

создания автоматизированной системы для дозиметрического и радиохимического контроля, обучения персонала на тренажорах для эксплуатации реакторов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000.

Радиационная обстановка

Радиационная обстановка как в помещениях АЭС, так и в окружающей среде за весь период эксплуатации была значительно ниже предельно допустимых норм радиационной и санитарной безопасности. Годовые выбросы газов и аэрозолей в вентиляционную трубку АЭС не превышают проектных норм за 7–10 дней. Интересно отметить факт, что в марте 1977 г., т.е. в период после землетрясения в СРР, радиационная обстановка во внутренней и внешней среде работающих на 100 %-ной мощности блоках первой очереди АЭС не изменилась.

Разработан и выполнен специальный проект системы автоматической антисейсмической защиты, действующей на аварийное отключение реакторов при определенном сейсмическом воздействии.

Предусмотрено повышение доли ядерной энергетики

Развитие ядерной энергетики в НРБ тесно связано с концентрацией мощностей, что является характерным показателем технического прогресса в области энергетики. В 1987 г. установленная мощность АЭС Козлодуй достигнет 3760 МВт. Пятый блок станции с реактором ВВЭР-1000 находится перед физическим пуском, а шестой блок — в стадии строительства.

Решением правительства НРБ было утверждено создание атомного энергетического комбината Козлодуй. Кроме атомной электростанции этот комплекс включает в себя: базу по ремонту оборудования станции и производству запасных частей и приспособлений, ремонтную мастерскую для централизованного ремонта оборудования первого контура, хранилище для отработавшего ядерного топлива, базу по ремонту и производству специализированной аппаратуры для КИП и А, учебный центр для подготовки эксплуатационного персонала и др.

Направление на концентрацию мощностей продолжится и в будущем: начато строительство второй атомной электростанции в НРБ — АЭС Белене, с установленной мощностью 4000 МВт. Межправительственное соглашение СССР—НРБ о строительстве этой станции уже подписано. Предусматривается к 2000 г. более 40 % электроэнергии, вырабатываемой в Болгарии, получить от АЭС.

В процессе развития и освоения ядерной энергетики будут раскрыты новые возможности, способствующие реализации ее многоцелевого и комплексного использования в различных областях народного хозяйства. Особенно актуальным для НРБ является вопрос ускоренного внедрения атомных станций

теплоснабжения, что сыграет огромную роль в улучшении сырьевого и топливного баланса.

Ряд специалистов из НРБ повысили свою квалификацию благодаря предоставленной МАГАТЭ возможности участвовать в мероприятиях, проводимых Агентством, а также по линии специальной подготовки.

ФИНЛЯНДИЯ

Эксплуатационный опыт в Финляндии

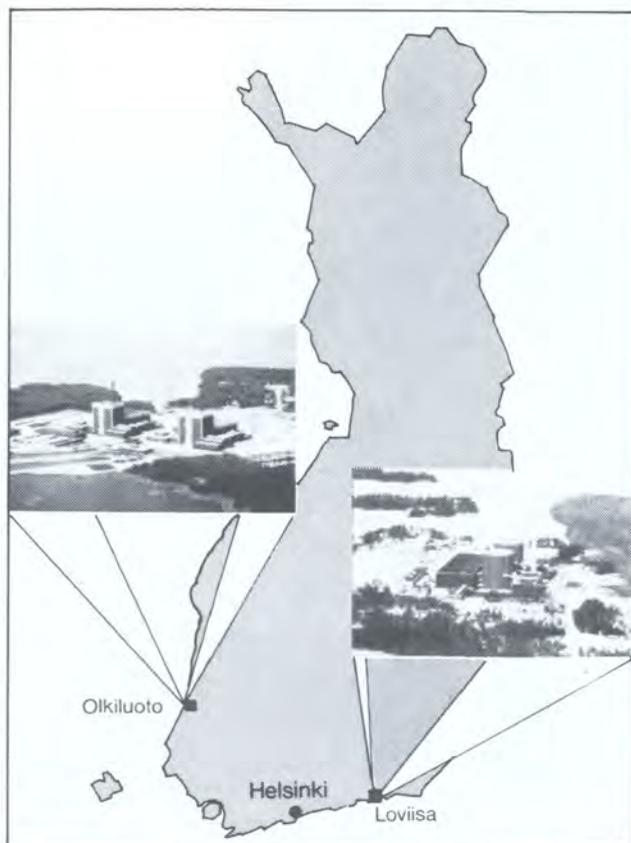
Высокие коэффициенты использования установленной мощности и небольшое время простоев

Клаус Себлом и Акти Тойвола

В Финляндии из-за отсутствия местных ресурсов ископаемого топлива ядерная энергетика играет важную роль в производстве электроэнергии. В 1985 г. доля ядерной энергетики в производстве электричества составила примерно 38 % от общего потребления электроэнергии равного 51,8 млрд. кВт·ч. Относительно высокий уровень потребления электроэнергии на душу населения (10 800 кВт·ч/г.) в основном обусловлен энергетическими потребностями коммунального теплоснабжения и высокоразвитой деревообрабатывающей промышленности.

