

нение к возможностям проведения оценок система ESSM дает оператору рекомендации относительно необходимости срочного профилактического ремонта и разрабатывает план его выполнения. Недавно система ESSM была установлена в Великобритании на АЭС „Хейшэм-II“.

### Международное сотрудничество

Существует много возможностей повышения роли человеческого фактора при эксплуатации атомных электростанций. Добиться этого можно с помощью технических мер по модернизации оборудования или мер по повышению качества работы операторов. Однако сейчас, по-видимому, отсутствует единое мнение относительно того, какие меры необходимо принять и как распределить приоритеты. В этом и за-

ключалась одна из причин созыва МАГАТЭ Международной конференции по вопросам взаимодействия „человек — машина” в ядерной промышленности (Контроль и контрольно-измерительные приборы, робототехника и искусственный интеллект)\*. В роли принимающей стороны выступило правительство Японии; конференция проходила с 15 по 19 февраля 1988 г. в Токио и была организована в сотрудничестве с АЯЭ/ОЭСР и Комиссией европейских сообществ (СЕС). В повестку дня были включены вопросы анализа поведения человека при эксплуатации АЭС, обзоры технических мер по улучшению работы операторов, обсуждения важности предоставления оператору большего объема и более качественной информации.

\* Материалы конференции будут опубликованы МАГАТЭ.

# Старение атомной электростанции и продление срока ее службы: Аспекты безопасности

## Обзор результатов работы симпозиума МАГАТЭ

Станислав Новак и Милан Подест

Как показывает опыт эксплуатации электрогенерирующих установок на ископаемом топливе и как это бывает в любой отрасли перерабатывающей промышленности, установки начинают изнашиваться (примерно после 10 лет работы). То же происходит и с атомными электростанциями, и логично предположить, что, если не принимать надлежащих мер, то встанет вопрос об их пригодности и безопасности.

Средний возраст энергетических реакторов в государствах-членах МАГАТЭ увеличивается (см. прилагаемые диаграммы). К 2000 г. более 50 атомных электростанций будут давать электроэнергию в течение 25 лет и более. Большинство атомных электростанций работают в течение 20—40 лет.

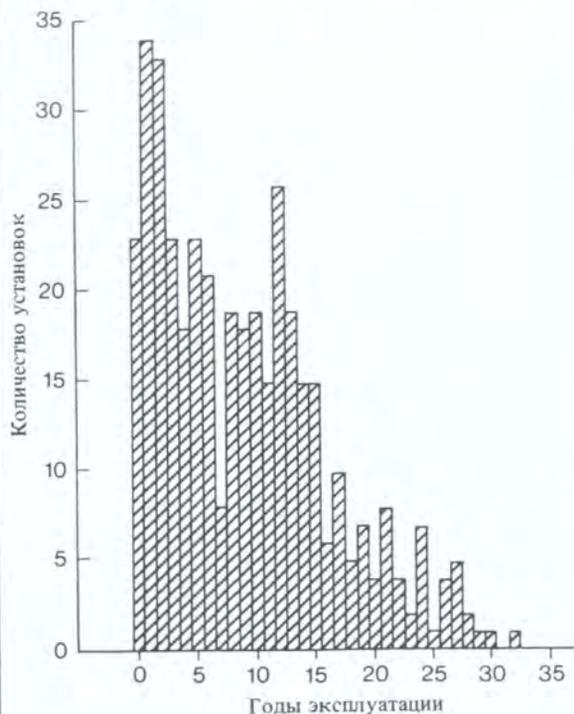
Старение определяется постоянной во времени

Г-да Новак и Подест — сотрудники Департамента ядерной энергетика и безопасности.

