

Лекция 2

Функциональная схема системы диагностики технических объектов

На рис. 1 показана обобщенная функциональная схема системы диагностики технических объектов.

Для создания эффективной системы диагностики необходимо понимание физической сущности протекающих в диагностируемом объекте процессов, приводящих к появлению диагностических сигналов или изменению их параметров. Поэтому на этапе разработки системы диагностики по результатам исследований строится диагностическая модель объекта, устанавливающая связь между пространством его состояний и пространством характеристик всевозможных диагностических сигналов. Окончательный выбор диагностических параметров проводится после того, как установлена их взаимосвязь с контролируемыми техническими характеристиками объекта, находящегося в том или ином состоянии. Очевидно, что в качестве диагностических следует выбирать лишь те параметры, которые существенно меняются при переходе объекта из одного состояния в другое.

По результатам исследований формируется набор эталонов и правил принятия решений о состоянии диагностируемого объекта, что позволяет формализовать процесс решения диагностических задач. По мере накопления опыта эксплуатации технического объекта его диагностическая модель может уточняться и совершенствоваться.



Рис.1. Функциональная схема системы диагностики технических объектов

Состояние объекта определяется в результате обработки и анализа диагностических сигналов, причем сам объект и элементы диагностической системы, как правило, находятся под влиянием случайных воздействий, помех и шумов. Поэтому процесс оценки состояния носит вероятностный характер, при котором существует конечная вероятность принятия ошибочных решений о состоянии объекта диагностирования.

Поэтому при диагностике особо ответственных объектов следуют принципу «избыточности», когда применение частично дублирующих и взаимодополняющих средств контроля, действие которых основаны на различных физических принципах, позволяет свести вероятность ошибочных решений к допустимому минимуму.

Любая система диагностирования, по сути, является *специфической системой контроля и управления*.

Контроль — процесс сбора и обработки информации с целью определения тех или иных параметров функционирования ТО.

Под *управлением* понимается процесс выработки и проведения целенаправленных или управляющих воздействий на объект. Поэтому для сложных технических объектов и систем вводят обратную связь — систему управления ТО и ТС, которая может менять режимы их работы в зависимости от поставленного диагноза.

Перечень задач при разработке системы диагностики

Разработка системы диагностики включает в себя решение следующих взаимосвязанных задач:

- изучение объекта в целях определения его возможных состояний и определения общего подхода к его диагностированию;
- разработка диагностической модели объекта, выбор диагностических параметров и признаков, критериев состояния и правил принятия решений о состоянии объекта;
- выбор и разработка методов и средств технической диагностики;
- разработка схемы диагностирования, размещения датчиков, линий связи, нестандартного контрольно-измерительного оборудования;
- сертификация методов и средств измерений диагностических параметров;
- разработка алгоритмов обработки первичной диагностической информации и анализа результатов диагностического обследования;

- оценка вероятностей ошибочных решений о состоянии объекта и рисков, связанных с диагностическим обслуживанием;
- разработка метрологического обеспечения диагностических работ, калибровочных операций и функциональной проверки готовности диагностического оборудования к работе;
- верификация процедуры технического диагностирования и интерпретации результатов диагностических измерений;
- обучение и аттестация персонала, связанного с работами по технической диагностике;
- разработка формы представления результатов диагностики, содержащей рекомендации по совершенствованию процедуры диагностического обслуживания.

Необходимым условием создания эффективной диагностической системы является понимание физической сущности протекающих в диагностируемом объекте процессов, приводящих к появлению диагностических сигналов или изменению их параметров. Поэтому создание алгоритмов распознавания существенно облегчается, если построена диагностическая модель, устанавливающая связь между пространством состояний объекта и пространством диагностических признаков.

Представление реального объекта его *диагностической моделью* позволяет формализовать решение диагностических задач, независимо от физической природы объекта.

Диагностическая модель должна **обеспечивать**:

- построение решающей поверхности, т.е. правила разбиения пространства множества состояний на подмножества, соответствующие работоспособным и неработоспособным состояниям;
- различение состояний в указанных подмножествах, т.е. разбиение на более мелкие подмножества, соответствующие различным состояниям, связанным с частичной потерей работоспособности объекта.

Наиболее употребительны

- математические (аналитические, эмпирические, полуэмпирические);
- динамические;
- логические;
- функциональные;

- структурные;
- регрессионные модели.

Одной из важнейших задач является определение системы *диагностических параметров (признаков)*. В простейших случаях постановка диагноза сводится к измерению единственного диагностического параметра и сравнению его с нормативным значением.

