

## Лекция 25

# МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

## Роль технической диагностики в обеспечении безопасности АЭС и специфика диагностического обслуживания объектов атомной энергетики

По прогнозам экспертов в атомной энергетике до второй половины XXI века значительная доля энергии будет извлекаться из относительно дешевого урана-235. Для этого предполагается использовать современные АЭС с ядерными тепловыми реакторами. Опыт 8000 реакторо-лет эксплуатации ядерных реакторов, из которых 5000 приходится на период после Чернобыльской аварии, доказывает достаточно низкую, социально приемлемую вероятность аварий на АЭС. Это важнейшее достижение во многом связано с высоким качеством диагностического обслуживания и достоверным прогнозированием времени достижения предельного состояния элементами конструкции и системами обеспечения безопасности АЭС. По показателям безопасности атомные станции, созданные по российским проектам, занимают одно из ведущих мест в мире. Количество остановов отечественных реакторов из критического состояния по данным на 2000 год составляло 0,24 останова на один энергоблок, в то время как среднемировой показатель равен 0,7.

Однако по эффективности использования имеющихся мощностей российские АЭС уступают зарубежным. Коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) наших АЭС в 2000 году был на уровне 69%, а среднее значение КИУМ для зарубежных энергоблоков равнялось 79%. В значительной мере КИУМ зависит от программы и длительности работ по технической диагностике на АЭС.

Во время планово-предупредительного ремонта (ППР) мощность реактора не используется для производства энергии. С другой стороны, повышение качества диагностического обслуживания обеспечивает безопасность работы энергоблока АЭС между двумя ППР и способствует снижению вероятности аварийного останова реактора в этот период. Все это время можно использовать для производства энергии. Повышение КИУМ — одна из важнейших задач атомной энергетики. Разумеется, она должна решаться не в ущерб безопасности АЭС, а в том числе и за счет совершенствования диагностического обслуживания станций.

Подсчитано, что за счет применения средств диагностики в машиностроении можно получить увеличение времени эксплуатации оборудования в среднем примерно на 20...25%.

Это значит, например, что если атомный реактор рассчитан на 30 лет эксплуатации, можно получить лишних шесть лет эксплуатации атомной электрической станции. Экономия от применения системы диагностики состояния системы смазки подшипников главных циркуляционных насосов атомной электростанции достигает 1 млн. дол в сутки. Во всяком случае, сэкономленные средства намного превышают затраты на диагностику;

Диагностическое обслуживание оборудования и технических систем атомной энергетики в отличие от диагностики аналогичного оборудования в других отраслях имеет свою специфику. Например, существующие методы диагностики магистральных трубопроводов для транспортирования нефти и газа за разумный период ППР не могут в полном объеме обеспечить дефектоскопический контроль металла и сварных швов трубопроводов. На АЭС протяженность технологических трубопроводов во много раз меньше, и такой проблемы не существует. В то же время зачастую к оборудованию АЭС ограничен доступ персонала из-за того, что оно находится под воздействием интенсивных радиационных полей. Поэтому большое внимание уделяется разработке дистанционных методов диагностики и контроля, а к средствам их реализации предъявляются требования радиационной стойкости.

Для организации диагностического обслуживания оборудования имеет значение также и срок его эксплуатации. Так промышленные трубопроводы в местах добычи нефти и газа обычно эксплуатируются 5-8 лет. В течение этого времени их безопасность может быть относительно легко обеспечена только за счет конструкторско-технологических решений. Объем работ по диагностике в этом случае минимален и сводится к контролю качества монтажа на этапе строительства и ввода трубопроводов в эксплуатацию. В атомной энергетике иная ситуация. Уже сегодня экономически эффективный срок службы будущих энергоблоков АЭС оценивается в 60 и более лет. Это — длительный период, для которого практически невозможно создать удовлетворительную модель старения оборудования и деградации эксплуатационных свойств материалов. Из-за отсутствия опыта создания техники со столь длительными сроками службы выбор технических решений на стадии проектирования сравнительно ограничен. Поэтому дефицит опыта и знаний должен быть компенсирован не только повышением коэффициента запаса прочности и надежности конструкций, но и созданием эффективной системы диагностического обслуживания новых АЭС на всех этапах их жизненного цикла. Технической диагностике при этом отводится роль важнейшего инструмента управления процессом безопасной эксплуатации атомных станций в течение столь длительного времени.

## Общие принципы диагностического обслуживания объектов атомной энергии

Специфика объектов атомной энергетики находит свое отражение и в системе организации их диагностического обслуживания, отличающейся от диагностики объектов неядерной техники. Общие принципы диагностического обслуживания АЭС определяются современной концепцией безопасности атомной энергетики. В ее основу заложено экономически устойчивое и экологически безопасное развитие предприятий атомной промышленности на территории Российской Федерации. В соответствии с этой концепцией **основными целями** Государственных программ по перспективному развитию атомной энергетики являются:

- снижение техногенного воздействия объектов энергетики на окружающую среду;
- обеспечение безопасной эксплуатации действующих объектов атомной энергетики: предприятий, электростанций, хранилищ ядерного топлива, инженерных коммуникаций, транспортных и других систем;
- бесперебойное обеспечение потребителей энергией с соблюдением действующих стандартов безопасности.

