой части 30-километровой зоны значительно ниже уровня облучения, способного оказать угнетающее действие на хвойные деревья.

Еще одной «экологически горячей» точкой в зоне аварии явились водоем-охладитель Чернобыльской АЭС и обитающие в нем гидробионты. Согласно расчетам, уровень внешнего облучения гидробионтов от донных отложений водоема-охладителя составлял в конце апреля — начале мая 1986 г. в среднем 0,1—0,2 Гр/сут. В конце 1986 г. в результате распада короткоживущих радионуклидов мощность дозы снизилась до 0,02—0,05 Гр/сут. К осени 1986 г. радиоактивное загрязнение дна в основном определялось долгоживущими радионуклидами, и в дальнейшем снижение дозы облучения происходило медленно.

В целом в водоем-охладителе значимых эффектов воздействия ионизирующего излучения на водные организмы выявлено не было. Радиоактивное загрязнение водоемов за пределами 30-километровой зоны также не приводило к формированию дозных нагрузок на гидробионты, существенных с точки зрения проявления биологических эффектов.

Если площадь, где отмечается радиационное повреждение у живых организмов и их популяций даже при такой тяжелой аварии, как на Черно-

быльской АЭС, мала (на удалении не более нескольких километров от точки выброса), то территория, где плотность загрязнения сельскохозяйственных угодий, превышающая по ^{137}Cs 5 Кц/км² (0,19 МБк/м²), при которой может наблюдаться превышение введенных Минздравом СССР нормативов по содержанию этого радионуклеида в молоке, была более 15 тыс. км². Сравнительный анализ загрязнения, приводящего к осязательному воздействию на природные и сельскохозяйственные экосистемные системы в случае аварийных ситуаций на Южном Урале и Чернобыльской АЭС, дает возможность сделать вывод о том, что территория, на которой возможно долгосрочное превышение допустимого содержания радионуклидов в продукции агропромышленного производства, существенно (и несколько раз) превышает площадь участков, где могут наблюдаться повреждающие эффекты облучения, что позволяет выделить загрязнение агроэкосистем как критическую форму воздействия при радиоактивных выбросах различной тяжести (табл. 5). С учетом этого обстоятельства при оценке последствий радиационных аварий приоритетное значение имеют исследования по изучению миграционных характеристик радионуклидов в природных и сельскохозяйственных экосистемах, а также изучение природных и антропогенных факторов, определяющих перенос радионуклидов. Это составляет единый комплекс проблем, решение которых направлено на обеспечение экологической безопасности ядерной энергетики.

Экологические проблемы обращения с радиоактивными отходами. Одна из важных проблем радиэкологии ЯТЦ — обращение с радиоактивными отходами и их хранение. Радиоактивные отходы образуются на всех этапах ЯТЦ, однако их состав, а также объемная и удельная концентрация радионуклидов существенно варьируют, соответственно меняется биологическая опасность отходов. Основной экологический принцип, который должен быть использован при обращении с радиоактивными отходами, состоит в концентрировании отходов до минимальных объемов и перевод в максимально иммобильное и недоступное для биогенной миграции состояние.

С экологической точки зрения важное значение имеет перевод радионуклидов в формы, маломиграционноспособные (отверждение отходов, их остекловывание и т. п.), а также размещение отходов в средах, максимально ограничивающих возможность включения радионуклидов в цепи переноса с участием живых организмов (размещение отвержденных отходов, заключенных в специальные емкости, в геологических структурах, полостях и т. д.). Особое внимание при этом должно быть уделено высокоактивным отходам, содержащим актиноиды. Подлежит обработке надежная в экологическом плане система хранения радиоактивных отходов, исключающая аварийные вы-

Таблица 5. Радиэкологические эффекты, доза облучения и плотность загрязнения при аварии на Чернобыльской АЭС

Эффект	Доза облучения, Зв/год	Плотность загрязнения ^{137}Cs , Бк/км ² (МБк/км ²)
Поражение экосистем:		
хвойные леса	10	300 (11)
лиственные леса	30	Не обнаружено
сельскохозяйственные посевы	30	Не обнаружено
Признаки радиационного поражения сельскохозяйственных животных (облучение цитовидной желелы)	50 (на цитовидную желелу)	200 (7,4)
Ранние генетические эффекты	0,1	50 (1,9)
Превышение временного допустимого содержания ^{137}Cs :		
молоко, 10^{-8} Ки/л (370 Бк/л)	—	15 (0,6)
мясо, $5 \cdot 10^{-8}$ Ки/кг (1900 Бк/кг)	—	80 (3,0)
зерно, 10^{-8} Ки/кг (370 Бк/кг)	—	100 (3,7)

бросы. Из практики должны быть исключены случаи рассеяния в природной среде низко- и среднеактивных отходов, неизбежно ведущего к накоплению радионуклидов в биоте. Нужно учитывать, что по современным радиэкологическим и радиационно-гигиеническим концепциям эффекты облучения в малой дозе носят стохастический характер, т. е. прямо пропорциональны популяционной дозе облучения, и следовательно, рассеяние радионуклидов, снижающее индивидуальную дозу, но не заменяющее коллективную дозу, экологической защиты не обеспечивает.

Заключение. Многолетний мировой и отечественный опыт эксплуатации АЭС в нормальном режиме работы не выявил отрицательного воздействия АЭС на окружающую среду; на территории, прилегающей к АЭС и другим предприятиям ЯТЦ, изменения радиационного фона находятся в пределах фоновых колебаний, а содержание искусственных радионуклидов существенно ниже концентрации естественных радионуклидов и глобального загрязнения ^{90}Sr и ^{137}Cs . Однако являясь экологически безопасными по сравнению с предприятиями других отраслей, предприятия ЯТЦ могут оказать существенное воздействие на природную среду и население в аварийных ситуациях. Это остро ставит задачи разработки надежных конструкций ядерно-энергетических аппаратов и обеспечения безаварийной работы АЭС и всех предприятий ЯТЦ. Более полного решения требует проблема обращения с радиоактивными отходами в экологическом плане. Опыт работы АЭС и ликви-