Каждая из перечисленных выше задач разделяется на множество более мелких операций, с которыми мы познакомимся в курсе.

Техническая диагностика и проблема оценки остаточного ресурса и риска дальнейшей эксплуатации технических объектов

Данные о фактическом состоянии технических объектов, полученные в результате диагностики, используются для определения их остаточного ресурса и риска дальнейшей эксплуатации.

Разница в оценках срока безопасной эксплуатации объекта по пессимистическим и оптимистическим сценариям (моделям) накопления повреждений может быть в десять и более раз, особенно для трубопроводов, где сроки эксплуатации составляют десятки лет. Это происходит из-за того, что в расчеты закладываются предельные, а не реальные характеристики. Реальную ситуацию поясняет рис. Л2.2.

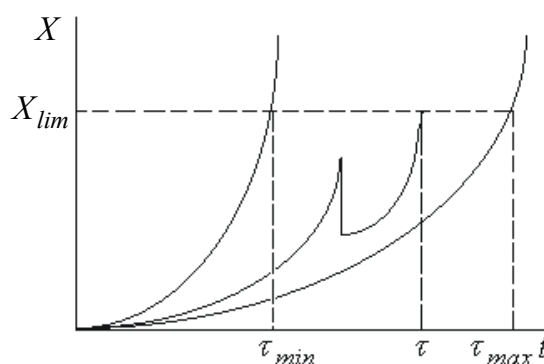


Рис. Л2.2. Пояснение принципа продления срока службы объекта

Если предельное значение некоторого параметра X конструкции составляет X_{lim} , а при проектировании закладывается расчетный ресурс τ_{min} из соображений максимальной безопасности, то диагностика по текущему состоянию позволяет перейти с проектной кривой на кривую с более низким значением параметра X в момент проведения контроля и соответственно бóльшим расчетным ресурсом конструкции τ_{max} .

В связи с этим разрабатываются программы продления срока службы крупных технических объектов за счет внедрения современных средств диагностики. Потенциальную экономическую эффективность их характеризуют такие примеры:

- экономия от применения системы диагностики состояния системы смазки подшипников главных циркуляционных насосов атомной электростанции достигает 1 млн. дол в сутки;
- массовое применение средств технической диагностики в машиностроении эквивалентно увеличению машинного парка на 25%.

Но наиболее серьезной продолжает оставаться роль технической диагностики как средства предотвращения инцидентов и аварий на потенциально опасных объектах, предприятиях, производствах. Здесь риски особенно велики и часто связаны с большими материальными потерями, серьезными экологическими последствиями, человеческими жертвами.

Если оценка и минимизация риска эксплуатации объектов атомной энергетики на начальном этапе ее развития представляли собой исключительно научно-техническую задачу, то в настоящее время по известным причинам она трансформировалась в первостепенную социально-экономическую проблему, от успешного решения которой зависит само существование отрасли.

В более общей постановке — это относительно новая проблема безопасности современной техносферы. Объекты атомной энергетики — существенная часть техносферы, поэтому, говоря о риске их эксплуатации, следует представлять все многочисленные аспекты этого понятия.

Техносфера — искусственная среда обитания, созданная человеком для повышения своей безопасности, в настоящее время сама становится источником потенциальной опасности. Такая ситуация не может не волновать общество, что нашло свое отражение в дискуссиях, развернувшихся на страницах периодических, специальных технических и научно-популярных изданий.

Суть проблемы в общих чертах сводится к следующему. Для улучшения экономических показателей современного производства стремятся увеличить мощность промышленных установок, усложняются сами технологии, а функционирование оборудования все больше зависит от правильности действий персонала, управляющего им. Технические объекты, расположенные в одном регионе, как правило, объединяются сетью коммуникаций в единую технологическую систему. В результате сильнее и разнообразней

становится их влияние друг на друга. Растет плотность населения в индустриальных районах. Все это увеличивает риск и масштаб аварий, а также тяжесть их последствий.

Особенностью развития современной цивилизации является тот факт, что с каждым годом средняя продолжительность жизни человека увеличивается, то есть мир становится безопаснее, а вероятность крупных аварий возрастает.

Обычно аварии предшествует накопление дефектов в оборудовании или отклонение от нормального хода технологических процессов. Эта фаза может длиться минуты, сутки или даже годы. Сами по себе дефекты или отклонения еще не приводят к аварии, но готовят для нее почву. Мировой опыт свидетельствует, что в основе почти всех крупных аварий лежит совпадение ряда очень маловероятных событий плюс ошибки человека. И это вносит большую неопределенность в анализ аварийной ситуации и прогноз ее развития.

