



В Международной конференции МАГАТЭ по показателям ядерной энергетики и безопасности, состоявшейся 28 сентября — 2 октября в Вене, принимали участие эксперты из 40 стран. В связи с этим представители Советского Союза устроили 30 сентября пресс-конференцию по аспектам ядерной энергетической программы. В пресс-конференции приняли участие советские официальные лица (справа налево): г-н Н. Луконин, г-н А. Петросьянц, г-н В. Малышев, г-н А. Абагян и г-н Л. Ильин.
(Фото: Католики для МАГАТЭ).

Показатели ядерной энергетики и безопасность

Основные моменты Международной конференции МАГАТЭ

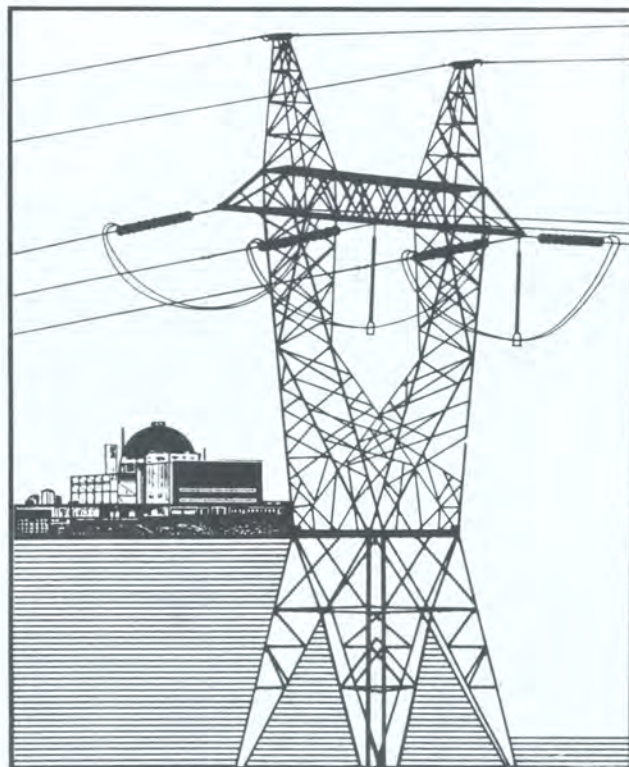
Л.Л. Беннет, Дж. Фишер и А. Нечаев

Среди широкого круга технических и экономических вопросов, обсуждавшихся на закончившейся в начале октября 1987 г.* в Вене Международной конференции по показателям ядерной энергетики и безопасности, важное место было уделено национальным и международным усилиям, направленным на улучшение эксплуатационных показателей и безопасности ядерной энергетики.

В заявлении на открытии конференции Генеральный директор МАГАТЭ Ханс Бликс отметил, что она является последней в серии совещаний, ставших важными вехами на пути развития ядерной энергетики. В их число входят четыре Женевские конференции (из которых проведение последних двух было поручено МАГАТЭ), Зальцбургская конференция 1977 г. по ядерной энергетике и ее топливному циклу и Венская конференция 1982 г. по опыту применения ядерной энергетики. Каждая из этих конференций представляла собой важный этап в развитии ядерной энергетики и выполняла важную задачу по суммированию коллективных

Г-н Беннет — руководитель Секции экономических исследований Отдела ядерной энергетики МАГАТЭ. Г-н Фишер — сотрудник Отдела ядерной безопасности. Г-н Нечаев — руководитель Секции технологии ядерных материалов и топливного цикла в Отделе ядерного топливного цикла.

* Проходившая в Вене с 28 сентября по 2 октября 1987 г. конференция собрала почти 500 участников из 40 стран и 12 международных организаций. Было представлено и обсуждено около 200 докладов от 26 стран и шести международных организаций. Материалы конференции могут быть получены в МАГАТЭ.



знаний путем сведения воедино информации из многих стран. Своевременность и важность конференции 1987 г. состоит также в полезном обмене опытом, накопленным за последнее время, предоставлении информации о целях и задачах стран, осуществляющих ядерные энергетические программы, а также информации о переоценках программ развития ядерной энергетики, которые были предприняты в ряде стран в течение прошлого года.

РАЗВИТИЕ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Энергия и потребности в ядерной энергетике

В своем заключительном заявлении на последнем заседании конференции г-н В. Кеннет Дэвис, консультант фирмы „Бечтел Груп Инк.“ и бывший заместитель министра энергетики США, выразил уверенность в том, что энергия (включая электроэнергию) является одним из основных *предварительных условий* экономического роста и социального развития, а не просто *следствием* такого роста.

В заключение г-н Дэвис заявил, что потребность в ядерной энергетике имеет непосредственное отношение к потребности в электроэнергии и к наличию вариантов ее производства. Как ясно выражено в ряде докладов, потребность в электроэнергии в общем плане связана с потребностью в энергии в целом, но не находится от нее в прямой зависимости. Темпы роста потребности в электроэнергии обычно значительно опережают темпы роста общих потребностей в

энергии. В результате доля первичной энергии, используемой для производства электроэнергии, возрастает почти во всех странах. В развивающихся странах темпы роста потребностей в энергии и электроэнергии по отношению к экономическому росту значительно выше, чем в развитых странах. Это приводит к серьезным финансовым трудностям в условиях высокой стоимости энергии. Эти соображения были поддержаны в докладе проф. Х.Ю. Лауэ, представленном от имени Мировой энергетической конференции.