При разработке программ учитывались мировые тенденции в развитии атомной энергетики, поэтому в число основных задач указанных программ включены:

- анализ и управление риском эксплуатации объектов использования атомной энергии в течение всего жизненного цикла с учетом их многофакторного воздействия на персонал, население, территории и окружающую среду;
- вероятностный анализ и декларирование безопасности объектов ядерной техники для различных сценариев их эксплуатации с учетом разнообразных вариантов диагностического обслуживания;
- создание современных систем управления, эксплуатационного контроля и технической диагностики с использованием последних достижений в информационных технологиях;
- проведение инженерных и организационных мероприятий по снижению риска тяжелых аварий.

Для достижения заявленных целей потребовалось не только усовершенствовать уже существующие технологии диагностики, но и разрабатывать новую методологию контроля безопасности, прогнозирования долговечности и управления сроками службы объектов

атомной энергетики. Потребовалось изменение правовой и нормативно-технической базы работ по эксплуатационному контролю и диагностике АЭС. Она регулярно пополняется новыми документами — методиками, рекомендациями, стандартами и правилами.

Нормативные документы определяют:

- последовательность и периодичность измерения параметров технологических процессов, алгоритмы определения изменений этих параметров и сравнения их с исходными или априорно установленными допустимыми значениями;
- состав дополняющих друг друга и частично дублирующих систем и средств эксплуатационного контроля и диагностики, включая системы защитных и аварийных блокировок, обеспечивающих заданный уровень риска при эксплуатации объекта ядерной техники;
- критерии формирования аварийных сигналов о недопустимом отклонении характеристик технологических режимов при сохранении устойчивой работы объекта с малой вероятности ложного срабатывания систем аварийной защиты;
- согласование и объединение технических и финансовых мероприятий для обеспечения безопасной и надежной эксплуатации объектов.

В СССР дополнявшие и частично дублировавшие друг друга средства контроля параметров, отражавших отклонение технологических режимов от штатных условий эксплуатации, впервые были использованы на ядерных объектах по производству плутония. В целях предупреждения аварийных ситуаций уже на первом промышленном реакторе технологические каналы, а их было более тысячи, снабжались несколькими системами контроля. Каждая из них контролировала независимые технологические параметры процесса наработки плутония для ядерных зарядов. Регистрировалось как уменьшение, так и увеличение расхода теплоносителя, охлаждавшего урановые блочки, размещенные в каналах реактора.

Уменьшение расхода могло быть связано с появлением какого-либо препятствия на пути теплоносителя и привести к перегреву и плавлению урана — аварийной ситуации с трудно предсказуемыми последствиями.

Причиной увеличения расхода могло быть нарушение герметичности канала из-за прожога стенки или образования сквозной трещины в результате коррозии или механического повреждения. В этом случае теплоноситель (вода) попадал в графитовую кладку, нарушалась однородность энерговыделения по объему реактора. Это усложняло

процесс управления реактором и могло способствовать развитию аварии. Система измерений температуры теплоносителя на выходе канала при ее повышении предупреждала операторов о нарушении условий охлаждения урановых блочков. Дополнительно герметичность каналов контролировалась по изменению влажности воздуха, пропускаемого между наружной поверхностью канала и блоками графитовой кладки реактора.

Для такого контроля потребовалось несколько тысяч датчиков и приборов. В то время промышленность страны не была готова к массовому производству такого измерительного оборудования. Тем не менее, по настоянию И.В. Курчатова описанная система контроля безопасности первого промышленного ядерного реактора была создана. И опыт эксплуатации показал, что благодаря ее надежной работе удалось избежать многих аварийных ситуаций с тяжелыми последствиями.

Требования к составу и структуре систем эксплуатационной диагностики ядерных установок отражены в специальной нормативно-технической документации. Проектная организация для каждого энергоблока АЭС обязана разработать и представить техническое обоснование безопасности.

В обосновании определяются критерии и принципы безопасности, указывается комплекс технических и организационных мероприятий по соблюдению стандартов безопасности. Станция считается безопасной, если техническими средствами и организационными мерами обеспечивается непревышение установленных значений дозы по внутреннему и внешнему облучению ее персонала и населения. Кроме того, содержание радиоактивных веществ в окружающей среде не должно быть выше допустимого как при нормальной эксплуатации станции, так и в случае проектных аварий. Предельно допустимые дозы облучения определяются нормами радиационной безопасности, принятыми на основе законов и нормативных актов Российской Федерации.