Специалисты пришли к выводу, что необходима *теория риска*, — наука, задачи которой не только находить «слабые звенья» в технологических цепочках, но и предсказывать, как будут развиваться события в случае той или иной аварии и как действовать, чтобы предельно уменьшить ее последствия.

В настоящее время традиционная концепция «абсолютной безопасности» стала неадекватна внутренним законам развития техносферы. Эти законы носят вероятностный характер, и нулевая вероятность аварии имеет место лишь в системах, лишенных запасенной энергии, химически и биологически активных компонентов. На остальных же объектах, а таких большинство, вероятность возникновения аварийной ситуации конечна. Их не исключают даже самые дорогостоящие инженерные мероприятия. Можно говорить лишь о снижении риска аварии, но нельзя забывать о том, сколько за это придется заплатить.

Ресурсы любого, даже технологически высокоразвитого, общества ограничены. И если вкладывать неоправданно много средств в системы предотвращения аварий, то в скором времени будем вынуждены столкнуться с такой ситуацией, когда придется урезать финансирование многих социальных программ. Эксперты считают, что при этом, весьма вероятно, в конечном итоге, даже с учетом уменьшившегося риска техногенных катастроф, снизится качество жизни человека и сократится ее средняя продолжительность.

За безопасность техники всегда нужно платить, но после некоторого уровня цена уже не оправдывает достигнутого эффекта.

Человечеству, по-видимому, придется свыкнуться с мыслью, что «слишком безопасная» техника для общества ничуть не лучше опасной. И это необходимо учитывать при выборе *уровня риска*, с которым общество пока вынуждено мириться.

Противники концепции приемлемого риска считают ее аморальной — она, мол, дает право проектировщику заранее планировать аварии на технических объектах с вероятностью ниже приемлемой. Ее же сторонники полагают, что куда более аморально вводить в заблуждение общественность упованиями на недостижимую «абсолютную безопасность».

На уровень безопасности влияют не только и не столько технические, как экономические и социальные решения, принимаемые обществом. Зависимость риска от экономической стратегии носит статистический характер. Решения на основе принятой стратегии развития принимаются для общества в целом. В то же время эти решения не обязательно совпадут с целями и желаниями отдельных групп населения и тем более конкретных людей.

Социологи, например, отмечают, что при эксплуатации АЭС люди требуют значительно большей степени безопасности, чем при использовании автомобильного транспорта, — Чернобыльская катастрофа еще остро переживается обществом. Это объясняется не только осознанием того факта, что авария на АЭС затронет большие группы населения, в том числе их родных и близких, но и неинформированностью людей о реальном уровне риска и психологическими особенностями восприятия разных видов риска.

Такое восприятие может меняться. Но его нельзя быстро корректировать по желанию проектировщиков АЭС, тем более нельзя его игнорировать. Можно только пытаться влиять на него, если делать это очень осторожно и умело с социально-психологической точки зрения. В этом плане заслуживает опыт работы с населением во Франции, в которой доля атомной энергетики составляет примерно 75% в энергетическом балансе страны.

Какой уровень риска считать допустимым — определяется скорее не техническими, а политическими мотивами и зависит от экономических возможностей общества. Например, в Голландии законодательно установлен максимально приемлемый индивидуальный риск равный 10^{-6} в год, то есть вероятность гибели человека в течение года не должна превышать одного шанса из миллиона. Пренебрежимо малым считается риск 10^{-8} в год. Чтобы ощутить этот уровень, укажем, что 10^{-6} — это риск пешехода стать жертвой дорожного происшествия в городе с интенсивным транспортным движением, например в Москве в середине 80-х годов, при условии соблюдения им правил дорожного движения.

В настоящее время выделяют **четыре подхода к проблеме оценки и измерения риска.**

Инженерный подход. Он заключается в изучении статистики поломок и аварий и в вероятностном анализе безопасности всего технического объекта в целом. При этом строятся и рассчитываются деревья отказов и событий. Первые позволяют предсказать, каковы

последствия того или иного отказа, а вторые — установить причины, способные вызвать ту или иную аварийную ситуацию. Построив «деревья», рассчитывают вероятность каждой аварийной ситуации и общую вероятность аварии.

Модельный подход. Согласно этому подходу строятся различные модели для определения влияния вредных факторов на население и окружающую среду. Оцениваются воздействия последствий как при штатной работе объекта, так и в случае возникновения аварийных ситуаций.

Недостатком этих двух подходов является отсутствие надежных исходных данных для проведения численных оценок.