Центр радиационной и ядерной безопасности Финляндии проводит оценку и осуществляет контроль за выполнением регламентирующих требований на АЭС. Разрешения на строительство, топливные лицензии (до начала импорта ядерного топлива в страну) и лицензии на эксплуатацию установок выдаются Министерством торговли и промышленности. Кроме того, в результате проводимого в настоящее время пересмотра ядерного законодательства в него будут включены положения о получении принципиального согласия Палаты представителей и местных властей до начала реализации ядерного проекта.

Г-да Себлом и Тойвола являются сотрудниками АЭС Ловиза и Олкилуото, соответственно.



До настоящего времени результаты эксплуатации АЭС в Финляндии были весьма удовлетворительными: высокие коэффициенты использования установленной мощности, небольшие дозы радиационного облучения персонала и незначительные выбросы в окружающую среду. Все это достигнуто благодаря надежным принципиальным конструкциям станций, хорошей эксплуатационной практике и наличию компетентного персонала.

АЭС Ловиза

АЭС Ловиза (два блока мощностью 440 МВт (эл.) каждый) расположена примерно в 100 км к востоку от Хельсинки. Основой поставщик — Атомэнергоэкспорт (СССР) — снабдил станцию реактором и турбинными системами. Однако доля местных компаний в общих расходах на реализацию проекта составила 60%. Многочисленные компании из разных стран мира внесли свой вклад в этот уникальный проект сотрудничества между Востоком и Западом.

С момента сдачи станции в эксплуатацию наблюдалась тенденция к улучшению коэффициента использования установленной мощности, который в настоящее время приближается к теоретическому максимуму. Случаи останова реакторов стали довольно

редкими — за последние несколько лет менее одного раза в год.

До настоящего времени не отмечалось никаких нарушений в работе реактора, которые могли бы угрожать его безопасности или привести к значительным выбросам радиоактивности в окружающую среду.

Особенности конструкции

В 1967–70 гг. во время переговоров по вопросам технических решений для АЭС Ловиза было установлено, что в то время финские требования безопасности в некоторых своих аспектах отличались от аналогичных требований Советского Союза. В результате проведения широких исследований было принято решение установить на АЭС Ловиза в соответствии с западной философией герметичные стальные оболочки*.

Степень дублирования насосов аварийного охлаждения, дизель-генераторов и некоторых других активных компонентов системы безопасности составляет $4 \times 100\%$, а пассивных компонентов — по крайней мере, $2 \times 100\%$. Уровень автоматизации значительно выше, чем на аналогичных советских станциях. У советских конструкторов существует довольно консервативное отношение к параметрам технологического процесса и напряжениям. В ряде случаев это приводило к некоторому завышению габаритов многих компонентов по сравнению с требованиями, предъявляемыми к рабочим характеристикам западными производителями. Следствием этого явилось замедление переходных процессов и снижение напряженности конструкционных материалов оборудования.

Эксплуатационная практика

Пределы параметров безопасности, требования проведения периодических испытаний, а также допустимые сроки ремонта компонентов определены в технической документации, которая непрерывно совершенствуется на основе приобретаемого опыта. Руководящим принципом является требование, чтобы станция выдерживала последствия любого исходного события, приводящего к любому единичному отказу; срок ремонта компонентов ограничен тремя днями, в противном случае станция должна быть остановлена.

* Шесть горизонтальных парогенераторов обусловили относительно большой диаметр оболочки; кроме того, было отмечено, что некоторые компоненты не выдержат аварийных условий в обычной „сухой” оболочке, а на их перепроектировку уйдет слишком много времени, поэтому была использована система ледового конденсатора. Проектное давление в оболочке — 1,7 бар — рассчитано на двусторонний обрыв главного трубопровода первого контура.

Строгие требования предъявляются к качеству работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования. Запасные части должны отвечать тем же самым стандартам, что и основное оборудование, кроме того, должны выполняться все действующие процедуры гарантии качества. В соответствии с утвержденными программами проводится большое число испытаний и инспекций в процессе эксплуатации.

