

Лекция 26

ПРИНЦИПЫ ОПТИМИЗАЦИИ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Оценка приоритетов

Безаварийность эксплуатации АЭС зависит от своевременности и качества проведения диагностических и ремонтно-профилактических работ на станции. Для оптимизации программы диагностического обслуживания требуется получить ответы на следующие вопросы:

1. Какие аварии могут произойти в период между ближайшими инспекционными проверками?
2. Каковы могут быть последствия и ущерб от аварий?
3. Как часто следует ожидать аварий и отказов оборудования?
4. Как изменится вероятность аварий и отказов, если изменить периодичность инспекционных проверок и диагностических работ?
5. Какова должна быть доля затрат в эксплуатационных расходах на диагностические работы и техобслуживание, чтобы обеспечить социально приемлемый риск эксплуатации АЭС?
6. Какую часть затрат в общем объеме расходов на эксплуатацию и дополнительный контроль составят работы по ликвидации последствий возможных аварий?

Так как материальные и технические ресурсы ограничены, для определения того, какие конструкции и объекты нуждаются в первоочередном обследовании, необходимо их ранжирование по степени надежности. При этом следует принять во внимание и негативные последствия в случае их разрушения или отказов. Оба эти факторы учитываются в показателе риска R , дальнейшего использования объектов при заданных условиях и сроках их будущей эксплуатации. На рис. Л26.1 приведена схема для оптимизации затрат на диагностику с обеспечением приемлемого социального риска эксплуатации объекта использования атомной энергии.



Рис. Л26.1. Схема выбора решения при анализе вариантов диагностического обслуживания АЭС

Риск дальнейшей эксплуатации конструктивных элементов рассчитывается как произведение

$$R_{\Sigma} = P_{\text{раз}} \cdot S_{\Sigma},$$

где $P_{\text{раз}}$ — вероятность разрушения элемента; S_{Σ} — общие потери от аварии и затрат на ее ликвидацию с учетом возмещения причиненного ущерба. Такой метод расчета не противоречит формальному определению промышленного риска, предложенному многими разработчиками нормативных документов.

Расчет $P_{\text{раз}}$ производится следующим образом:

1. Определяют — какие аварийные ситуации могут произойти на объекте.
2. Классифицируют возможные отказы и аварии и оценивают степень тяжести их последствий.
3. Далее выявляют множество исходных событий, инициирующих ту или иную нештатную ситуацию. Следует учесть, что к одному и тому же аварийному инциденту могут привести различные цепочки событий, которые могут протекать как одновременно, так и последовательно во времени.
4. Вначале оцениваются вероятности исходных событий.
5. Далее, в зависимости от сценария развития аварии с учетом временной последовательности событий рассчитывается вероятность разрушения конструкций или оборудования. При вычислении вероятности разрушения металлоконструкций, трубопроводов и сосудов высокого давления, вызванного теми или иными эксплуатационными факторами, используются данные соответствующих прочностных расчетов — на усталостную выносливость, коррозионную и радиационную стойкость и т. п.

Если аварийная ситуация вызвана непрофессиональными действиями персонала, землетрясением, падением самолета и т. п., то есть когда невозможно достоверно рассчитать вероятности событий, используются данные о прошлых чрезвычайных ситуациях на аналогичных отечественных и зарубежных атомных объектах. Оцененные таким образом вероятности экстраполируются на будущий период эксплуатации объектов.

Определение сроков и периодичности диагностического обслуживания

Определив приоритеты, необходимо установить объемы и сроки проведения работ. В настоящее время периодичность контроля оборудования устанавливается на основе опыта эксплуатации АЭС. Однако при этом не учитываются индивидуальные особенности создания

и эксплуатации диагностируемых объектов. Так для АЭС с ВВЭР-1000 проекта В-320 контроль всех однотипных энергоблоков проводится в соответствии с требованиями «Типовой программы контроля механических свойств металла трубопроводов ТПКМЭ-20–96». По этой программе первая процедура неразрушающего контроля должна быть выполнена не позже, чем через 20000 часов работы АЭС, а последующие — не реже, чем через каждые 45000 часов. Контроль механических свойств металла трубопроводов — не реже, чем через каждые 100 тысяч часов эксплуатации.