дации последствий ядерных аварий требует развития систем радиационного мониторинга природной среды, что позволяет на научной основе прогнозировать воздействие предприятий ЯТЦ на окружающую среду и население. Это также является одной из задач, решение которой необходимо для экологически безопасного развития ядерной энергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузин А. М. Особенности механизма действия атомной радиации на биоту в малых, благоприятных для нее дозах: Препринт. Академия наук СССР. Научный центр биологических исследований. Институт биологической физики. Пущино, 1989.
2. Никителов В. В., Романов Г. И., Буддаков Л. А. и др. Радиационная авария на Южном Урале в 1957 г.— Атомная энергия, 1989, т. 67, вып. 2, с. 74—80.
3. Sources, effects and risks of ionizing radiation. UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1988. Rep. to the General Assembly. United Nations, New York, 1988.
4. Алексеев Р. М. Ядерная энергия и биосфера. М.: Энергоиздат, 1982.
5. Радиационная защита. Публикации МКРЗ № 26. Пер. с англ. Под ред. А. А. Моисеева и П. В. Рамзаева. М.: Атомиздат, 1978.
6. Кальченко В. А., Спирин Д. А. Генетические эффекты в популяциях соевых обыкновенной, произрастающих в условиях хронического облучения малыми дозами.— Генетика, 1989, т. XXV, № 6, с. 1059—1064.
7. Силахтьев А. Н., Писуратова И. Г. Обнаружение промышленных загрязнений почвы и атмосферных выпадений на фоне глобального загрязнения. Л.: Гидрометеоиздат, 1983.
8. Рябов И. П., Крышев И. И. Радиэкология рыб морского водоема охладителя АЭС. Тезисы докладов I Всес. радиобиологического съезда. Т. 2. Пущино, 1989, с. 524—526.
9. Гришмановский В. И., Козлов В. Ф., Лузанова Л. М. и др. Оценка радиационных последствий возможных гипотетических аварий на АЭС с ВВЭР.— Атомная энергия, 1989, т. 67, вып. 4, с. 262—266.
10. Информации об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ. Там же, 1986, т. 61, вып. 5, с. 301—320.
11. Паралль Ю. А., Петров В. Н., Северов Д. А. Региональная модель переноса и выпадения радионуклидов от аварии на Чернобыльской АЭС.— Метеорология и гидрология, 1989, № 6, с. 5—14.
12. Седунов Ю. С., Борзинов В. А., Клепикова П. В. и др. Физико-математическое моделирование регионального переноса в атмосфере радиоактивных веществ в результате аварии на Чернобыльской АЭС.— Метеорология и гидрология, 1989, № 9, с. 5—10.
13. Loutit J. et al. The hazards to man of nuclear and allied radiations. Cmd. 4225. Lond., HMSO 1970.
14. Ansaraugh L., Catlin R., Goldman M. The global impact of the Chernobyl reactor accident.— Sci., 1988, v. 242, N 4885, p. 1513—1519.
15. Krippe L., Center B., Long R. TMI radioactive material release pathways.— Trans. Amer. Nucl. Sci. Soc., 1980, v. 34, p. 633.
16. Паралль Ю. А., Соколовский В. Г., Соколов В. Е. и др. Экологические последствия радиоактивного загрязнения природных сред в районе аварии Чернобыльской АЭС.— Атомная энергия, 1988, т. 64, вып. 1, с. 28—40.

УДК 621.039.58'68 + 351.354

Безопасность атомных станций и ее государственное регулирование

БУКРИНСКИЙ А. М., СИДОРЕНКО В. А., ШТЕЙНБЕРГ Н. А.

Государственное регулирование безопасности атомных станций — один из 12-ти «Основных принципов безопасности атомных электростанций», сформулированных Международной консультативной группой по ядерной безопасности при Генеральном директоре МАГАТЭ в документе INSAG-3. Осуществление этого принципа определяет необходимость создания правительством независимой организации для регулирующей деятельности, которая должна включать:

определение и разработку стандартов и правил по безопасности;

выдачу лицензий эксплуатирующим организациям на основе соответствующих оценок безопасности;

инспектирование, контроль и экспертизу характеристик безопасности атомных станций и эксплуатирующих организаций;

требование от эксплуатирующих организаций корректирующих действий, когда это необходимо для безопасности, и принятие необходимых мер принудительного характера, если не достигнуты приемлемые уровни безопасности, вплоть до ликвидации лицензии;

поддержка исследований по безопасности; распространение информации о безопасности.

В Советском Союзе все эти виды деятельности начали осуществляться в том или ином объеме с начала развития ядерной энергетики. Однако первоначально они проводились в рамках той же ведомственной структуры, основным назначением которой являлось создание атомных электростанций и их эксплуатация для производства электроэнергии. Только в 1983 г. в нашей стране был создан самостоятельный, регулирующий эту деятельность орган — Госатомэнергонадзор СССР. Но и он не получил полной независимости, ибо на уровне Бюро Совета Министров СССР входил в структуру, ответственную за производство электроэнергии в стране. И только сейчас благодаря созданию в рамках Комиссии Совета Министров СССР по чрезвычайным ситуациям Госпроматомнадзора СССР обеспечиваются условия для реализации принципа независимости регулирующего органа от тех, кто отвечает за производство электроэнергии.

Социально-экономическая ситуация в годы, когда проходило становление ядерной энергетики,

организация и развитие Госатомэнергонадзора СССР не могли не наложить отпечаток на складывавшийся в этот период характер всех видов регулирующей деятельности. Поэтому необходимо тщательно проанализировать положительный и отрицательный опыт, накопленный регулирующей деятельностью за прошедшие годы, с тем чтобы добиться повышения ее эффективности и соответствия международному уровню. Это одно из условий дальнейшего развития ядерной энергетики в нашей стране.

Нормативное регулирование. Вопросы нормативного регулирования безопасности АЭС в нашей стране возникли вместе с появлением атомных станций. Первоначально они касались радиационной защиты, управления ценными ядерными реакциями, воздействия радиации на конструкционные материалы и т. п. Были разработаны Нормы радиационной безопасности, Правила ядерной безопасности, Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования атомных электростанций, опытных и исследовательских ядерных реакторов и установок и др., отражающие те или иные стороны безопасности объекта. Позже атомная станция стала рассматриваться комплексно как объект, требующий применения специальных технических решений для обеспечения ее безопасности. Появились Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных электростанций и Общие положения обеспечения безопасности при проектировании, сооружении и эксплуатации атомных станций.

Вместе с тем системный подход к нормативному регулированию безопасности АЭС начал развиваться только после создания Госатомэнергонадзора СССР, преемником которого в настоящее время является Госпроматомнадзор СССР.

Нужно сказать, что раньше нормативно-техническая документация разрабатывалась, как правило, в организациях, создававших объекты ядерной энергетики и элементы для них. А поскольку требования такой документации в стране носят обязательный характер, то этот прогрессивный процесс сразу же приобрел негативную сторону: разработчики стремились через нормативную документацию узаконить то, что ими достигнуто. Только после аварии на Чернобыльской АЭС Госатомэнергонадзор СССР в спорных вопросах приобрел право решающего голоса. Однако на практике это право не использовалось, что, безусловно, снижало уровень требовательности подобных документов.