Модификации

Основными причинами проведения модификаций, важных с точки зрения безопасности, стали эксплуатационный опыт, опыт подготовки персонала на тренажере, расположенном на площадке станции, опыт эксплуатации реакторов с водой под давлением, авария на АЭС Три Майл Айленд, новая информация о материалах и компонентах, изменения в лицензионных требованиях, а также результаты экспериментов, проводившихся компанией.

В ходе эксплуатации под воздействием потока быстрых нейтронов происходит охрупчение материалов активной зоны реакторного корпуса высокого давления. В процессе эксплуатации были проведены широкомасштабные исследования и проверки. Для замедления темпов охрупчения периферийные топ-

ливные элементы были заменены макетами без уменьшения общей тепловой мощности реактора. Воздействие потенциальных тепловых ударов в результате аварийного охлаждения активной зоны было уменьшено путем увеличения температуры охлаждающей воды.

Некоторые модификации были проведены после аварии на АЭС Три Майл Айленд. К их числу относятся установка приборов и оборудования дозиметрического контроля, контроля концентрации водорода и различных других параметров.

Кроме того, в целях повышения надежности в условиях обычной эксплуатации и в аварийном режиме были изменены некоторые компоненты и пересмотрены процедуры проведения испытаний. В результате многочисленных модификаций были также усовершенствованы средства и системы противопожарной безопасности.

Радиационная безопасность

В сравнении с международными данными дозы радиационного облучения были относительно низкими. Годовая коллективная доза облучения персонала на каждом энергоблоке составила примерно 1 человеко-зиверт. Годовая коллективная доза облучения населения, проживающего в радиусе 100 км, равнялась примерно 0,01 человеко-зиверт. Надежность компонентов АЭС (только одна трубка парогенератора была заглушена) и герметичность топливных оболочек (только 6 случаев разгерметизации в течение 15 реакторо-лет) внесли свой вклад в создание прекрасной радиологической обстановки.

Тренажер

На АЭС Ловиза создан почти полномасштабный тренажер, который имитирует поведение реактора в нормальном эксплуатационном режиме, различных переходных режимах и даже во время небольших аварий с потерей теплоносителя (LOCA).

Первоначальная подготовка и обучение операторов занимают от 6 до 8 месяцев, а ежегодная переподготовка — 10 дней. Кроме того, тренажер используется для оценки эксплуатационных инструкций и усовершенствования оборудования, для разработки и проверки инструкций по эксплуатации станции, разработки более совершенных имитационных моделей, исследования возможностей снижения вероятности ложного сигнала в переходных режимах эксплуатации АЭС, для проверки модификаций станции и определения критериев успешной эксплуатации, используемых в вероятностных анализах риска (ВАР), а также для проведения различных исследований.

Сеть радиационного контроля в Финляндии

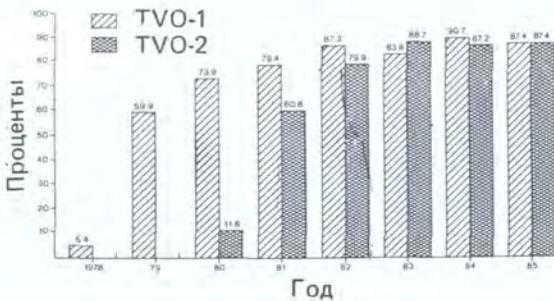
Сеть радиационного контроля Финляндии состоит примерно из 270 станций радиационных измерений, находящихся в ведении Министерства внутренних дел и Министерства обороны Финляндии. Как правило, станции этих ведомств поочередно через день проводят измерения уровня радиации. Результаты сообщаются в Центр радиационной и ядерной безопасности Финляндии через управление спасательных работ министерства внутренних дел или через управление ядерной, биологической и химической обороны Генерального штаба.

Финский Метеорологический институт имеет свою сеть, состоящую из 10 станций измерения аэрозолей. С помощью этой сети можно обнаружить более низкие уровни радиации искусственных радионуклидов, чем это могут сделать станции вышеописанной сети, которые оборудованы счетчиками Гейгера.