Принципы, которыми руководствуются разработчики нормативных документов, назначая периодичность контроля оборудования, по нашему мнению, не лишены недостатков. Главный — жесткие сроки обследования. Они назначаются исходя из удобства проведения инспекционных операций во время ППР, которые, в свою очередь, привязываются к циклам перегрузки ядерного топлива. Вторым недостатком — при определении сроков в расчет принимаются некие усредненные характеристики металла конструкций и условия их эксплуатации. Однако для различных объектов они могут существенно различаться. Очевидно, чем меньше учитываются индивидуальные особенности диагностируемых конструкций, тем ниже будет качество результатов оценки их состояния и прогноза долговечности. С другой стороны, положительный момент фиксированных сроков диагностического обследования — совмещение контроля с ППР, что повышает КИУМ энергоблоков АЭС.

Независимо от того, какие принципы будут в будущем приняты за основу, главным требованием к процедурам диагностики останется предотвращения аварийных ситуаций, связанных с переходом контролируемых объектов в предельное состояние. В методических документах указывается, что «...объект может эксплуатироваться до тех пор, пока конструкционный материал, сварные швы и другие соединения не изменили своих физических характеристик до величин, не гарантирующих конструктивным элементам объекта без разрушения выдерживать эксплуатационные нагрузки, в том числе и в аварийных проектных ситуациях». Поэтому объемы и сроки эксплуатационного контроля и инспекционных проверок металла и сварных швов конструкций должны назначаться из условия, чтобы в период между двумя ближайшими проверками вероятность достижения конструкцией предельного состояния для проектных аварий не превышала социально приемлемого значения.

Если же в процессе контроля обнаружены дефекты, которые являются допустимыми согласно установленным браковочным уровням, то сроки следующих проверок и испытаний

должны быть выбраны так, чтобы при любых штатных нагрузках за межконтрольный период размеры выявленных дефектов не достигли критического значения.

Выбор методов и средств диагностики и контроля

Специалистам, занимающимся технической диагностикой и контролем, хорошо известно, что одну и ту же задачу можно решить несколькими различными физическими методами или совокупностью методов. Каждый из методов обладает своими достоинствами, но и не лишен недостатков. При этом всегда существует конечная вероятность ошибочных заключений о состоянии контролируемого объекта или характеристиках имеющихся в нем дефектах. Такие ошибки могут привести к аварийным ситуациям и сопутствующим им материальным потерям. Поэтому, обсуждая проблему выбора методов и средств контроля, следует иметь в виду фактор риска, связанный с этим выбором. На этапе разработки программы диагностического обслуживания целесообразно оценить величину риска условий диагностики. Она определяется затратами применения тех или иных методов контроля или их комбинации, стоимостью работ, зависящей от квалификации исполнителей, сроков и периодичности обследования, а также вероятностью ошибочных решений и связанными с ними потерями. Выразив риск в зависимости от условий диагностики в стоимостных единицах, можно выбрать оптимальный вариант, отвечающий минимальному значению риска.

Таким образом, оптимизация программы работ по диагностике конструкций и оборудования базируется на прогнозе прочностной и эксплуатационной надежности этих объектов в зависимости от объема и частоты диагностического обслуживания. При разработке оптимальной программы необходимо:

- проанализировать данные о фактических характеристиках материала и имеющихся дефектах металлоконструкций или оборудовании;
- проанализировать информацию о термосиловых, коррозионных и других постоянных, периодических и случайных воздействиях на диагностируемый объект в прошедший и будущий периоды эксплуатации;
- с учетом возможных вариантов диагностического обследования рассчитать сроки будущей безопасной эксплуатации объекта и величину риска при заданном уровне надежности, используя результаты обследований по первым двум анализам;

- проранжировать рассмотренные объекты по величине риска, рассчитанного по третьему анализу;
- выбрать оптимальный режим будущей эксплуатации и диагностического обслуживания с приемлемым уровнем риска.