Экспертный подход. Вероятности аварийных ситуаций, оценка их ущерба и последствий определяются в ходе инспекции уже действующих объектов или изучения технической документации на стадии их проектирования. За рубежом существует множество специализированных фирм, использующих те или иные методики проведения экспертизы. Несмотря на очевидный недостаток — неизбежный субъективизм оценок, заключение экспертов является определяющим при получении разрешения на строительство объектов, продолжение их эксплуатации и назначение страховых взносов и выплат.

И, наконец, *социологический подход*, в рамках которого с помощью социологических опросов изучается отношение населения к различным видам риска.

Применение столь разных подходов к оценке риска оправдано, поскольку в тех или иных ситуациях в это понятие вкладывается различный смысл — вероятность аварии, ее последствия или обе эти характеристики. При оценке риска следует учитывать и выгоду, которую получит общество, идя на риск. Бессмысленный риск недопустим, вне зависимости от его малости.

Таким образом, оценка риска — это многокритериальная задача, причем многие ее параметры могут не иметь строгого числового значения. Для ее решения часто используются теории принятия решений и нечетких, или как их еще называют «пушистых», множеств. Для выбора критериев следует привлекать не только экспертов, но представителей всех заинтересованных групп. Открытое обсуждение достоинств и недостатков проектируемых технических объектов, обоснование оценок риска, понятное и неспециалисту, способствует выработке согласованного решения, устраивающего различные заинтересованные стороны. Особо важно учесть мнение различных групп населения, что позволит избежать такой ситуации, когда объект уже построен, а население препятствует его пуску, например в Германии.

Необходимо учитывать, что восприятие риска неспециалистами отличается от представлений о риске экспертов. Если последние, как правило, связывают риск со смертностью от аварий на производстве или с ее экологическими последствиями, то у населения такой непосредственной связи нет. Например, при опросе о степени риска различных технологий население США поставило атомную энергетику на первое место, хотя смертность от нее по оценкам этих же людей стояла на одном из последних мест.

Социологи и специалисты указывают в первую очередь влияние следующих факторов на восприятие риска населением.

Значимость последствий — для оценки риска важную роль играет то, какие потребности человека будут удовлетворены с помощью данной технологии и чем грозит ему аварийная ситуация.

Распределение угрозы во времени — люди относятся терпимее к частым, но мелким авариям, чем к редким катастрофам с большим числом жертв. При этом суммарные потери в первом случае могут быть намного больше, чем во втором. В дорожно-транспортных происшествиях во всем мире ежегодно гибнет огромное число людей. Однако никто не призывает передвигаться только пешком или пересечь на велосипеды, хотя полезность такого мероприятия по иным причинам несомненна.

Контролируемость — человек готов идти на большую степень риска в ситуации, когда он может предпринять какие-то меры для предотвращения негативных последствий, когда многое зависит от его личных действий, а не только от стечения внешних обстоятельств.

Добровольность — люди могут примириться с риском в тысячу раз большим, если он принят ими добровольно, а не навязан извне. Кроме того, необходимо иметь в виду, что общество проявляет большую терпимость к старым, хорошо известным технологиям, чем к новым, о которых оно мало знает.

Даже фрагментарное знакомство с современными представлениями о риске и методах его оценки дает представление, какой комплекс взаимосвязанных факторов приходится учитывать при создании системы безопасности ядерных энергетических установок.

Характер рисков в энергетике и роль технической диагностики в обеспечении безопасности объектов энергетики

Наиболее опасными при эксплуатации крупных энергетических объектов являются экстремальные ситуации. Учитывая требования энергетической безопасности, целесообразно всю совокупность экстремальных условий разделить на *ординарные* и *неординарные*.

Ординарные экстремальные условия связаны с весьма вероятными возмущениями (отказами, авариями), которые определяются общей надежностью системы энергоснабжения. Для компенсации последствий таких возмущений предусматриваются различные формы резервирования мощностей для производства и передачи энергии на объекты различного назначения. Нормативы на различные виды такого резервирования хорошо проработаны и учитываются в моделях систем энергоснабжения.

Уникальные по происхождению и масштабам *неординарные* экстремальные события имеют малые вероятности возникновения, нормативные требования к надежности энергоснабжения потребителей при таких событиях, как правило, отсутствуют. Тем не менее, предусматриваются дополнительные мероприятия для компенсации, хотя бы частичной, последствий неординарных событий. Часто такие мероприятия сводятся опять-таки к резервированию.

Риски, которые приходится учитывать, имея в виду возможность возникновения чрезвычайных ситуаций, можно разделить на несколько категорий.

1. *Экономический риск*, причем, как у потенциальных инвесторов в энергетику, так и у потребителей энергоресурсов.