В докладе, представленном МАГАТЭ, сообщалось, что к концу века мощности ядерной энергетики в развивающихся странах возрастут более чем вдвое, что соответствует прибавлению около 40 ГВт (эл.). За тот же период ожидается рост установленной мощности ядерной энергетики в промышленно развитых странах на 65 %, что соответствует 170 ГВт (эл.). Таким образом, к 2000 г. в развивающихся странах будет установлено 25 % всех новых мощностей ядерной энергетики.

Несмотря на эти цифры, доля мировой ядерной энергетики в развивающихся странах в обозримом будущем останется на скромном уровне. Поэтому до 2000 г. потребности в электроэнергии в развивающихся странах будут в основном удовлетворяться за счет тепловой и гидравлической энергии.

Эксплуатационные показатели и экономичность

Будущий рост мощностей ядерной энергетики тесно связан с вопросом об экономичности этого источника энергии по сравнению с другими альтернативами. Во многих странах будущее развитие гидроэнергетики не представляется ни экономически, ни практически оправданным; нефть и газ для производства энергии слишком дороги; а возможности получения существенного экономического вклада от других источников, таких, как солнечная энергия или энергия ветра, минимальны. В результате обычно остается выбор между углем и ядерной энергией; многие страны располагают запасами или возможностями импорта угля, но не обязательно по приемлемым ценам. В докладах из Индии и Китая представлены результаты исследований, показывающих, что для развития в широких масштабах производства электроэнергии на базе угольной промышленности необходимы большие суммы капиталовложений, чем на базе АЭС.

Судя по представленным докладам, участники конференции достигли общего согласия о том, что компетентно построенные и эксплуатируемые АЭС будут успешно конкурировать с ТЭС на угольном топливе в большинстве районов мира, за исключением тех районов, где имеются местные запасы угля по приемлемым ценам на долгосрочной основе. В этой связи был отмечен такой важный аргумент, как стабильность стоимости производства электроэнергии на АЭС, которая лишь в весьма незначительной мере подвержена влиянию инфляционных факторов.

Поддержание высокого уровня эксплуатационных характеристик

В своей вступительной речи д-р Бликс заявил: „Я считаю, что только поддержание на высоком уровне эксплуатационных характеристик и безопасности АЭС во всем мире может помочь преодолеть связанные с недостатком знаний о радиации опасения общественности, обострившиеся в результате недавних аварий. Недостаточно ограничиться объяснением, что всякая промышленная деятельность, включая производство энергии, связана с определенным риском. Мы должны считать аксиомой, что нормы безопасности для АЭС должны устанавливаться на более высоком уровне, чем для любого другого промышленного предприятия. Это повсеместно признано промышленной ядерной энергетикой и составляет основу программ, осуществляемых как промышленными, так и правительственными органами”.

„К счастью”, добавил он, „безопасность и хорошие экономические показатели идут рука об руку. В этом заключается экономический стимул для достижения ровной и надежной эксплуатации АЭС”.

Он также отметил улучшение эксплуатационных показателей в течение периода времени после Конференции 1977 г. по ядерной энергетике и ее топливному циклу. В то время средний коэффициент использования мощности для 137 блоков ядерных энергетических реакторов, согласно данным информационной системы МАГАТЭ по энергетическим реакторам (PRIS), составлял только 64,7 %. В 1982 г. во время следующей конференции число реакторных блоков возросло до 200, но средний коэффициент готовности к включению на полную мощность оставался по-прежнему на уровне 65 %, что давало повод для беспокойства. К 1986 г., последнему году, за который имеются полные данные, этот показатель увеличился до 70,4 % для 288 блоков энергетических реакторов, зарегистрированных в PRIS. При этом важно отметить, что для 55 % реакторных блоков этот коэффициент составлял 75 % или выше. Более того, после 1984 г. постоянно поступают данные о том, что около 40 % блоков эксплуатируются при коэффициенте выше 80 %.

Эти данные ясно показывают, какие полезные уроки могут быть извлечены в результате улучшения обмена информацией, демонстрации на международных конференциях и другими средствами образцов лучших эксплуатационных показателей.

Плановые цифры на 90-е годы

Сокращение стоимости. В результате широко-масштабной стандартизации оборудования АЭС можно достичь сокращения на 35 % первичных затрат на строительство (носящих также название „стоимости строительства без учета времени, как бы за одну ночь”). Дальнейшая экономия средств может

быть получена в результате сокращения расходов, связанных со сроками строительства.

Кроме достаточно прочно установившейся тенденции к промышленной стандартизации во Франции, есть дальнейшие шаги в этом направлении — концепция „Конвой” — в Федеративной Республике Германии (ФРГ), а также мероприятия по стандартизации в США, выразившиеся в разработке усовершенствованной программы легководных реакторов Министерства энергетики (МЭ) и Института электроэнергетических исследований.

Концепция „Конвой” позволяет сократить количество человеко-часов на инженерные работы для АЭС начала 80-х годов на 38 % по сравнению с АЭС конца 70-х, до развертывания программы стандартизации. Осуществление обширной программы стандартизации всех компонентов АЭС, кроме специфических для данной установки, позволит получить 70 % всей технической документации к моменту завершения эскизного проекта и осуществить 90 % инженерных разработок до начала строительства. Это дает возможность компаниям электроснабжения с большим доверием относиться к оценкам стоимости и сроков строительства и к выполнению связанных со строительством АЭС экономических задач. Затраты и сроки строительства сокращаются также благодаря увеличению объема изготовленных в заводских условиях и предварительно собранных строительных конструкций, а также в результате использования ЭВМ для автоматизации процедур управления и контроля хода строительства.