На рис. Л26.2 приведены факторы, которые необходимо учитывать при оптимизации технического и диагностического обслуживания АЭС. Обобщенный алгоритм создания программы работ по диагностике представлен на рис. Л26.3.

Подводя итоги сказанному, отметим, что с математической точки зрения выбор оптимального режима эксплуатации объекта является задачей минимизации затрат предприятия на диагностику, техобслуживание и капитальный ремонт в пространстве параметров: потери предприятия от аварий – затраты на диагностику – величина риска – выгода от эксплуатации. При этом априорно вводится ограничение на размеры экономического ущерба и социального риска от возможных аварийных ситуаций.

В качестве примера на рис. Л26.4 показана зависимость риска эксплуатации и затрат на диагностику трубопровода от периодичности его обследования. Он заключается в нагружении трубопровода повышенным давлением и оценке состояния металла с помощью неразрушающих методов. Здесь же приведены суммарные затраты на эксплуатацию трубопровода с учетом диагностики. Минимум затрат указывает оптимальную периодичность диагностического обслуживания трубопровода. Отметим, что представленный подход может быть принят за основу при определении проектных сроков эксплуатации оборудования и трубопроводов АЭС. В этом случае они будут назначаться не только по результатам прочностных расчетов конструктивных элементов или ресурсным характеристикам оборудования, но и с учетом оптимизированного диагностического обслуживания. Разумеется, помимо изменения системы проведения диагностических работ на станциях, это потребует еще и решения следующих организационно-технических задач:

- паспортизации оборудования и трубопроводных систем в виде, удобном для формирования отраслевых и международных баз данных о фактическом состоянии этих объектов;
- аккредитация специализированных структур для проведения работ по диагностике и лицензирование их деятельности;
- улучшения методического, приборного и инструментального оснащения работ по диагностике и контролю;
- организации метрологического обеспечения процедур технической диагностики;
- совершенствования методов прогнозирования долговечности и назначения новых сроков службы конструктивных элементов и узлов;

- создания технологий восстановления технического состояния объектов, в том числе и измененного в результате диагностических работ;
- организации системы подготовки, переподготовки и аттестации кадров обслуживающего и административного персонала.



Рис. Л26.2. Диаграмма взаимосвязи факторов, определяющих оптимизацию объема и сроков диагностических работ, ремонта, замены оборудования и технического обслуживания