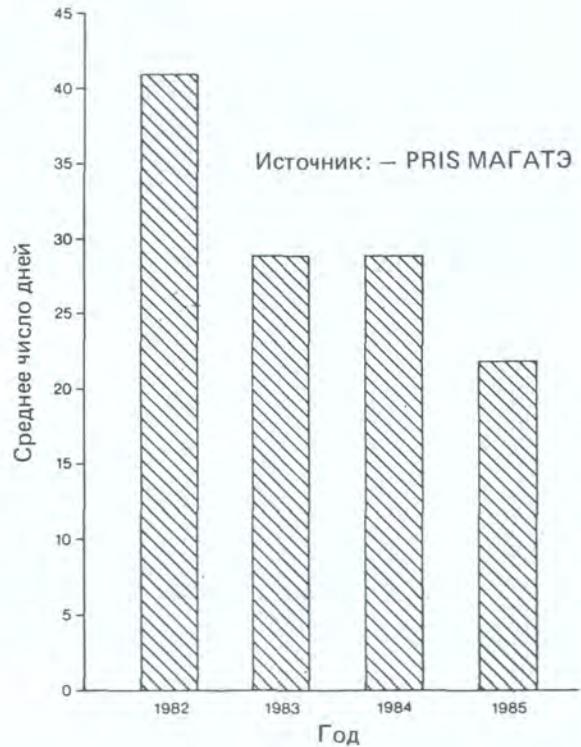
В случае необходимости Центр радиационной и ядерной безопасности Финляндии (STUK) высылает (для проведения измерений) специальные патрули, снабженные полными комплектами оборудования, предназначенного для измерения мощности доз, а также переносными гамма-спектрометрами. АЭС Олкилуото и Ловиза также имеют достаточно полный набор измерительного оборудования.

— Информация взята из отчета Центра радиационной и ядерной безопасности Финляндии.

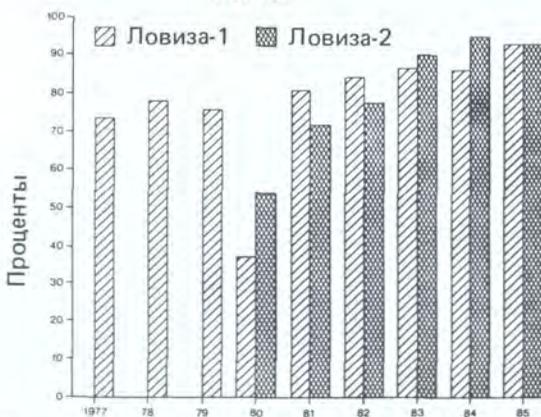
Коэффициент использования установленной мощности энергоблоков TVO-1 и 2



Продолжительность остановок для перегрузки топлива в Финляндии



Коэффициенты использования полезной мощности АЭС Ловиза



Примечание. В 1980 г. на энергоблоке Ловиза-1 проводился осмотр парогенератора

Анализ безопасности

Работа АЭС в условиях различных аварий с потерей теплоносителя изучалась путем проведения многочисленных анализов. Целостность реакторного корпуса высокого давления в переходных режимах аварийного охлаждения стала предметом широких материаловедческих и технологических исследований. В настоящее время проводится ВАР, который позволит идентифицировать наиболее важные составные риска, а также дает ценную информацию о работе станции во время различных гипотетических аварий.

АЭС Олкилуото

АЭС Олкилуото, состоящая из двух энергоблоков, расположена на западном побережье Финляндии и принадлежит компании Индастриал пауэр компани (ТВО). На энергоблоках АЭС установлены реакторы с кипящей водой (BWR) мощностью 710 МВт (эл.), которые были поставлены шведской фирмой Asea-Atom. Первый энергоблок TVO-1 был впервые под-

соединен к национальной энергосистеме в сентябре 1978 г., а энергоблок TVO-2 — в феврале 1980 г.

Первоначальная номинальная мощность каждого энергоблока составляла 660 МВт (эл.), однако благодаря достаточному запасу прочности и надежности конструкции реактора стало возможным увеличить его мощность на 8 %. В начале 1985 г. национальное управление, в ведении которого находятся вопросы безопасности, выдало лицензию на эксплуатацию энергоблоков на повышенной мощности 710 МВт (эл.)

Эксплуатация

В течение последних лет коэффициент использования установленной мощности обоих энергоблоков удается удерживать на уровне, значительно превышающем 80 %. До 1981 г. на обоих блоках возникали технические проблемы, связанные с системой генератора, что особенно сказывалось на коэффициенте использования реактора TVO-2. Статор и ротор генератора охлаждаются водой, что обусловлено технической необходимостью для машин, у которых

скорость вращения составляет 3000 оборотов в минуту. Конструкция ротора была изменена, и для обоих блоков были изготовлены новые роторы. Начиная с 1981 г., новые роторы показали хорошие характеристики без каких-либо значительных эксплуатационных проблем.