Улучшение эксплуатационных показателей. Продление оперативного цикла, т. е. времени работы без замены топлива, для повышения КПД АЭС является основной задачей ядерной энергетической промышленности, для выполнения которой разрабатываются усовершенствованные проекты активной зоны реактора с целью увеличения времени нахождения топливных сборок в активной зоне. (Дополнительная информация по этому вопросу приводится в следующем разделе данной статьи, посвященном обсуждению на конференции проблем ядерного топливного цикла.)

Что касается КПД АЭС, то на планируемые остановки для замены топлива, профилактики и ремонт уходит около 70 % внеэксплуатационного времени для легководных реакторов. Поэтому важно добиться сокращения времени на эти работы. Усилия по сокращению суммарного времени на остановки АЭС уже дают хорошие результаты, выразившиеся в уменьшении средней продолжительности суммы остановок с 70 дней в 1982 г. до 41 дня в настоящее время; тем не менее, еще имеются достаточные резервы для улучшения этих показателей.

С целью повышения эффективности использования времени, отведенного на планируемые остановки, ядерная промышленность изучает пути устранения препятствий для проведения параллельных работ. Например, использование специального затвора для выпускного отверстия корпуса под давлением дает возможность дренажа контурных петель без выпуска во-

ды из реактора, одновременного проведения испытания и проверки корпуса под давлением, первичных насосов и парогенераторов. Использование специальных дистанционных манипуляторов и разработка нового вспомогательного оборудования также помогают проводить остановочные работы в сжатые сроки и уменьшать облучение ремонтного персонала.

Стабилизация процедур лицензирования. Решение организационных вопросов при проведении стандартизации и создание стабильного режима регламентирования являются важными задачами ядерной промышленности на 90-е годы. Цель состоит в том, чтобы добиться стабильности и предсказуемости в процессе лицензирования установок, который в настоящее время не имеет четко определенных пределов. В ряде стран неопределенность и непредсказуемость регламентационных требований до сих пор еще рассматривается как серьезное препятствие для капиталовложений. В результате, несмотря на безопасность, надежность и экономические достоинства новых проектов АЭС, их осуществление может натолкнуться на нежелание электроэнергетических компаний вкладывать средства в эти слишком рискованные, по их мнению, предприятия. В США в настоящее время предлагаются изменения, дающие возможность сразу получить единую лицензию на строительство и эксплуатацию установки, включающую одобрение предварительной и окончательной проектной документации и сертификат на реализацию проекта сроком на 10 лет. К середине 90-х годов электроэнергетическая компания должна быть в состоянии выбрать получивший лицензию проект АЭС в сочетании с заранее одобренной площадкой, чтобы в течение сравнительно короткого периода, необходимого для рассмотрения представленной документации, ей было выдано единое разрешение на строительство и эксплуатацию АЭС.

БЕЗОПАСНОСТЬ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Практически все страны, имеющие АЭС, подвергли тщательному анализу Чернобыльскую аварию с точки зрения безопасности собственных установок и пришли к заключению, что авария типа той, которая произошла на реакторе РБМК в Чернобыле, не должна произойти на других типах энергетических реакторов. Тем не менее, более 70 докладов на конференции были посвящены вопросам безопасности ядерной энергетики и, в первую очередь, блоков с РБМК.

Серьезные аварии

Большой интерес был проявлен к двум докладам от СССР о мерах, принятых после Чернобыльской аварии, и ее радиационном воздействии на здоровье населения (см. статью по данному вопросу в этом выпуске Бюллетеня). В докладах была дополнена информация, представленная на состоявшемся в 1986 г. в МАГАТЭ совещании по рассмотрению мер преодоления последствий аварии. В приведенных данных о

сооружении „саркофага” для четвертого блока Чернобыльской АЭС было отмечено, что не возникло никаких проблем в течение первого года после возведения этого сооружения. Падение температуры и уровня радиоактивных выбросов явно указывают на стабилизацию условий.

Специалисты по безопасности проявили особый интерес к проблеме контроля реактивности, типичной для РБМК. По данным советских докладов, намерения ответственных советских организаций, выраженные на совещании МАГАТЭ 1986 г. по рассмотрению послеаварийных мероприятий, претерпели небольшие изменения в том, что касается систем управления и защиты АЭС (СУЗ). Скорость введения защитных стержней была увеличена (примерно в 1,7 раза). Изменения коснулись также количества и расположения стержней и вытеснителей воды в активной зоне, а также возможностей контроля. Разрабатываются дальнейшие усовершенствования. Другое важное изменение заключается в постепенном введении во все РБМК топлива с обогащением 2,4 % в сочетании с большим числом контрольных стержней в активной зоне, чтобы понизить коэффициент реактивности. В результате принятых мер этот коэффициент еще сохраняет положительное значение, однако, несмотря на определенные экономические потери, характеристики безопасности значительно улучшились. Непосредственное отношение к обсуждению этого вопроса имеет канадский доклад, в котором подробно описаны средства, давно применяемые на реакторе Канду для его безопасной эксплуатации, даже с учетом опасности аварийных ситуаций, с потерей реактивности.