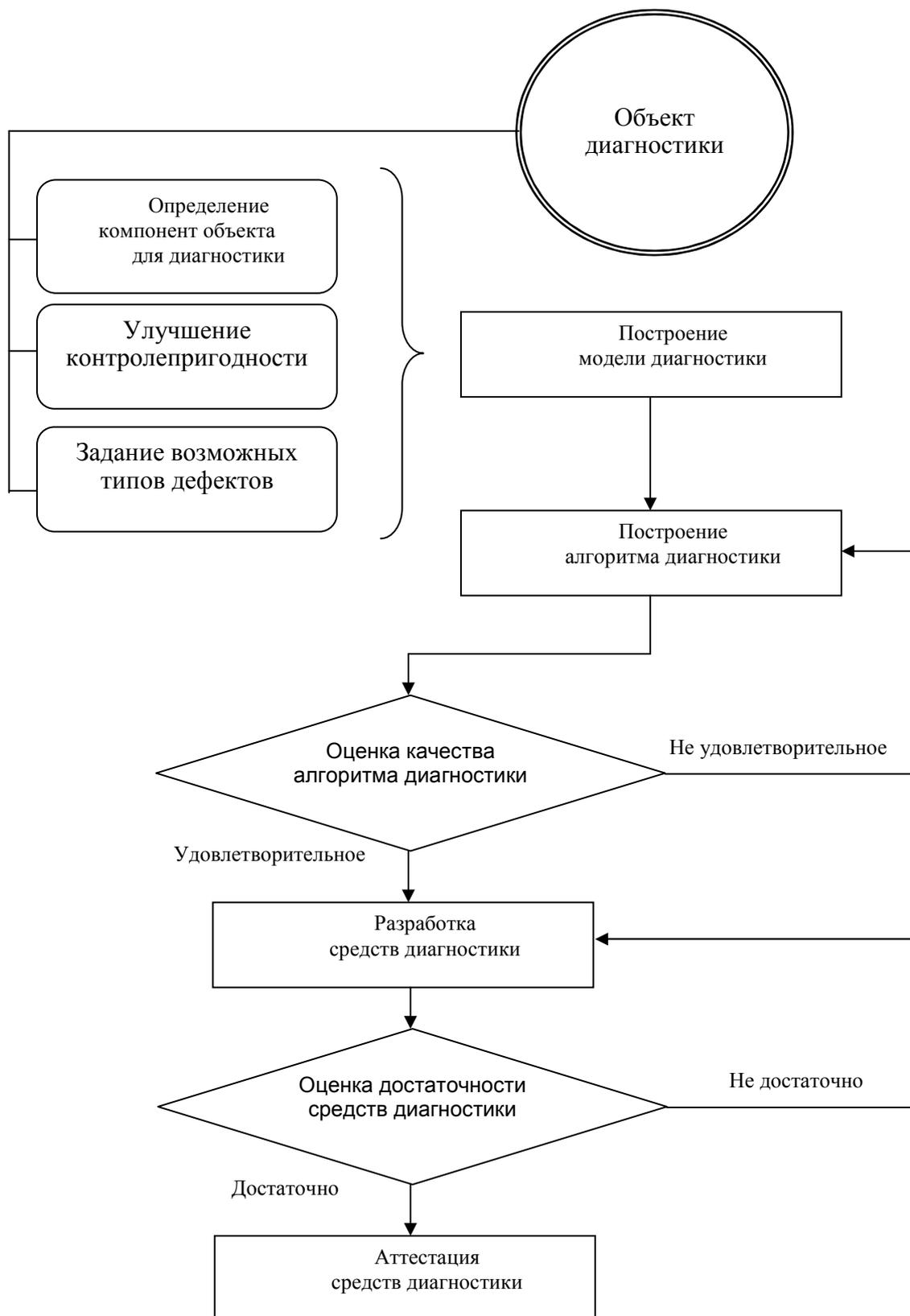


Рис. Л26.3. Обобщенный алгоритм формирования программы работ по диагностике

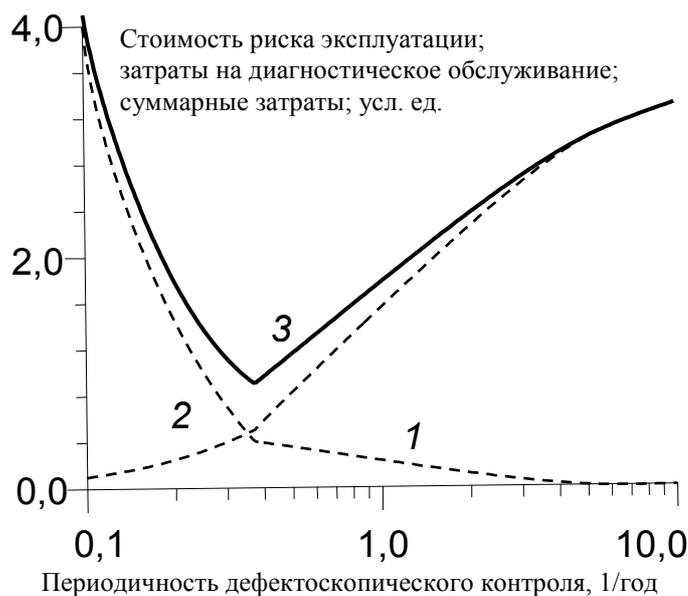


Рис. Л26.4. Зависимость стоимости риска эксплуатации — 1, затрат на диагностическое обслуживание — 2 и суммарных затрат — 3 от периодичности неразрушающего контроля трубопровода