К разработке нового, единого комплекса нормативно-технической документации по безопасности атомных станций Госатомэнергонадзор СССР приступил еще до аварии на Чернобыльской АЭС, так как имевшиеся к тому времени нормативные материалы не охватывали или охватывали не полностью многие важные для безопасности вопросы, например, проектирование и эксплуата-

цию локализующих систем безопасности, аварийного охлаждения и отвода тепла к конечному теплоносителю, управляющих систем безопасности и др. В то же время некоторые имевшиеся документы, разрабатывавшиеся разными органами надзора, дублировали один другой.

Необходимость нового единого комплекса нормативно-технической документации по безопасности атомных станций особенно стала ясной после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г., обнажившей недостатки существующей концепции безопасности. Нужна была новая редакция Общих положений обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ), являющихся документом верхнего иерархического уровня создаваемой новой системы нормативно-технических документов. В нем формулируются цели, критерии и основные принципы обеспечения безопасности атомных станций. Документ должен заменить действующие ОПБ-82.

Работа над новой редакцией ОПБ совпала по времени с разработкой Международной консультативной группой по ядерной безопасности (INSAG) при Генеральном директоре МАГАТЭ основных принципов обеспечения безопасности атомных электростанций. Поэтому в новой редакции Общих положений обеспечения безопасности атомных станций — ОПБ-88 был уделен особое внимание не только накопленный, особенно после аварии на Чернобыльской АЭС, отечественный опыт, но и международный. Это существенно осложнило пока еще необходимое их согласование с ведомствами разработчиков и на целый год задержало выпуск в свет нового документа.

В международной практике при разработке нормативно-технической документации учитывается мнение всех заинтересованных организаций, однако для утверждения требуется только решение государственного органа, на который возложена соответствующая ответственность. Это обеспечивает возможность постоянно поддерживать такую документацию на необходимом качественном уровне.

Существующая в настоящее время система финансирования разработки нормативной документации также несовершенна. Средства для нее выделяются из государственного бюджета ведомства, которым подчинены организации-разработчики. Это приводит к длительным, многосторонним согласованиям перечней, планов и т. п., к невозможности оперативно реагировать на изменения запросов жизни.

Все разработки нормативно-технической документации по безопасности объектов ядерной энергетики должны финансироваться Госпроматомнадзором СССР, а ему соответственно из государственного бюджета должны выделяться необходимые средства. Что разрабатывать и в какие сроки должен решать Госпроматомнадзор СССР, регулируя свои отношения с организациями-разработчиками на договорной основе.

Запланировано с 1 июля 1990 г. ввести в действие ОПБ-88, базирующиеся на принципиально новой концепции безопасности, учитывающей уроки аварии на Чернобыльской АЭС. Если основу прежней концепции составляли так называемые проектные аварии и постулированные исходные события, с которых они начинались, то новая концепция включает рассмотрение запроектных аварий с возможными тяжелыми повреждениями активной зоны вплоть до ее полного расплавления. В концепции глубоко эшелонированной защиты, на которой, как и раньше, строится стратегия обеспечения безопасности АЭС, появился новый уровень защиты, обеспечиваемый так называемым управлением аварией. Это понятие включает меры по предотвращению развития проектных аварий в запроектные, а также меры по ослаблению последствий запроектных аварий, если их предотвратить не удалось. Управление аварией осуществляется оперативным эксплуатационным персоналом и прибывшими ему на помощь аварийными командами. Для управления авариями могут использоваться как имеющиеся в распоряжении персонала исправные технические средства нормальной эксплуатации или системы безопасности, рассчитанные на проектные аварии, так и дополнительные специальные технические средства, предусматриваемые в проекте для защиты локализуемых систем станций (контейнента) от разрушения при запроектной аварии и ослабления ее последствий за пределами площадки станции. Такой опыт управления аварией был приобретен во время аварии на АЭС «Три-Майл-Айленд» (США) в 1979 г. и Чернобыльской АЭС в 1986 г.

Если при рассмотрении проектных аварий число учитываемых в процессе их развития отказов ограничивалось принципом единичного отказа, то при обсуждении запроектных аварий это ограничение снимается. В связи с этим в новой редакции ОПБ приобретает обязательный характер требование о проведении количественно-вероятностных анализов безопасности. Раньше такое требование обуславливалось наличием обязательных исходных данных по надежности элементов и практически не выполнялось. Сейчас эти условия из текста ОПБ исключены. Необходимо отметить, что наша страна отстает в освоении и применении количественно-вероятностных методов анализа безопасности. Внедрение новой системы нормативных документов по безопасности атомных станций должно стимулировать проектно-конструкторские и эксплуатирующие организации усердно развивать эту область.

В связи с ожидаемым расширением применения количественно-вероятностных методов анализа безопасности на всех этапах создания и эксплуатации атомных станций в ОПБ-88 внесены некоторые целевые ориентиры, выраженные в вероятностных терминах, например, вероятность неприемлемого события, равная 10^{-7} реакторо-год. В качестве

такого события рассматривается эвакуация населения крупных населенных пунктов с числом жителей, превышающим 100 тыс. чел. Так как в соответствии с принятыми в Советском Союзе нормами размещения атомных станций их удаление от населенных пунктов с такой или большей численностью населения должно быть не менее 25 км для атомных электростанций и не менее 5 км для атомных станций теплоснабжения, то с указанной вероятностью эвакуация должна быть исключена за пределами такого удаления от станции. Достижению этой цели подчинено проектирование дополнительных специальных технических средств для управления аварией, которые должны ограничить аварийный выброс радиоактивных продуктов за пределы станции. Непревышение такой же вероятности катастрофического разрушения корпуса реактора должно быть также отражено в проекте.

Что касается запроектных аварий с тяжелыми повреждениями или расплавлением активной зоны, то для их исключения в качестве целевого ориентира задана вероятность 10^{-6} реакторо-год.