Было представлено несколько докладов, освещающих радиологическую ситуацию после Чернобыльской аварии, в том числе советские данные об измерениях и оценках выпадений, явившихся следствием этой аварии. Для ориентации можно привести одно число: ожидаемая коллективная суммарная доза облучения населения СССР за 50 лет в результате Чернобыльской аварии составит менее 330 000 человеко-зивертов. В среднем это примерно соответствует 2 % естественного фона облучения в течение 50-летнего периода (см. соответствующую статью в этом выпуске Бюллетеня).

В других докладах освещались радиационные последствия аварии для агропромышленного сектора СССР и экологические последствия для Западной Европы, особенно для стран, входящих в Европейское сообщество (ЕС). Суммарная доза для населения ЕС оценивалась примерно в 80 000 человеко-зивертов. Приведена оценка средней индивидуальной эффективной дозы, составляющая несколько сот микрозивертов в течение первого года для стран, подвергшихся наибольшему воздействию.

Хотя внесение изменений в средства обеспечения безопасности для реакторов на воде под давлением или кипящих реакторов после Чернобыля не считается необходимым, обсуждению опасности серьезных аварий было уделено в прошлом году серьезное внимание, и этот факт нашел отражение во многих докладах. В одном из выводов доклада, представленного от имени Международной консультативной группы

МАГАТЭ по ядерной безопасности (МКГЯБ), указывается, что планирование антиаварийных мер является наиболее продуктивным путем сокращения риска и что другой важной целью должно быть обеспечение функций внешней защиты от выброса радиоактивности в окружающую среду. На эти два момента обращалось внимание в нескольких докладах, причем, хотя разработки, имеющие к ним отношение, начались до Чернобыльской аварии, вероятно, нельзя считать простым совпадением то, что официальные решения по лицензированию вентиляционных устройств для внешней защиты были приняты в ряде стран после этой аварии.

Хотя на конференции не было дано полного обзора по всем странам, имеющим АЭС, можно сделать вывод, что нет общепризнанных аварийных параметров, критериев приемлемости и необходимых модификаций внешней защиты, и что по этим вопросам существуют различные подходы. Например, Швеция и Италия представили концепцию конечного землепользования после аварии. Это привело к установлению планируемых цифр максимальных выбросов цезия и йода в 0,1 % от их содержания в активной зоне. Обсуждались различные пути контролируемого вентилирования внешней защиты, и во время дискуссии наметилась сильная тенденция к необходимости разработки вентилируемой внешней защиты для легководных реакторов. Классическое определение базисного инцидента, связанного с проектом установки (БПИ), постепенно отвергается или подвергается изменениям.

Оценка безопасности

Много внимания было уделено различным аспектам обеспечения безопасности на основе вероятностных методов. Помимо количественных методов с целью повышения точности вероятностного анализа требуют разъяснения и согласования некоторые фундаментальные моменты терминологии и критериев. В представленных докладах дается скорее анализ проблем, чем их решение. Вероятно, пройдет много лет, прежде чем удастся выработать какой-либо единый международный подход к вопросу о том, как взаимосвязанные параметры должны быть объединены и сведены к оценкам индивидуального или общественного (коллективного) риска (например, смертность, эффекты низких доз, землепользование и материальный ущерб). В течение некоторого времени решения (в отношении БПИ) будут приниматься на базе детерминистских инженерных суждений (включая некоторые элементы вероятностного анализа), подкрепляемых количественными вероятностными оценками. В одном обзорном докладе отстаивалась более оптимистическая позиция, по крайней мере, в отношении введения в более широкий обиход вероятностных критериев риска на уровне систем безопасности. В этом докладе оцениваются также и другие преимущества вероятностных оценок безопасности (ВОБ): например, возможность оценки неопре-

деленностей, вытекающих из статистических вариантов поведения оборудования. При детерминистском подходе это невозможно.

При обсуждении задач обеспечения безопасности затрагивался вопрос о сравнении рисков. В одном из докладов при освещении подходов к безопасности в неядерных опасных отраслях промышленности отмечалось, что крупные аварии почти всегда имеют политическое значение из-за неравного распределения выгод и риска среди разных групп населения. Поэтому органы, выдающие лицензии, обязаны обосновать свои критерии в глазах общественности, чтобы сохранить ее доверие. По мнению автора, "ошибочно было бы считать, что общественность в целом может быть подготовлена к оценке риска", что, в свою очередь, требует серьезных усилий со стороны промышленности и регулирующих органов по адекватному информированию населения. Другое препятствие заключается в том, что безопасность нелегко поддается количественному измерению и степени риска, имеющие одинаковое количественное выражение, различны для разных отраслей промышленности. В Великобритании общественное расследование по делу Сайзуэлл-Б подтвердило вывод о том, что для формирования общественного мнения необходимо не только, чтобы установки были безопасны, но чтобы доказательства этого были убедительно доведены до всеобщего понимания. Вопросы общественной информации рассматривались и в ряде других докладов, где отмечалось, что предварительным условием понимания риска ядерной энергетики является возможность фактической и объективной информации. Однако следует иметь в виду и важную роль средств массовой информации в доведении информации до общественности.