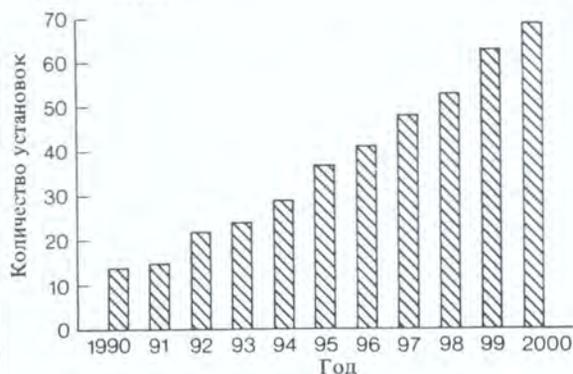
деструкцией материалов в зависимости от условий эксплуатации, включая нормальную работу и меняющиеся условия. Известно, что за длительные периоды времени происходит постепенное изменение свойств материалов. Эти изменения влияют на способность технических компонентов, систем и структур выполнять свои функции. Не все изменения вредоносны, но общепризнано, что процессы старения ведут к постепенному уменьшению работоспособности.

На атомной электростанции все материалы стареют и теряют частично или полностью способность выполнять возложенные на них функции. Старение касается не только активных компонентов (для которых со временем вероятность плохого функционирования увеличивается), но и пассивных, так как запас прочности опускается до самого низкого допустимого уровня.

Распределение атомных электростанций по срокам их службы



Предполагаемые количества энергетических реакторов, срок эксплуатации которых достигнет 30 лет к 1990–2000 гг.



(Источник: Система информации МАГАТЭ по энергетическим реакторам)

## Последствия старения станции

Основными последствиями старения, вызывающими беспокойство, являются изменения в физических свойствах (например, в электропроводности), радиационное и тепловое охрупчивание, ползучесть, усталость, коррозия (включая вызываемые ею эрозию и растрескивание), износ (т. е. вызываемые износом фреттинг-коррозия и растрескивание, усталость от трения).

Поэтому термин „старение” подразумевает происходящие с течением времени кумулятивные изменения, которые могут произойти в компоненте или структуре в связи с указанными факторами. Отсюда ясно, что речь идет о сложном процессе, который начинается с момента изготовления компонента или структуры и продолжается в течение всего срока службы. Старение — безусловно существенный фактор в определении пределов жизни атомных электростанций или в ее продлении. Ни одна атомная электростанция, включая и те, которые еще строятся или консервируются, не может избежать последствий старения.

Степень старения зависит от условий эксплуатации и от чувствительности материалов к этим условиям. Поэтому надо учитывать проблему старения, начиная со стадии проектирования путем подбора соответствующих материалов и на протяжении всего жизненного цикла станции.

Старение атомной электростанции может повлиять не только на эффективность производства электроэнергии, но и на безопасность, если деструкция ключевых компонентов и структур не будет обнаружена до утраты ими работоспособности и если своевременно не будут приняты соответствующие меры. Важно понять, как процесс старения влияет на вероятность разрушения компонентов в системах, предназначенных для смягчения переходных процессов и аварий (и тем самым уменьшает запасы прочности), и как возрастная деструкция вызывает такие явления.

Озабоченность в связи со старением оборудования вызывается тем, что разрушение может происходить одновременно в дублирующих системах безопасности. Дублирование (в совокупности с разнообразием) является основным средством защиты от последствий случайных поломок оборудования и гарантией того, что по меньшей мере одна полная цепь систем безопасности всегда находится в рабочем состоянии при эксплуатации станции. Требуемая защита не будет обеспечена, если старение оборудования доведет его работоспособность до такой точки, когда увеличение уровней напряжения, связанных с событием в конструкционной основе, вызывает одновременное повреждение дублирующих систем (или их повреждение в критический интервал времени).

## Контроль и обнаружение

Эксплуатирующие организации используют различные методы предотвращения, обнаружения, исправления и уменьшения повреждений систем и компонентов, возникающих по различным причинам, включая последствия деструкции в результате старения. К таким методам относятся программы профилактического технического ремонта, системы учета значительных событий и периодическое изучение рабочих характеристик станции. Они находятся в процессе постоянного развития (на основе извлекаемых

из практики уроков и новых знаний) и в целом достаточно эффективны в обнаружении и смягчении последствий старения.