Экономические риски у потребителей связаны с неопределенностью цен и тарифов на энергоресурсы, а также неопределенностью гарантий поставок энергоресурсов. Снижение этих рисков обеспечивается, прежде всего, резервированием источников энергоснабжения путем сооружения собственных установок по производству энергоресурсов, причем неопределенность условий, как и в предыдущем случае, стимулирует предпочтение небольшим, быстро вводимым и быстро окупающимся мощностям. Снижение экономических рисков у потребителей, как и в случае с инвесторами, обеспечивается гарантиями государства, страховых фондов, банков и других финансовых структур.

2. *Экологический риск*. Его формируют две основные составляющие: долговременное негативное экологическое влияние объектов энергетики и «залповые» выбросы в окружающую среду при чрезвычайных ситуациях на энергетических объектах.

Экологический риск должен оцениваться при экологической экспертизе соответствующих энергетических проектов и интегральной оценки экологического воздействия энергетических объектов на окружающую среду и человека.

Для обеспечения требуемого уровня экологической безопасности и снижения экологического риска, связанного с ядерной энергетикой, разработка программ энергоснабжения должна включать оптимизацию выбора решений, касающихся вновь вводимых энергетических объектов. Необходимо предусматривать дополнительные мероприятия, направленные на снижение негативного воздействия объектов энергетики на окружающую среду региона.

3. Риск *чрезвычайных* ситуаций в ядерной энергетике. Причинами чрезвычайных ситуаций в энергетике могут быть природные факторы (землетрясения, наводнения и т. д.), либо факторы техногенного характера (крупные аварии на энергетических объектах и в системах энергетики, аварии на неэнергетических объектах, последствия которых распространяются и на энергетику).

Последствия чрезвычайных ситуаций могут выражаться:

- в возникновении перерывов или ограничений энергоснабжения потребителей различной продолжительности;
- в возникновении «залповых» выбросов вредных веществ в окружающую среду;
- в больших затратах финансовых и материальных ресурсов на ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций и восстановление функционирования энергетических объектов и систем.

4. *Социальные* риски. Результаты преобразований в энергетическом секторе регионов могут существенным образом отразиться на их социальной сфере. В частности, они могут вызвать:

- снижение комфортности условий жизни людей, увеличение заболеваемости, уменьшение продолжительности жизни;
- резкие изменения на рынке труда (рост безработицы вследствие структурных преобразований в энергетике региона или сокращения промышленного производства по энергетическим причинам);
- изменение социальной (и политической) стабильности в регионе.

Первопричинами существенных изменений в социальной сфере региона могут быть

- чрезмерно высокие тарифы на тепло, электроэнергию и топливо;

- перерывы в энергоснабжении населения региона вследствие недостаточной надежности энергетических систем, а также внешних воздействий;
- значительные структурные изменения в энергетике региона, влекущие за собой резкие изменения на рынке труда;
- негативные экологические воздействия энергетики на людей и окружающую среду;
- чрезвычайные ситуации на энергетических объектах и в системах энергоснабжения региона.

Процедура анализа рисков разделяется **на два этапа**:

- сначала проводится анализ чувствительности, когда основные критерии оценки эффективности проекта проверяются изменением тех или иных значений исходных данных;
- затем подготавливается прогноз ситуации и обосновываются допустимые изменения критических факторов; этот этап анализа рисков обычно проводится в форме анализа сценариев.

На основе анализа рисков прорабатывается экономическая часть контрактов проекта, где предусматриваются различные способы диверсификации риска: фиксирование цены, фиксирование объемов поставок и т. д.

Комплекс мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций включает в себя:

- экспертизу проектов потенциально опасных объектов;
- декларирование безопасности промышленных объектов;
- лицензирование видов деятельности, связанной с проектированием и эксплуатацией объектов повышенного риска;
- государственный надзор технической безопасности на всех этапах создания, эксплуатации и снятия с эксплуатации объектов;
- страхование риска.

В связи с изложенным следует заметить, что применение средств диагностики является не только вынужденной мерой, без которой безопасная и надежная эксплуатация крупных объектов энергетики невозможна, но и экономически целесообразной стратегической линией. Информация о фактическом состоянии объектов, агрегатов и узлов АЭС, получаемая с помощью диагностики, служит базой для принятия управленческих решений о ремонте, замене, выводе из эксплуатации, изменении режимов работы энергоблоков и станции в целом. При этом снижаются издержки производства за счет

предотвращенного ущерба от аварий и отказов, снижения эксплуатационных расходов путем проведения выборочного ремонта вместо сплошного.