Использование вероятностных методов для анализа проблем безопасности является в принципе важным подспорьем при принятии решений. Эти методы получили широкое распространение, в особенности для обнаружения слабых мест на стадии проектирования и для обеспечения хорошо сбалансированной стратегии защиты. Проблема неопределенностей на нижних пределах вероятности затрудняет использование этих методов для расчета абсолютных величин. Ведутся тщательные исследования в двух крупных областях, и базовые расчеты раскрывают тонкие различия в методологии и их воздействие на конечный результат: человеческие ошибки и различные отказы, имеющие общую причину, трудно моделировать и для их учета требуется опыт, систематический анализ конкретной ситуации и постоянная работа по усовершенствованию проекта. Один из рассматриваемых подходов состоит в широком систематическом анализе фактического опыта эксплуатации. Это позволяет глубже изучить поведение операторов в различных условиях и может помочь уточнить параметры при расчете моделей возможных ситуаций. Существуют национальные и международные системы информации об опыте эксплуатации. В их основу положены частично разные цели: либо сбор большого объема информации для проведения оценки статистически-

ми методами, либо сбор и оценка ограниченного числа сообщений об инцидентах с целью извлечения полезных уроков. Информационные системы об инцидентах на АЭС (IRS) МАГАТЭ и Агентства по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (АЯЭ/ОЭСР) используют второй подход. Этот момент освещается в одном из докладов, специально посвященном разбору опыта, полученного в результате нарушений, не связанных с серьезными причинами. Один из приведенных в докладе примеров (остановка подачи энергии для СУЗ на АЭС Баги-5 в 1984 г.) подтверждает необходимость предвидения определенных ситуаций; этот опыт помогает избежать повторения подобных случаев в будущем. Международные организации, такие как Комиссия европейских сообществ (КЕС), могут служить в качестве посредников для обратной связи и ее использования при моделировании в вероятностных анализах, а также для привлечения ученых с целью совместного рассмотрения таких проблем.

При оценке безопасности существует еще одна трудность, непосредственно не связанная с вероятностными методами, а именно: невозможность доказать с математической точностью, что ни один из вариантов развития событий, который мог бы привести к аварийной ситуации, не был пропущен в расчетах. Многие авторы настаивают на необходимости разумного объединения вероятностных и детерминистских методов. Детерминистскому подходу — которому свойственно рассматривать установку „атомистически” („целое — сумма его частей”) — должны быть противопоставлены вероятностные методы, где применяется более синтетический взгляд на вещи („целое больше, чем сумма его частей”).

Технология безопасности

Параллельно с фундаментальными теоретическими исследованиями безопасности АЭС, как сложного машинного комплекса, ведется большая исследовательская работа по отдельным вопросам проектирования и эксплуатации установок.

Одновременно с общим признанием того факта, что ядерная энергетика достигла зрелого уровня развития, признается также, что типичной чертой зрелости является проблема старения установок. В течение последних нескольких лет возросло внимание к этой проблеме, и ее важность будет увеличиваться в 90-е годы (см. соответствующую статью в этом выпуске).

В результате аварий на АЭС „Три майл Айленд” и в Чернобыле резко возросло внимание к значению человеческого фактора в эксплуатационной безопасности. С одной стороны, активизировались аналитическая работа, моделирование и учет опыта эксплуатации. С другой стороны, большие усилия направлены на автоматизацию систем контроля и защиты, на разработку вспомогательных средств для операторов с использованием ЭВМ, улучшение систем информации, обучения и операционных процедур. Эта область работ — подробное обсуждение которой состоялось

на конференции МАГАТЭ по взаимодействию человека и машины в ядерной промышленности (Токио, февраль 1988 г.) — приобретает все большее значение.

Ряд интересных вопросов был поднят на проходившем во время конференции совещании экспертов по теме „эксплуатационная безопасность в 90-е годы”. Было выражено убеждение, что концепция безопасности не претерпит радикальных изменений в будущих АЭС; скорее всего будет постепенно расти внимание к разработке пассивных или безопасных по своей природе деталей, которые в разумной степени будут вноситься в действующие установки. Показательными примерами в этом отношении могут служить ведущиеся работы по усовершенствованию вспомогательных средств операторов, по улучшению взаимодействия человека с машиной, автоматическому контролю и обучению операторов.

Международное сотрудничество

На пленарном заседании по международному сотрудничеству представитель СССР вновь подчеркнул заинтересованность своей страны в международном сотрудничестве, подкрепленном принятием международных законов и соглашений в области ядерной безопасности. Как одно из наиболее важных достижений прошлого года были отмечены быстрая разработка и принятие *Конвенции об оперативном оповещении о ядерной аварии и Конвенции об оказании помощи в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации*. Было отмечено также, что национальные системы оперативного оповещения (посредством прямого электронного контроля) действуют или разрабатываются в различных странах. Вступившие в силу двусторонние договоренности об обмене информацией, даже без применения электронного контроля, например, между ЧССР и Австрией, могут рассматриваться в качестве моделей для других соглашений такого рода в будущем. IRS МАГАТЭ была отмечена как очень важный канал связи в области эксплуатационной безопасности и средство для постепенного роста доверия открытого обмена информацией.

ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ

Поскольку ядерный топливный цикл является неотъемлемой частью процесса безопасной эксплуатации АЭС, неудивительно, что около одной трети представленных на конференции докладов было посвящено проблемам в этой области. Однако, по мнению г-на П. Джеленика-Финка, представленные данные хотя и были очень интересными, не выявили каких-либо принципиально новых подходов. Это является естественным следствием промышленной зрелости ядерного топливного цикла.