Задание в ОПБ-88 некоторых целевых ориентиров безопасности в терминах вероятности не означает перехода на количественное нормирование безопасности атомных станций. Госпроматомнадзор СССР, как и вся отечественная атомная промышленность, пока еще не готовы к этому, да и в будущем маловероятно, чтобы такой переход мог оказаться целесообразным. Субъективистский, теоретический характер оцениваемых вероятностей, опирающихся на множество условий, которые в реальной жизни не бывают застывшими, а подвижны и зависят от многих факторов, в том числе такого трудно прогнозируемого фактора, как поведение человека, выражает лишь степень нашего доверия к принимаемым мерам безопасности или нашей уверенности в их эффективности в отличие от объективистских значений вероятностей, отражающих статистику наблюдаемых явлений. Поэтому пока еще преждевременно рассматривать указанные ориентиры в качестве абсолютных критериев. Наряду с такого рода оценками и ориентирами, которые безусловно важны для принятия правильных решений, необходимо иметь и некоторые детерминистические критерии приемлемого уровня безопасности. В качестве одного из таких критериев в ОПБ-88 фигурирует признак наличия у реактора свойства внутренней самозащитивности. Только в том случае, если на основе использования такого свойства и принципов устройства реактора запроектные аварии с тяжелым повреждением или расплавлением активной зоны могут быть исключены, специальные дополнительные средства для управления авариями могут не применяться.

Недопустимость на данном этапе использования вероятностных целевых ориентиров в качестве критериев подтверждается практикой последних

лет, когда у разработчиков появилось стремление не совершенствоваться на основе новой методологии своих технических решения, а навязывать разработанные ими как совершенные.

Необходимо перейти на принятую во всем мире концепцию нормативно-технической документации как способа, облегчающего взаимопонимание между государственным регулирующим органом и лицензиатом и упрощающего процесс лицензирования.

Лицензионное регулирование. В нашей стране лицензионного регулирования в том виде, в каком оно осуществляется в большинстве западных стран и предусмотрено международными стандартами МАГАТЭ, пока нет. Госатомэнергонадзором СССР, а ныне Госпроматомнадзором СССР проводится так называемая надзорная и контрольно-профилактическая деятельность на подконтрольных предприятиях. Надзору подлежат соблюдение должностными лицами и персоналом подконтрольных организаций, предприятий и объектов ядерной энергетики требований нормативно-технической документации по безопасности в целях предупреждения возникновения и развития аварий на контролируемых объектах. Контроль проводится за обеспечением соответствия подконтрольных систем, сооружений, конструкций и оборудования объектов ядерной энергетики нормативным требованиям на всех этапах: создания, эксплуатации и снятия с эксплуатации объектов.

Чем же отличается эта деятельность от лицензионно-регулирующей? Здесь можно выделить несколько аспектов. Во-первых, такая деятельность проводится непрерывно. Основными ее исполнителями являются инспекторы, постоянно работающие на подконтрольных предприятиях, организациях и объектах ядерной энергетики. При такой организации контрольно-профилактической деятельности и надзорной работы местные инспекции надзорного органа, в нашем случае Госпроматомнадзора СССР, практически сливаются с персоналом подконтрольных предприятий, организаций и объектов ядерной энергетики и подменяют собой деятельность внутренних контрольно-надзорных служб. Все это усугубляется и закрепляется социально-бытовой зависимостью местных инспекций от подконтрольных предприятий, организаций и объектов ядерной энергетики. Естественно, что при таких условиях деятельность государственного органа надзора постепенно превращается из преимущественно запрещающей отступления от действующих регламентов, норм и правил в преимущественно разрешающую также отступление. Как правило, эти действия мотивируются государственными интересами по энергоснабжению страны.

Такой стереотип прямолинейного мышления характерен для прошлого периода, когда прямая, хоть и незначительная, сиюминутная выгода признается, а намного большая и отдаленная вы-

года, но не прямая отвергается, так же, как и ущерб, который может впоследствии наступить за прямой, сиюминутной выгодой. Таким образом, волею или неволею производство электроэнергии или выполнение планов по другим видам работ становится приоритетной задачей не только для подконтрольных предприятий и организаций, но фактически и для государственного органа надзора. Вопросы, решение которых оперативно выносится в центральный аппарат, также чаще всего решаются исходя из тех же приоритетов.

Следовательно, государственный орган, который должен стоять на страже безопасности, на деле превращается в орган, узаконивающий отступление, т.е. официально прикрывающий нарушения требований к безопасности.

Во-вторых, контрольно-профилактическая и надзорная работа, будучи текущей, не носит комплексного характера, так как проводится по частям. Разрешения выдаются каждому исполнителю также на отдельные узкие участки работы, в связи с чем опасные взаимодействия различных частей могут быть упущены. В-третьих, рассматриваемая деятельность ведется строго по имеющимся нормативным или техническим документам. Проблемы, существенные для безопасности, но выходящие по тем или иным причинам за рамки этих документов, практически не могут быть проанализированы и объективно оценены.

Переход к лицензионно-регулирующей деятельности позволяет все эти недостатки устранить и получить действительно эффективный надзор. При такой форме деятельности внимание регулирующего органа сосредоточивается на нескольких крупных этапах создания и функционирования объекта ядерной энергетики, таких как выбор площадки, строительство, эксплуатация, использование топлива, снятие с эксплуатации. К этому нужно добавить выдачу лицензий персоналу на право ведения работ. На каждом этапе выдается лицензия на право ведения работ, для чего проводится комплексная экспертиза. Лицензии выдаются на всех этапах только одной единственной эксплуатирующей организации, которая, обращаясь в регулирующий орган, предоставляет ему необходимые обосновывающие материалы и несет за них ответственность, в связи с чем должна осуществлять свой собственный контроль заказчика за всеми подрядными организациями, выполняющими отдельные работы. Объект ядерной энергетики при такой системе в лице эксплуатирующей организации приобретает полноценного хозяина. Лицензия должна содержать условия, индивидуальные для каждого объекта, они могут выходить за рамки нормативных документов, ибо сама лицензия становится главным приоритетным документом. В ней могут гибко и оперативно учитываться меняющиеся конкретные условия.

Вся последующая регулирующая деятельность заключается в надзоре за строгим соблюдением

лицензий. Отступления недопустимы. Нарушения наказываются применением санкций вплоть до ликвидации лицензии, как указано в документе INSAG-3. Надзор осуществляется комплексно, периодическими инспекциями. Местные инспекции ликвидируются, основная нагрузка ложится на центральные и региональные органы. Инспектор-резидент на объекте если и используется, то главным образом для связи с региональными и центральными органами и для решения отдельных конкретных задач по поручению этих органов.

Безусловно, мы отдаем себе отчет в том, что переход к лицензионной практике ведения регулирующей деятельности — процесс сложный и длительный, поскольку он связан с созданием соответствующих правовой базы и социально-экономических условий в стране, а также переоценкой безопасности уже действующих в стране объектов ядерной энергетики.