В прошлом старение рассматривалось как одна из многих причин повреждения компонентов. Исследование проблем старения велось первоначально лишь в связи с возникавшими проблемами эксплуатации и повреждениями. Но в последние годы промышленность, регламентирующие органы и международные организации признали, что при увеличении среднего срока службы атомных электростанций расширение существующих программ с использованием новой технологии требует более систематического и активного подхода к этой проблеме. В результате различные государства-члены приступили к реализации программ или проектов, имеющих целью понять процесс старения и разработать новые методы борьбы с его последствиями. Это привело к расширению деятельности по изучению и развитию средств контроля и испытаний, а также методов проверки с целью своевременного обнаружения последствий старения.

Познание процесса старения атомных электростанций требует систематического подхода к анализу его явлений. Необходимо разработка экспериментальных и теоретических методов для оценки его влияния на работу станций. Для оценки „пригодности” их компонентов, систем и структур должны применяться в процессе эксплуатации эффективные методы проверок, наблюдения и контроля. Это должно служить основой для их своевременного и эффективного обслуживания, ремонта и замены, при этом особое внимание должно быть обращено на системы и компоненты, имеющие отношение к безопасности.

### Международный симпозиум

Увеличивающийся интерес к решению проблем старения атомных электростанций связан и с экономическими аспектами продления срока их службы. МАГАТЭ уделяет внимание в своих программах обему этим сторонам.

Недавно Агентство провело Международный симпозиум по аспектам безопасности, связанным со старением и техническим обслуживанием атомных электростанций (Вена, 29 июня – 3 июля 1987 г.)\*. Это – первый симпозиум МАГАТЭ по данной проблеме; он рассчитывался на широкий круг участников: технический и управленческий персонал атомных электростанций, связанный с их эксплуатацией и уходом, работников регламентирующих органов, технических и руководящих сотрудников оптовых фирм. В работе симпозиума приняли участие 140 человек из 30 стран и трех международных организаций. Основные темы, обсуждавшиеся на симпозиуме, излагаются в нижеследующих разделах.

### Национальные усилия

В некоторых странах началось осуществление программ, предусматривающих исследования по достижению понимания процесса старения атомных электростанций, по его возможным последствиям для безопасности и по методам его обнаружения и замедления. Например, Комиссия по ядерному регулированию (КЯР) США реализует программу, названную „Изучение старения атомных электростанций” (Nuclear Plant Ageing Research – NPAR). Она включает в себя: (1) идентификацию и отбор компонентов, старение которых имеет большое влияние на обеспечение безопасности; (2) рассмотрение запаса прочности конструкционной основы, проверка квалификации, опыта эксплуатации, мнений экспертов; разработку методов наблюдения, инспектирования, контроля и обслуживания; (3) технические исследования по обоснованию методов инспектирования, наблюдения, контроля и обслуживания; по проверкам *in-situ*, по сбору данных о работающем оборудовании, по проверке после технического обслуживания, по испытаниям оборудования с естественным износом и по анализам затрат и результатов. Эта программа показывает всю сложность проблемы старения.

Симпозиум рассмотрел подходы к проблемам старения других регламентирующих организаций. Указывались такие серьезные меры как программы по периодической оценке на основе широкого сбора данных по эксплуатации, программы по профилактическому техническому обслуживанию станций, постоянный контроль компонентов атомных электростанций; требования к анализу аварий; квалификация людей и компонентов; обучение и подготовка персонала; внешний контроль и обеспечение качества. В настоящее время разрабатываются процедуры по определению риска на основе данных о старении и повреждениях компонентов.

Большого внимания заслуживают также сбор и оценка эксплуатационных данных. Указывалось на преимущества автоматизированной системы сбора данных о результатах наблюдения, испытаний и обслуживания станций. Она собирает также данные о всех способах эксплуатации, позволяющих оценить состояние критических компонентов. Говорилось также о роли обратной оперативной связи в разработке спецификаций на тесты для электрического и другого оборудования.

Имеются и другие средства, применяемые и совершенствуемые в целях познания процесса старения. Сюда относятся вероятностные модели условий старения, использование компонентов станции от остановленных ядерных установок для оценки старения, применение методов „искусственного старения” критических компонентов для определения полезных сроков службы.

Процессы старения можно изучать и в ходе эксплуатации станции. На симпозиуме сообщалось об использовании оборудования по технической диагностике для контроля деструкции систем и для опре-

\*Труды симпозиума опубликованы Агентством.