Начальный этап ядерного топливного цикла

Совместные исследования МАГАТЭ и АЯЭ/ОЭСР ясно указывают, что современная благоприятная ситуация в урановой промышленности может быть названа „метастабильной”. Хотя известные ресурсы урана низкостойимостной категории достаточны для удовлетворения потребностей в нем до 2000 г., мощностей действующих и запланированных урановых рудников и заводов по переработке руды в странах WOCA будет, очевидно, не хватать для выполнения заявок на их продукцию, начиная с 90-х годов (WOCA — аббревиатура для стран за пределами централизованно планируемой экономики). Эта разница между спросом и предложением (которая примерно эквивалентна сумме имеющихся урановых запасов) резко возрастет после 1990 г. и к 2000 г. может превысить 26 000 тонн в год или 44 % ежегодного спроса. С учетом поставок только из действующих и запланированных добывающих и обрабатывающих центров кумулятивный дефицит урана к 2000 г. превысил бы 130 000 тонн. Отсюда следует вывод о необходимости ввода в действие новых центров по добыче и переработке урана в первой половине 90-х годов. Необходимые капиталовложения для этой цели оцениваются в 1,2 млрд. долл. США в 1995 г. и 1,8 млрд. долл. США в 2000 г. Такие крупные капиталовложения будут сделаны только в случае расчета на получение приемлемых доходов, что может быть обеспечено только повышением цен на уран. Однако можно ожидать, что повышение цен на урановое топливо будет частично компенсироваться снижением стоимости обогащения и повышением эффективности использования топлива в реакторах.

Услуги по обогащению предоставляются в основном из четырех источников: МЭ США, Eurodif и Техснабэкспорт, использующие газодиффузионную технологию, Urenco, использующая технологию центрифугирования для разделения изотопов. По данным МАГАТЭ и АЯЭ/ОЭСР, ежегодные потребности в обогащении в странах WOCA могут возрасти с примерно 24 млн. рабочих единиц разделения (МРЕР) в 1985 г. до примерно 38 МРЕР в 1995 г. и примерно 46 МРЕР в 2000 г. Существующие мощности по обогащению более чем достаточны для удовлетворения спроса до 1995 г. Не ожидается никаких трудностей в предоставлении услуг по обогащению и в следующие 5 лет, поскольку существуют планы Urenco по расширению действующих мощностей по обогащению и созданию дополнительных мощностей в Бразилии, Японии, Южной Африке и ряде других стран.

Таким образом, в настоящее время и до конца века обеспеченность поставок не вызывает сомнения. Сегодня вопрос заключается скорее в том, как поставляющей промышленности справиться с проблемой рынка, где идет сильная конкуренция из-за превышения предложения над спросом. В расчетах за пределами 2000 г. важно учитывать необходимость замены некоторых существующих газодиффузионных заводов и быть готовым к ней. Превалирует мнение, что газовая диффузия не может рассматривать-

ся в качестве базовой технологии для промышленного обогащения в будущем. Это означает, что в 90-х годах должны быть завершены интенсивные исследования и разработки по альтернативным методам разделения изотопов урана.

В докладах, представленных основными поставщиками, ясно прослеживаются две главные тенденции на мировом рынке оказания услуг по обогащению: (1) стремление добиться разными средствами стабильного положения на рынке обогащения и (2) разработка передовых технологий, позволяющих повысить экономичность производства обогащенного урана и обеспечить удовлетворение возрастающих и постоянно меняющихся потребностей, например, в обогащении переработанного урана.

Что касается передовой технологии обогащения, то большое внимание во Франции, ФРГ, Японии, Нидерландах, Великобритании и США уделяется внедрению лазерного метода разделения изотопов на атомарном уровне (AVLIS). Хотя трудно предсказать точные сроки и страны, в которых этот метод найдет применение, проведение активных исследований и разработок дает основание предполагать, что новые технологии обогащения положительно повлияют на ситуацию на начальном этапе ядерного топливного цикла и, возможно, приведут к изменениям положения основных поставщиков.

Вопросы проектирования, эксплуатационные качества и использование реакторного топлива

Несмотря на положительный опыт эксплуатации АЭС с легководными реакторами, работающими на окиси урана, и хорошие показатели существующих схем использования топлива, продолжают вестись научно-исследовательские работы по дальнейшему совершенствованию в области проектирования, повышения эксплуатационных качеств, надежности и эффективности использования реакторного топлива. Цель заключается в повышении конкурентоспособности ядерной энергии.

Повышение КПД АЭС мощностью 1000 МВт (эл.) с 70 до 75 % могло бы в принципе дать экономии 5 млн. долл. США в год, так как дополнительная электроэнергия экономит соответствующее количество нефтяного топлива. Для получения такой же экономии за счет любого из компонентов ядерного топлива было бы необходимо сократить их стоимость следующим образом: урана на 40 %, обогащения на 35 % или изготовления на 75 %.

По представленным на конференции оценкам совершенствование схем использования топлива (включая продление выгорания, снижение утечек при загрузке, изменение конструкции топливных сборок и т. д.) может привести к сокращению потребления урана для легководных реакторов примерно на 20 % и потребности в обогащении на 10–14 %. Использование слегка обогащенного урана в тяжеловодных реакторах (Канду) может сократить стоимость полного топливного цикла на 25–50 % по срав-

нению с топливом из естественного урана. В результате можно сделать вывод, что в области технологии и использования реакторного топлива остаются значительные резервы, позволяющие добиваться повышения экономической конкурентоспособности ядерной энергетики по сравнению с обычными источниками энергии.