Научная поддержка регулирующей деятельности. Важнейшим элементом регулирующей деятельности является независимая научная экспертиза разрабатываемой нормативно-технической документации, расчетных и экспериментальных обоснований конкретных технических решений. До аварии на Чернобыльской АЭС такая экспертиза проводилась главным образом самими же разработчиками, правда, не принимавшими участия в конкретной экспертируемой работе, но принадлежащими к тому же ограниченному кругу ведомств. Это связано с тем, что в нашей стране научные организации, работающие в прикладной области, распределены по ведомствам, а вузовская и академическая наука оторвана от практических дел и могут быть полезны лишь по отдельным узким вопросам. В западных странах, где разработки осуществляют фирмы, их экспертиза обеспечивается независимыми от фирм государственными (национальными) научными учреждениями. Такое положение с экспертизой новых разработок в нашей стране, по-видимому, и привело к тому, что авария произошла на РБМК, во многих научных заключениях отмечавшемся как самый безопасный, а вероятность такой аварии оценивалась значениями, которые и сейчас считаются несущественными.

После аварии на Чернобыльской АЭС постановлением Совета Министров СССР от 23 февраля 1987 г. при Госатомнадзоре СССР создан Научно-технический центр по безопасности в атомной энергетике, на который было возложено решение задач научно-технического обеспечения надзора за безопасностью в ядерной энергетике, включая организацию и проведение необходимых исследований, проверку физических и теплотехни-

ческих расчетных и экспериментальных обоснований безопасности, оценку риска от эксплуатации объектов ядерной энергетике, сбор и обработку информации о работе указанных объектов, анализ отказов в работе, неисправностей оборудования и систем атомных станций, а также организацию разработки и издание нормативно-технической документации и материалов по обмену опытом в области безопасной эксплуатации объектов ядерной энергетике. В настоящее время Научно-технический центр пока еще формируется, однако уже сейчас вносит весомый вклад в научную поддержку деятельности Госпромаатомнадзора СССР, обеспечивая независимую экспертизу обоснованности проектных решений, анализ и сравнение их с достигнутым мировым уровнем. В этом важном виде деятельности было бы крайне полезным, даже необходимым участие всего научного сообщества.

Распространение информации. Важнейшей информацией, в которой жизненно заинтересованы все организации: атомные электростанции, проектировщики, конструкторы и другие участники создания и эксплуатации объектов ядерной энергетики, является информация об имевших место на этих объектах событиях, особенно аварийных. До последнего времени такая информация являлась закрытой и была доступна только ограниченному кругу лиц. Под напором антиядерного движения общественности эта ситуация меняется, но пока еще недостаточно. Начали регулярно публиковаться обобщенные сообщения о происходивших на АЭС нарушениях в работе, но подробные отчеты об авариях на АЭС по-прежнему остаются закрытыми. Это положение важно в корне изменить, так как из опыта аварий необходимо извлекать уроки, как это делается во всем мире, т.е. нужно подробную информацию об авариях сделать доступной для всех специалистов. Надо составить перечень всех аварий на АЭС, ранжировать их по определенной шкале тяжести и предоставить имеющуюся о них информацию всем заинтересованным организациям. В дальнейшем этот перечень аварий и банк информации о них необходимо поддерживать, своевременно анализировать и извлекать нужные для поддержания безопасности уроки.

Безопасность можно гарантировать только в том случае, если на основе хорошо отработанного механизма обратной связи постоянно осуществляется объективная оценка текущего уровня безопасности и происходит исправление выявляемых недостатков. Распространение информации о чрезвычайных ситуациях на объектах ядерной энергетики является важной частью этого механизма.

УДК 621.039.58'68 + 351.354

О проблемах обеспечения безопасности ядерной энергетики в СССР

КОВАЛЕВИЧ О. М., СИДОРЕНКО В. А., ШТЕЙНБЕРГ Н. А.

Атомные электростанции вырабатывают 12,7% всей производимой электроэнергии и уже сегодня являются важным звеном в энергетическом хозяйстве страны. По крайней мере два важных момента определяют необходимость ее развития — возрастающая стоимость органических энерго-ресурсов, требуемых для удовлетворения потребностей народного хозяйства в энергии, и сложная экологическая обстановка, улучшение которой пока не предвидится без замены органических источников энергии ядерными. Однако, говоря о необходимости и возможности дальнейшего развития ядерной энергетики, надо помнить, что атомная промышленность, как отрасль народного хозяйства, имеет право на свое существование только при условии ее безопасности для населения и окружающей среды.

Прогнозировать дальнейшее развитие ядерной энергетики трудно без трезвой оценки ее сегодняшнего состояния. Особенно это касается безопасности, которая имеет не только научный, но и социально-экономический и государственный аспекты. Без их анализа и учета невозможно прогнозировать развитие ядерной энергетики в стране. Сегодня мы не обладаем универсальной, апробированной и широко применяемой методикой определения уровня безопасности наших АЭС. Такой анализ проводят методом экспертных оценок, выявляющих соответствие действующим в стране правилам и нормам безопасности, а также с помощью привлечения сведений о надежности работы блока АЭС (количестве внеплановых остановок, отказов, ошибок персонала и т.д.). Комплексная скрупулезная проверка соответствия нормам безопасности наших АЭС на всех этапах жизненного цикла (выбор площадки, проектирование, сооружение, эксплуатация) рекомендациям МАГАТЭ и нормам других стран нами не проводилась.

Обратимся к вопросам ввода и эксплуатации АЭС, так как именно на этих этапах выявляются недоработки и источники возможных негативных последствий.

Если говорить о таком косвенном и малоинформативном показателе безопасности АЭС, как надежность, то за 1989 г. произошло 118 аварийных остановок энергоблоков. Из них по вине персонала — 55, заводо-изготовителей оборудования — 26, проектно-конструкторских организаций — 21, строительно-монтажных, пускопалаточных организаций и по неустановленным причинам — остальные. Интенсивность внеплановых остановок составила 2,6 на энергоблок в год, в том числе по вине персонала — 1,2 (1,2 и 1,78 в 1988 г. соответственно).