Стратегии диагностического обслуживания

Разрушение сосудов высокого давления и разрывы трубопроводов относятся к категории тяжелых проектных аварий на атомной станции. Поэтому их диагностике и контролю уделяется особое внимание. Статистика результатов обследования показывает, что в металле и сварных швах этих конструкций зачастую имеется заметное количество дефектов. Причиной их появления могут быть нарушения технологии монтажных работ при строительстве станции, а также деградация свойств материалов в процессе эксплуатации. В последнем случае нередко ситуация, когда конфигурация конструкций, форма и местоположение дефектов затрудняют их обнаружение. Поэтому уже на стадии проектирования при выборе конструктивных вариантов размещения и компоновки оборудования необходимо продумать стратегию его диагностического обслуживания.

В зависимости от показателей надежности, закладываемых на этапе проектирования и, главным образом, от условий работы оборудования АЭС можно выделить три стратегии его диагностического обслуживания:

первая — в соответствии с условиями эксплуатации и нормативными требованиями проводится постоянный мониторинг параметров технологического процесса и контроль состояния конструкции или системы;

вторая — в течение всего периода эксплуатации не проводятся какие-либо мероприятия, связанные с инспекционными проверками или диагностическим обследованием;

третья — через определенный период или после нарушения проектных условий эксплуатации проводится диагностика состояния конструкций и оборудования и уточняются прогнозные оценки времени достижения ими предельного состояния.

Первая стратегия, например, принята в штатной системе контроля герметичности технологических каналов уран-графитовых ядерных реакторов.

Вторая — диаметрально противоположна первой. Она распространяется на объекты, работающие в сравнительно щадящих условиях, эксплуатационная надежность которых обеспечена конструкторско-технологическими решениями, контролем на этапе изготовления и монтажа, а также строгим соблюдением регламента эксплуатации.

Третья является комбинацией двух первых и применяется, когда необходимо получить доказательства возможности эксплуатации объектов за пределами назначенного проектного срока службы или при иных обстоятельствах.

Например, известно, что в ходе эксплуатации станции происходят накопление дефектов и деградация служебных свойств материалов конструкций и оборудования. Выбор же конструктивных параметров устройств при проектировании базируется на том, что поврежденность конструкции к моменту выработки проектного ресурса не должна достигать критического значения. Зачастую при этом не учитываются индивидуальные особенности изготовления, монтажа и эксплуатации объектов, существенным образом влияющие на процесс накопления поврежденности материала. В результате складывается такая ситуация, когда некоторые устройства, не выработав ресурс, теряют свою работоспособность, а другие, отработав положенные сроки, еще пригодны к эксплуатации. Установить, какие устройства относятся к той или иной группе, можно только после их детального обследования.

Еще одна проблема — объекты атомной энергетики относятся к объектам длительной эксплуатации, и многие АЭС создавались по нормам и стандартам двадцати–тридцатилетней давности. Так как за это время технические нормы пересмотрены в сторону ужесточения требований безопасности, конструкции, удовлетворявшие старым нормам, формально перешли в категорию, не соответствующую современным требованиям безопасности. Однако многие из них были спроектированы с большим запасом прочности. Ответить на вопрос — допустима ли их дальнейшая эксплуатация — можно только после диагностического обследования и расчета долговечности. В этой ситуации диагностика позволяет избежать нормативного консерватизма в определении работоспособности объектов ядерной техники.

В обоих случаях решение о допустимости дальнейшей эксплуатации принимается после определения фактического состояния конструкций в результате диагностики, то есть применяется третья стратегия диагностического обслуживания.

Профилактика и ремонт в ходе эксплуатации АЭС также являются элементами технического обслуживания. Для этого разрабатываются специальные регламенты, в которых определяются основные показатели этого процесса. При создании регламентов и программ контроля используют также данные о распределении механических напряжений в наиболее нагруженных конструктивных элементах контролируемых объектов.