При рассмотрении основных направлений дальнейших усовершенствований в области реакторного топлива необходимо также упомянуть о других важных задачах, относящихся к этапам работы после загрузки, продлению длительности топливного цикла и повышению (изменением шага решетки) соотношения вода-топливо. Было сообщено о том, что есть достаточные основания перехода от двухлетнего к трехлетнему интервалу между перезагрузками топлива. Другие конструктивные усовершенствования связаны с дальнейшим техническим прогрессом в смежных областях.

Еще одна постоянная тенденция в ряде европейских стран, Японии и Аргентине заключается в разработке технологии повторного использования плутония в тепловых реакторах. Несмотря на необходимость некоторых дополнительных исследований, технология изготовления смешанного окисного топлива, по имеющимся данным, находится на достаточном уровне для немедленного использования в промышленных масштабах. В Европе для продажи этой технологии создан концерн „Коммокс Джойнт Венчер” силами фирм „Cogema” и „Белгонуклеар” при поддержке фирмы-проектанта „Framatome” и заводов-изготовителей, принадлежащих „Белгонуклеар” (Дессель, 35 тонн в 1988 г.), КАЭ Франции (Кадаш, 15 тонн в 1989 г.) и „Cogema” (завод „Мелокс” в Маркуле, 100 тонн в 1995 г.). Программы научно-исследовательских работ направлены на определение реальных возможностей для практического применения окисного топлива в топливном цикле легководных реакторов.

Конечный этап ядерного топливного цикла

Конечный этап ядерного топливного цикла находится в центре общественного внимания, не только из-за его влияния на потребности в уране (переработка и повторное использование могут сократить потребности в естественном уране до 40 %), но также из-за серьезных политических, экологических, социально-экономических и технических проблем, остающихся неразрешенными. Невозможно найти простые решения, приемлемые для всех стран. Однако сегодня есть основания утверждать, что химическая переработка вошла в число внедренных технологий, в то время как удаление отработавшего топлива продолжает еще оставаться проблемой. В Европе и Японии накоплен значительный опыт в изготовлении, транспортировке и облучении смешанного окисного топлива, а также по повторному обогащению и использованию урана в тепловых реакторах. Другими словами, закрытый ядерный топливный цикл стано-

вится объективной реальностью, и масштабы химической переработки и повторного использования дефицитных материалов значительно вырастут в последующие годы.

Великобритания, Китай, СССР, Франция, ФРГ и Япония намерены постоянно перерабатывать отработавшее топливо или начинать эту работу по мере введения соответствующих мощностей. Они намерены также и далее использовать смешанное окисное топливо в тепловых реакторах и со временем в быстрых реакторах. Главным фактором в пользу такого выбора в этих странах скорей всего служат экономические соображения, особенно в связи с уже сделанными крупными капиталовложениями (например, 50 млрд. франков во Франции). Отделение высокоактивных отходов (ВАО) от отработавшего топлива в балковой форме рассматривается в этих странах как преимущество при удалении отходов.

Другие страны, такие как Испания, Канада, США и Швеция осуществляют долговременное хранение отработавшего топлива в качестве необходимого шага перед прямым захоронением в глубокие геологические формации. В США за такое хранение отвечают электроэнергетические компании (пока оно не перейдет в ведение МЭ США после пуска контролируемых хранилищ, допускающих возможность извлечения). Таким образом, как и прежде, доминируют две основные концепции на конечном этапе ядерного топливного цикла, однако прослеживается ясная тенденция к сближению позиций. США и страны, которые прежде упорно отстаивали преимущества одноразового топливного цикла, сегодня занимают более гибкую позицию, которая в принципе не исключает возможности принятия в будущем стратегии, основанной на химической переработке.

Во многих странах были приняты политические решения по проблеме удаления отходов, и 90-е годы должны стать периодом демонстрации и реализации этой политики. Данные, представленные различными странами (США, Францией и ФРГ), являются иллюстрацией многолетнего опыта в области обращения с радиоактивными отходами и наличия технологии для реализации национальных планов.

В США имеется хорошо разработанная программа, основанная на положениях Национального закона о политике в области отходов (NWRPA) 1982 г. (с поправками), в котором поставлены конкретные задачи по удалению отработавшего топлива и ВАО. К 2000 г. ожидается, что в США накопится около 40 000 тонн урана в отработавшем топливе с более 100 АЭС. В соответствии с законом в течение 90-х годов должны быть осуществлены разработка характеристик и выбор площадок, а также проектирование и начало строительства первого хранилища. Страны, остановившие свой выбор на химической переработке, также добиваются достижения важных целей. Франция планирует вскоре ввести в эксплуатацию две установки по остекловыванию ВАО на комплексе на мысе Аг. Каждая установка будет в состоянии производить 90 кг в час боросиликатных матриц из остеклованных отходов, что является достаточным

для отверждения выхода ВАО с заводов по химической переработке, расположенных на мысе Аг. Переработка отработавшего топлива в коммерческих масштабах планируется на 90-е годы в Федеративной Республике Германии. ВАО, полученные в результате переработки, будут остекловываться в соответствии с технологией, продемонстрированной на заводе по остекловыванию „Памела” в Моле, Бельгия.