По-прежнему велико число остановок вновь введенных в эксплуатацию энергоблоков. Это связано со значительными недоработками проектов, которые проявляются после ввода блоков в эксплуатацию, низким качеством строительно-монтажных работ и оборудования, форсированными темпами владки, недостаточным опытом персонала. В нашей стране построенные энергоблоки АЭС принимаются государственными комиссиями в эксплуатацию до освоения проектной мощности и проведения всего комплекса испытаний и наладки на всех энергетических уровнях мощности, включая номинальную. Устанавливаемые на эти энергоблоки государственные планы по выработке электроэнергии вынуждают форсированное освоение энергоблока, что существенно снижает возможность устранения выявленных дефектов «обкатки» персонала, детального выявления и устранения причин обнаруженных отказов. Все это приводит к вынужденным остановкам по повторяющимся причинам.

Новый порядок приема АЭС в эксплуатацию разрабатывается по настоятельному требованию Госатомнадзора СССР. Он предполагает приемку в опытно-промышленную эксплуатацию, при которой мощность энергоблока осваивается поэтапно, испытания и длительную работу на номинальной мощности и последующую приемку энергоблока в постоянную эксплуатацию.

Важной составляющей безопасности АЭС является квалификация персонала, его готовность к выполнению возложенных на него функций, связанных с безопасностью, овладение операторами, техническим и административным руководством культурой безопасности. Рост темпов развития ядерной энергетики страны в свое время не был подкреплен соответствующими мерами по подготовке специалистов. Программы развития технических средств подготовки, включая полномасштабные тренажеры, из-за негативного отношения в ней руководителей отрасли, проектных и конструкторских организаций оказались проваленными.

Нивелирование социально-бытовых условий жизни работающих в различных отраслях народного хозяйства, относительное снижение заработной платы в ядерной энергетике, постоянное негативное воздействие средств массовой информации и другие причины ведут к быстрому падению престижа специальности энергетика в глазах всего общества. Кадровый резерв из тепловой энергетики и промышленных ядерных установок был использован на рубеже 80-х годов. Ввод новых мощностей, отвлечение большого числа опытных специа-

листов для оказания технического содействия другим странам, стремительный рост численности «околоэксплуатационных» организаций привели к тому, что замещение должностей по ступеням профессиональной лестницы осуществляется лицами, не имеющими достаточного эксплуатационного опыта и аварийного тренинга.

Оставляет желать много лучшего эксплуатационная документация на наших АЭС. Это относится к ее структуре, объему, содержанию, форме изложения, оформлению, хранению и доступности. Такое положение не прошло мимо внимания инспекторов МАГАТЭ во время миссии OSART на Ровенской АЭС.

Повышение эффективности каждодневной работы с персоналом, разработка единых требований к его квалификации, программам и методикам подготовки, инструкциям, обязательная для исполнения схема роста по должностям (в первую очередь для оперативного персонала), ответственность каждого за порученный участок работы — важнейшие условия снижения количества нарушений по вине персонала и, следовательно, обеспечения безопасности АЭС.

Крайне мало информации мы получаем о причинах ошибок персонала, а незнание причин не позволяет построить обоснованную программу, направленную на их ликвидацию. По данным INPRO, вклад в ошибки персонала погрешности и печетности в инструкциях, предписаниях и другой документации составляет 43%, недостаток знаний, профессиональной подготовки — 18%, отступление персонала от предписаний и инструкций — 16%, неправильное планирование работ — 10%, неэффективная связь между сотрудниками станции — 6%, другие причины — 7%. На основании исследований в зарубежных странах создаются модели поведения оператора в случае возникновения инцидента на АЭС, которые помогают предвидеть возможные ошибки оператора и их последствия, разработать и провести сертификацию принятого порядка действий операторов, конструкцию щитов управления, требования к подготовке и лицензированию операторов. В нашей стране только сейчас начинают уделять внимание этим и подобным проблемам.

Остается совершенно неизученным характер поведения персонала при «тяжелых» авариях, его готовность к действиям в таких условиях. В стране по-прежнему принята схема планирования поведения персонала по заранее разработанному алгоритму действий для данного типа инцидента (инструкции по ликвидации аварийных состояний) и только в пределах протекания аварии по проектному сценарию. И это в то время, когда весь мир, учитывая опыт аварии на «Три-Майл-Айленд» и Чернобыльской АЭС, переходит к планированию действий в условиях тяжелых аварий, основываясь на оценке характера развития и состояния АЭС в конкретный момент времени и разрабаты-

вая для этого специальные средства контроля и управления аварией. Мы же упорно продолжаем игнорировать необходимость подготовки персонала к действиям в условиях таких аварий, поскольку, с одной стороны, отсутствует проработка возможных сценариев развития тяжелых аварий, с другой, — мы до сих пор «бережем» нервную систему операторов и их руководителей, скрывая от них цену той или иной ошибки и ее последствия. Широкий круг эксплуатационников незнаком с понятием того, что такое «тяжелая» авария и управление тяжелой аварией».

Заслуживают пристального внимания организационные структуры АЭС. Традиционно они строятся по иерархическому принципу, который, если судить по данным наших коллег из западных стран, далеко не оптимален и неэкономичен и, что самое главное, несовершенен с точки зрения обеспечения безопасности. Наши производственные структуры допускают двойное, а иногда и тройное подчинение оперативного персонала, одни и те же вопросы, касающиеся безопасности, находятся в ведении разных руководителей, важные для безопасности работы выполняются разными группами людей, формально не связанных друг с другом и не несущих персональной ответственности за выполняемую работу в целом.

Неудовлетворительная оснащенность АЭС оборудованием и оснасткой для обслуживания и ремонта, современными средствами диагностики состояния металла, сварных соединений, электронного и электротехнического оборудования значительно усложняет поддержание гарантированной безопасности АЭС на проектном уровне в течение длительного периода. В первую очередь это сказывается на организации ремонта и технического обслуживания АЭС и надо признать, что эксплуатация энергоблоков без опасных отказов оборудования в межремонтный период для нашей атомной промышленности пока еще нереальна. Это тем более справедливо, что вопросы ввода АЭС в эксплуатацию и самой эксплуатации (включая техобслуживание, ремонт, ревизии и инспекции) так и не стали до настоящего времени предметом рассмотрения наших проектов, в которых не предлагаются и не обосновываются меры по обеспечению безопасности АЭС в течение проектного срока службы станции.

Проектирование АЭС является этапом, на котором закладывается и обосновывается безопасность блока. В настоящее время имеется несколько поколений блоков, существенно различающихся по проектным решениям с точки зрения безопасности. Плоды позднего перехода к современным требованиям безопасности познаем сейчас, когда приходится рассматривать вопросы вывода из эксплуатации некоторых блоков задолго до выработки ими своего ресурса и ломая голову над тем, что делать с другими «первенцами». Эти уроки необходимо учесть на будущее.