Опыт по сокращению времени простоя

Топливный цикл обоих энергоблоков — 12 месяцев, остановки для перегрузки топлива происходят в начале лета, что обусловлено характером энергопотребностей и высоким уровнем водообеспеченности гидроэлектростанций в это время года. Очень скоро было понято значение сокращения времени простоя для достижения хороших эксплуатационных характеристик станции (см. прилагаемый график тенденций к сокращению времени простоя). Минимально достижимое время простоя по расчетам составляет 12 дней, что позволяет провести нормальную перегрузку топлива, регулярный технический осмотр и обслуживание. Долгосрочная стратегия в области планирования простоев заключается в концентрации усилий на проведение основных ремонтных работ во время длительных остановов, которые происходят раз в два года. Это позволяет ежегодно останавливать реактор на очень короткое время.

Длительность простоя реактора TVO-2 в 1982 г. и TVO-1 в 1983 г. вызвана частично, проведением интенсивных работ по ремонту внутренних узлов реакторного бака. Активная зона была полностью разгружена, а из бака была вынута опорная решетка активной зоны. Причиной этого послужило коррозионное растрескивание под напряжением крепежных болтов направляющих рельсов решетки активной зоны. Болты и рельсы заменены на новые. Как и в случае с другими реакторами с кипящей водой коррозионное растрескивание под напряжением стало крупной проблемой на станциях компании TVO, именно поэтому проводится ежегодный полный осмотр систем. Благодаря низкому содержанию углерода в сталях, из которых изготовлены трубы станций фирмы Asea-Atom, коррозионное растрескивание под напряжением не привело к возникновению серьезных проблем с компонентами, работающими под давлением. Однако материалы, из которых изготавливаются внутренние узлы активной зоны реактора и конструкционные детали топливных сборок, а также целый ряд других материалов, менее стойких к коррозионному растрескиванию под напряжением, были заменены.

Принципы и опыт эксплуатационной безопасности

Все системы обеспечения безопасности энергоблоков TVO-1 и -2 можно разбить на четыре физически отличных друг от друга подсистемы. Последствия любой вероятной аварии не представляют опасности при нормальной работе двух подсистем из четырех. Такая степень надежности (4x50%) систем безопас-

ности означает, что в случае единичного отказа функция безопасности все же может быть выполнена, даже если из строя выйдет целый ряд дублирующих систем. Этот факт позволил разработать программу профилактического текущего обслуживания и ремонта систем обеспечения безопасности во время эксплуатации АЭС. Для проведения такого обслуживания и ремонта каждая подсистема может быть полностью отключена в течение трех дней в году. Данная программа значительно снизила рабочую нагрузку во время остановки реактора для перегрузки топлива и является одним из факторов, влияющих на сокращение времени простоя.

В соответствии с техническими условиями эксплуатации АЭС должен составляться письменный отчет о нарушениях и других случаях, имеющих особое значение с точки зрения безопасности. В течение последних 5 лет эксплуатации на обоих энергоблоках ежегодно составляли в среднем 1–2 специальных отчета.

Случаи, в отношении которых составлялись специальные отчеты, сильно отличаются друг от друга по своему характеру: от обычных формальных отклонений от правил безопасности до проблематичных технических вопросов, связанных с системами безопасности. Однако инцидентов, которые могли бы привести к переоблучению персонала станции или людей, проживающих около нее, зарегистрировано не было. Примером случая, имевшего серьезные последствия, может служить обнаружение одного сломанного коромысла выпускного клапана одного из четырех аварийных дизелей на реакторе TVO-2. В результате последовавшего за этим осмотра в материале нескольких клапанных коромысел того же самого дизеля были обнаружены трещины.

Тогда была проведена проверка всех дизелей обоих энергоблоков. После того, как было обнаружено еще несколько коромысел с трещинами в том же самом месте, изготовителю пришлось изменить конструкцию клапанного коромысла и все их заменить.

Радиологическая обстановка

Годовая коллективная доза облучения персонала и уровни радиоактивности были низкими в основном из-за небольшого числа случаев повреждения топливных элементов. Активность продуктов коррозии также оставалась низкой благодаря строгому контролю за содержанием кобальта в стали, используемой для изготовления компонентов, вступающих в контакт с водой. Кроме того, стоит отметить вклад жестких правил радиационной защиты во время эксплуатации, а также и тот простой факт, что ни разу не возникла необходимость в ремонте других радиоактивных компонентов станции.

Низкие уровни активности на станции находят также свое отражение в уровне радиоактивности окружающей среды. Дозы облучения населения, проживающего в районе станции, составляют несколько долей одного микрозиверта в год. В перспективе это означает несколько десятых долей процента от допустимого предела — 100 микрозиверт в год.