Установление критериев, разработка методологии безопасной эксплуатации и обследование площадки являются ключевыми моментами работы, необходимой для успешного отбора, разработки характеристик и строительства геологических хранилищ для окончательного удаления радиоактивных отходов. Значительная работа в этой области была проделана за последнее десятилетие, которая будет продолжаться и в 90-е годы. Однако страны, рассматривающие возможность геологического удаления ВАО, в настоящее время признают необходимость учета взаимодействия технических аспектов с общественным пониманием и принятием этого выбора, а также с процедурами одобрения решений. Реальным вызовом предстоящего десятилетия в области удаления отходов будет успешная интеграция технической и технологической деятельности с учетом организационных аспектов и озабоченности общественности.

Что касается обращения с низко- и среднеактивными отходами и их удаления, то г-н Джелинек-Финк правильно отметил в итоговом заявлении, что эта технология, очевидно, рассматривается как рутинная и поэтому многие страны вообще не сочли нужным сообщать о ней на конференции. Дополнительные исследования и разработки проводятся только с целью улучшения этих методов и повышения их экономичности, заявил он. Однако в большинстве стран пока еще не нашли окончательного решения проблемы стратегии удаления этих отходов, критериев отбора и лицензирования отобранных площадок.

В СССР отработанные отходы подвергаются промежуточному хранению на месте производства, пока не построены центральные или региональные хранилища. Геологические барьеры рассматриваются в качестве основного средства предотвращения выбросов радиоактивности. В Чехословакии окончательное захоронение будет производиться в 200-литровых контейнерах на небольшую глубину под землей. Проводятся геологические изыскания для подтверждения возможности подземного захоронения. В США действуют три подземных захоронения. Согласно юридическим обязательствам по Закону о политике в области радиоактивных отходов низкой активности (1980 г.) и поправки к нему 1985 г. отдельные штаты отвечают за удаление отходов, произведенных в пределах их границ. Сегодня кажется сомнительным, что к 1990 г. удастся получить разрешение на новые подземные захоронения. В ФРГ низкоактивные отходы до 1978 г. хранились в соляной шахте в Аззе. С тех пор было изготовлено в общей сложности 25 000 контейнеров с отходами, которые хранятся на месте производства. Ожидается, что будет изготавливаться еще по 5000 контейнеров в год. Место окончательно

го захоронения „Конрад” (бывшая шахта по добыче железной руды) должно начать функционировать в 1992 г., если процедуры лицензирования будут успешно завершены. Европейское сообщество направляет свои усилия, в основном, на исследовательские работы по переработке отходов, гарантиям качества, радиационной защите и защите окружающей среды. В будущем оно намерено поддерживать работы по организации „международного рынка” услуг по обработке и хранению радиоактивных отходов с целью разработки сравнимых и надежных спецификаций по переработке, транспортировке и удалению отходов, а также повышения экономичности долгосрочных хранилищ.

Дезактивация и снятие с эксплуатации

Сегодня нет ясности, какое место занимает снятие с эксплуатации ядерных установок в общей картине ядерной энергетики и ее топливного цикла. Однако эта работа, без сомнения, является очень важной. В результате снятия с эксплуатации ядерных установок, реализуемого в три этапа, получаются как отходы, так и оборудование, не имеющие дальнейшего применения. По произведенным оценкам за следующие 25 лет образуется три миллиона кубических метров радиоактивных отходов в результате снятия с эксплуатации АЭС только в странах ОЭСР. В течение 1996–2010 гг. будет снято с эксплуатации 200 реакторов мощностью по 1000 МВт (эл.) (в среднем по 14 реакторов ежегодно). Снятие с эксплуатации других установок ядерного топливного цикла помимо реакторов, как ожидается, даст менее 4 % общего количества радиоактивных отходов, полученных в ходе этого процесса.

Как подчеркивалось на конференции, снятие с эксплуатации требует тщательного планирования, оценки расходов и финансирования. По приведенным данным стоимость снятия с эксплуатации реактора на воде под давлением и кипящего реактора мощностью 1100 МВт (эл.) каждый составляет соответ-

ственно 220 и 264 млн. долл. США. В то же время финансовые вопросы не должны заслонять проблемы опасности для здоровья. Необходимо разработать и установить сбалансированные критерии снятия с эксплуатации, и в ряде стран с этой целью ведутся соответствующие исследования. В соответствии с подходом, используемым в Японии, рекомендуется консервация установки сроком от 5 до 10 лет, за которой следует демонтаж. Разработка технологии демонтажа для крупных реакторов является главной частью программы, осуществляемой Японским исследовательским институтом по атомной энергии (JAERI). Особенно важна разработка автоматизированной системы получения данных в помощь будущему планированию процесса снятия с эксплуатации. В исследованиях и разработках Европейского сообщества главное внимание уделяется крупным промышленным проектам снятия с эксплуатации. Было сообщено о прогрессе, достигнутом в ходе снятия с эксплуатации реактора в Виндскейле, Великобритания, где главный упор делался на разработку специальной дистанционной демонтажной машины и манипуляторов. Было представлено два доклада от СССР о заключении в „саркофаг” четвертого блока Чернобыльской АЭС, включая применение нескольких технических новшеств в области оборудования и практики дезактивации, которые представляют особый интерес для долговременного использования на высокорadioактивных участках. Уникальный опыт, полученный в Чернобыле, должен служить полезным вкладом в технические мероприятия и положения для включения в планы на случай чрезвычайной ситуации.

В заключение было указано, что работы по дезактивации и снятию с эксплуатации идут по плану, безопасно и экономично. Однако эта область ядерной технологии еще не достигла промышленного уровня, и активная разработка соответствующих технических, экономических и политических концепций будет происходить в 90-е и последующие годы.