Наша нормативная база, по крайней мере в области основных требований и критериев безопасности, всегда отставала от международного уровня. Проектировщик, находящийся в одной упряжке с заказчиком АЭС как производителем энергии, не очень стремился сделать более жесткими требования к безопасности. Государственного органа, способного изменить это положение и сформулировать опережающие требования, не было и, похоже, нет, если иметь в виду ситуацию с согласованием новых редакций правил и норм, когда Госатомнадзор СССР не полномочен был принять решение и вынужден был идти на компромиссы. Необходим также переход от формального нормирования безопасности на основе детерминистского подхода к более доказательному, основанному на комбинации детерминистского и количественно-вероятностного подхода с необходимым математическим моделированием протекающих процессов при всестороннем экспериментальном обосновании, включающих как проектные, так и запроектные аварии, а также использованием результатов стендовых испытаний оборудования и систем. Надо продумать и, вероятно, видоизменить всю систему проектирования АЭС, которая в настоящее время во многом базируется на требованиях СНиП, имеющих мало общего с теми требованиями и рекомендациями, которые выработало международное ядерное сообщество к содержанию проектов АЭС.

Остановимся на состоянии технической защищенности наших станций и обоснованности принятых и намеченных технических решений для группы блоков с ВВЭР-440 (серия В-230), подлежащих реконструкции в 1992—1994 гг., блоков с ВВЭР-1000, построенных и сооружаемых в настоящее время, а также коснемся состояния блоков с РВМК.

Проработки вариантов возможной реконструкции старых блоков с В-230 в целях доведения их до современного уровня безопасности показывают нецелесообразность такого пути по экономическим мотивам, поскольку затраты при этом сравнимы или превышают стоимость сооружения новых блоков. Реальным может быть вопрос о частичном дооснащении этих блоков системами безопасности, способными нейтрализовать класс более «мягких» аварий по сравнению с современными требованиями. Теоретически в качестве компенсации дефицита обеспечения безопасности уже давно рассматривается усиленная система диагностики и контроля состояния оборудования, однако реальных технических решений пока нет. Наши современные станции по широте использования и качеству средств диагностики серьезно отстают от мирового уровня. Отсутствие или меньшая эффективность систем безопасности должны компенсироваться либо существенно более эффективными техническими средствами диагностики (чего у нас пока нет), либо такой периодичностью на имеющихся средствах, которая неизбежно поставит

вопрос об экономической целесообразности эксплуатации блока в таком режиме.

В ближайшее время должна произойти оценка представительности предлагаемых мероприятий по реконструкции этих блоков и принятия решения об их дальнейшей судьбе. Пока же безопасность их «висит» в основном на качестве эксплуатации, требующей, как уже отмечалось, значительного совершенствования.

В настоящее время эксплуатируется и строится несколько АЭС с ВВЭР-1000, которые после аварии на Чернобыльской АЭС должны были стать основой развития ядерной энергетики нашей страны на долгий период. Хотя дальнейшее развитие этих блоков связывается с проектом «АЭС повышенной безопасности», необходимо отметить, что данные блоки, несмотря на то, что они и проектировались и вводились в строй в разное время, формально должны удовлетворять основным требованиям безопасности, зафиксированным в «Общих положениях»*. Степень соответствия проектов этих блоков указанным требованиям отражает уровень обеспечения качества отечественной ядерной энергетики при проектировании.

Техническое обоснование безопасности АЭС с серийным ВВЭР-1000 до настоящего времени не согласовано с Госатомнадзором СССР. Имеются вопросы, на которые нет полноценных ответов. Известно, что по многим вопросам эти ответы получить не удастся до проведения дополнительных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Хорошо известны проблемы, возникшие с парогенераторами на АЭС с ВВЭР-1000. Это достаточно характерный пример того, как дорого обходится обществу развитие ядерной энергетики без надлежащих экспериментального и расчетного обоснований и тщательной апробации в инженерной практике. К этому примеру можно лишь добавить, что, несмотря на аварию 1982 г. на Ровенской АЭС, отношение к проблеме течи из первого контура во второй при том или ином повреждении парогенератора изменялось мало. По крайней мере и сегодня по прошествии восьми лет нет ни обоснования безопасности такого режима, ни проектных мер для обеспечения безопасности при возникновении такого рода нарушения.

Сложилась практика принятия множества технических решений, реализуемых в процессе рабочего проектирования и сооружения блока (например, для 4-го блока Запорожской АЭС их было более 2000). Сам этот факт еще можно было бы пережить, если бы принятые решения фиксировались проектной организацией и учитывались в проектной документации при сооружении других

* Имеются в виду ОПБ-82, отличие которых от первоначально принятых ОПБ-73 не имеют принципиального характера и носят больше уточняющий характер.

блоков, но по-прежнему используются неоткорректированные рабочие чертежи уже сооруженных блоков для строительства следующих.

В последнее время появились проблемы, связанные с обеспечением работоспособности аварийных систем. Это тоже показатель некомплексного подхода к обеспечению безопасности. Отсутствие достоверных математических моделей, экспериментальных стендов для опробования важных для безопасности элементов систем, программы обеспечения качества приводит к тому, что проектные недоработки окончательно выявляются лишь на уже построенном энергоблоке.

Известно, что строительство новых блоков АЭС с РБМК прекращено (5-й и 6-й блоки Чернобыльской АЭС, 6-й блок Курской АЭС, 4-й блок Смоленской АЭС). Шесть блоков первого поколения с этими реакторами (первые два блока Ленинградской, Курской и Чернобыльской АЭС) должны быть реконструированы в 1992—1994 гг. для повышения их безопасности. После аварии на Чернобыльской АЭС были разработаны первоочередные мероприятия, призванные нейтрализовать недостатки конструкции реакторов, приведших в совокупности с ошибками персонала к аварии. При реализации первоочередных мероприятий кроме уже ставшего для нас традиционным срыва сроков была продемонстрирована слабость наших расчетного и экспериментального обоснований в области физики РБМК.

Реконструкция указанных блоков поставит, очевидно, те же трудноразрешимые задачи, что и реконструкция АЭС с ВВЭР-440 (проект В-230).

Обеспечение качества оборудования и элементов, поставляемых на атомные станции, а также качества сооружения самих станций по-прежнему остается для нас проблемой. Это может свести на нет положительные сдвиги в других направлениях. Из-за низкой надежности Госатомэнергонадзор СССР был вынужден запретить применение некоторых видов оборудования, так как их показатели качества и надежности не могут обеспечить необходимую безопасность.