деления остающегося срока службы; о водно-химическом контроле с целью предотвращения коррозии и контроле за радиационным повреждением корпуса под давлением.

### Продление срока службы станции

Вопрос о продлении срока службы атомных электростанций (технически известный под сокращенным названием Nuplex) обсуждался на симпозиуме с точки зрения нескольких перспектив. Сообщалось об осуществляемых во Франции, Японии и США программах по продлению срока службы станций. Несмотря на то, что эти программы включают различные типы атомных электростанций, они идентичны. Ими предусматривается создание базы данных о необходимой оперативной информации, проведение исследований и разработок и получение информации о наличии устройств, пригодных для замены и восстановления критического оборудования. В США был создан Руководящий комитет по Nuplex, главной задачей которого является содействие своевременному установлению Комиссией по ядерному регулированию процесса возобновления лицензий в целях стимулирования необходимых регламентационных исследований и отражения интересов энергетических фирм в политике и правилах Комиссии по возобновлению лицензий.

Что касается технологических аспектов продления срока службы станций, то в докладах, представленных на симпозиуме, затрагивались, главным образом, вопросы эксплуатации. Национальная технологическая лаборатория в Айдахо, США, представила доклад по оценке остающегося срока службы основных компонентов реакторов с водой под давлением (PWR). А Национальная лаборатория в Сандиа сообщила об использовании методов оценки вероятностного риска (ОВР) для осуществления контроля за увеличением эксплуатационной безопасности атомных электростанций. О технологических аспектах говорилось также в докладе, посвященном результатам работы симпозиума по продлению срока службы атомных электростанций, проведенного в феврале 1987 г. Агентством по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития совместно с МАГАТЭ.

В Японии проведены исследования по определению основного срока службы реакторного корпуса под давлением, и участники симпозиума были проинформированы о том, что результаты этих исследований используются для разработки технических процедур оценки старения. В докладе Франции давалось описание системы учета переходных процессов в стан-

дартных реакторах типа PWR, используемых в стране; эта система помогает удовлетворять регламентационные требования.

На симпозиуме проходили дискуссии по тематике трех совещаний экспертов. На одном из них обсуждались некоторые проблемы старения активных и пассивных компонентов с точки зрения влияния их на риск. Отмечалась необходимость совершенствования системы баз данных с целью обеспечения сбора более подробных данных о повреждениях, ремонтах и обслуживании. Указывалось также на то, что старение — проблема не только будущих, но и работающих атомных электростанций. Существующие методы испытания, контроля и ухода не позволяют решить проблему старения. Очень важное значение имеет количественное определение влияния старения для обеспечения безопасной работы атомных электростанций и для получения регламентирующим органом надежных данных. Для борьбы со старением должны применяться превентивные, а не исправительные меры, и потому усилия следует концентрировать на наиболее чувствительных частях атомных электростанций.

На заседании второго совещания экспертов основное внимание уделялось работе оператора и, в частности, систематической идентификации им деструкции в результате старения компонентов и частей станции в результате старения компонентов и частей станции, связанных с безопасностью и надежностью. Необходимо понять механизмы старения, чтобы контролировать уровень деструкции и определять износ. Для управления явлениями старения на работающих атомных электростанциях очень важным является осуществление программы по уходу за станциями, основанной на анализах подробных данных с целью обеспечения замены частей станции до их повреждения.

Третье совещание экспертов сконцентрировало свое внимание на роли МАГАТЭ в обеспечении международного сотрудничества по этой проблеме. Особо была отмечена деятельность Агентства по содействию организации диалогов и обменов информацией и опытом, а также его роль в распространении соответствующей информации в виде различных документов, руководств и других публикаций. Ввиду наличия у проблемы старения и продления срока службы атомных электростанций широкого спектра технических, экономических и регламентационных аспектов, требующих изучения прежде, чем можно будет принимать какие-либо решения, Агентству рекомендуется играть активную роль в этой области.

В настоящее время МАГАТЭ готовит доклад по данной проблеме (его составление должно быть закончено в 1988 г.), в котором будут учтены результаты симпозиумов 1987 г. по продлению срока службы атомных электростанций и по старению и обслуживанию станций.