Длительное время выпадала из поля зрения специалистов проблема сбора, переработки и захоронения радиоактивных отходов атомной промышленности. И сегодня еще не принята общегосударственная концепция решения этой сложной и болезненной, учитывая настроение общественности, проблемы.

Представленная картина сложилась не сейчас и не является открытием для специалистов. Естественно, возникает потребность проанализировать причины такого состояния отечественной ядерной энергетики. В той или иной степени оно характерно для всех этапов жизненного цикла атомной станции (выбор площадок, проектирование, изготовление оборудования, ввод в эксплуатацию и эксплуатацию). Это наводит на мысль, что имеется какая-то общая причина.

Попробуем проанализировать ситуацию по трем направлениям процесса создания безопасной атомной станции как конечного продукта: что делать, как делать и как обеспечить выполнение. В области того, что делать (набор требований к наличию и эффективности определенных систем, оборудования и сооружений на атомной станции, гарантирующих ее безопасность), в настоящее время для специалистов страны секретов нет. Достаточно хорошо известно, какими способами можно достичь значительного повышения безопасности. Трудности возникают, когда дело касается приемлемой при этом уровне стоимости атомной станции или возникшей в последнее время проблемы взаимодействия с общественностью.

Проблема как делать (спроектировать, сконструировать, изготовить, соорудить необходимые системы, оборудование, корпус атомной станции) для нас не так очевидна, но, вероятно, не столь безвыходна. Располагаемый страной технологический потенциал в своих наивысших точках, т.е. если не в массовом производстве, то на экспериментальном или лабораторном уровнях, позволяет создавать необходимые материалы, машины, оборудование, системы, хотя есть отдельные виды технологий, где имеющийся у нас уровень низок (например, вычислительная техника).

Основная проблема, на наш взгляд, заключается в том, как обеспечить выполнение поставленных задач на требуемом уровне. В зарубежной практике этот вид деятельности под названием обеспечение качества имеет основополагающее значение для гарантий безопасности атомных станций. В нашей же стране обеспечению качества не придавалось должного значения. Предполагалось, что вся система обязанностей и отношений между ведомствами и предприятиями должна автоматически обеспечивать качество. Попытки разработать систему обеспечения качества, аналогичную зарубежной, наталкивались на порочную систему сложившихся взаимоотношений. Жизнь показала, что старая система административных и экономических отношений не может обеспечить требуемое качество. Внедрение системы обеспечения качества в ядерной энергетике стало настоятельной необходимостью. Это нашло отражение в ОПБ-88, в которых одним из требований является разработка такой программы обеспечения качества для атомных станций и принятие нормативного документа «Требование к программе обеспечения качества атомных станций».

Что касается того, как обеспечить выполнение, то приходится констатировать, что организации и работающие на них люди либо не могут, либо не хотят делать то, что надо. Не могут, потому что отсутствует соответствующее материальное, трудовое и техническое обеспечение. Не хотят, потому что не всегда морально и материально заинтересованы в результатах своего труда. Таким образом, нынешнее состояние атомной промышленности есть

отражение общего состояния нашего народного хозяйства в последние десятилетия*. Причина обшая. И если думать, как вывести отечественную ядерную энергетику из этого состояния, то, на наш взгляд, в первую очередь надо переводить все действующие стороны этой отрасли на новые формы взаимоотношений, новые источники финансирования, создать условия для истинной заинтересованности и ответственности организаций и сотрудников. А в условиях, когда организации и люди не могут или не хотят выполнить то, что требуется, можно ли говорить об эффективности работы надзорного органа, да еще теми методами, которые сейчас практикуются? Система надзора может иметь смысл, если у поднадзорных есть своя стимулы делать все правильно, а органам надзора необходимо оценивать и контролировать правильность понимания ими своих задач, правильность оценки ими своих сил и возможностей выполнить работу, за которую они берутся, поправлять или наказывать при промахах и ошибках. Такой вид контролирующей деятельности в западной практике называется лицензированием.

В нашей стране отсутствует закон, устанавливающий правовую основу и принципы безопасного использования атомной энергии в СССР, защиты жизни, здоровья, имущества граждан и окружающей среды от возможных негативных ее воздействий. Государством не определен порядок регулирования общественных отношений на всех стадиях получения, преобразования и использования атомной энергии в народном хозяйстве. В законодательном порядке не закреплены права организаций и отдельных граждан в отношении их деятельности, связанной с атомной энергией. Отсутствие закона является одной из причин того, что в стране не сложилась стройной, эффективной системы регулирования вопросов безопасности ядерной энергетики. Нет государственного органа, отвечающего за регулирование всего комплекса вопросов безопасности атомной промышленности. К этой деятельности в той или иной мере были привлечены ГКАЭ СССР, Минздрав СССР, МВД СССР, Госкомгидромет СССР, ГО СССР и т.д.

* Газета «Правда» от 20.05.88 г.

Но ни одно из всех этих ведомств не является в полной мере государственным регулирующим органом. Законодательно не оформлены обязанности эксплуатирующей организации, не было и нет четкого определения прав и ответственности имеющих отношение к использованию атомной энергии министерств, ведомств, организаций и должностных лиц. Многозвенная система контроля приводит к мелочной опеке и регламентации владельцев ядерных установок и установок ионизирующего излучения; раздробленность этой системы не позволяет выполнить объективный анализ безопасности, что приводит к неучету факторов опасности, либо перестраховке, неуверенности; ведомственный характер контроля объективно приводит к скрытию факторов опасности, создает видимость благополучия.

Отсутствие закона негативно сказалось и на состоянии норм и правил по безопасности. Во-первых, их обязательность декларируется только самими нормативно-техническими документами (НТД); во-вторых, сложившаяся в отсутствие закона система их разработки, согласования и утверждения привела к «окостенению» системы НТД. В практике большинства развитых стран разработку нормативно-технической документации, ее утверждение осуществляет регулирующий орган, который может привлечь и привлекает к разработке НТД и другие организации. Однако окончательное решение по проекту документа принимает регулирующий орган и персонально отвечает перед государством за необходимость и достаточность устанавливаемых нормативов по безопасности.

Таким образом, требуется скорейшее принятие закона об использовании атомной энергии, ключевой точки поворота к безопасной ядерной энергетике, который должен создать правовую базу для безопасного развития атомной промышленности. Наличие правовой основы и перевод народного хозяйства на экологически методы управления позволит решить многие проблемы безопасного развития ядерной энергетики. А в том, что она может развиваться безопасно, у нас сомнений нет, как и в том, что без нее страна не сможет решить ни энергетических, ни экологических, ни экономических проблем.