

Лекция 28

ОСНОВЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ОЦЕНКИ РЕСУРСА ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Безопасность, системная надежность и экологическая приемлемость ОИАЭ во многом определяется достижениями, промахами успехами и неудачами при выполнении практических работ по диагностике текущего технического состояния и прогнозированию сроков будущей безаварийной службы этих объектов.

Задача практической диагностики – обеспечение, организация и проведение качественных работ по диагностическому обслуживанию объектов контролируемого использования атомной энергии. В настоящее время в использовании полезных свойств атомной энергии можно выделить пять основных направлений:

1. Гражданская энергетика — производства электроэнергии, горячей воды и пара. (На сладе 1 показана общая панорама Воронежской АЭС, на сладе 2 показано географическое размещение и мощностные характеристики российских атомных электрических станций – АЭС.)

2. Транспорт - в основном ледокольный флот и морские суда особо крупного водоизмещения. В табл. Л28.1 показаны данные о гражданском атомном флоте России.

3. Получение изотопов для целей здравоохранения и производство оборудования медицинского назначения.

4. Получение изотопов для оборудования, применяемого для технической диагностики изделий и сооружений, стерилизации пищевых продуктов и других гражданских целей, в том числе для проведения научных исследований.

5. Обеспечение обороноспособности и национальной безопасности страны.

Таблица Л28.1. Технические характеристики атомных судов

| Длина Мах., м | Ширина Мах., м | Водоиз- мещение, Т | Пропуль- сивная мощность, МВт | Кол-во и номин. мощность реакторов, МВт | Тип АППУ | Скорость хода | Ледо- прохо- димость, м | Авто- номность плавания, мес. |
|--|-------------------|-----------------------|-------------------------------------|---|--------------------|------------------|-------------------------------|--|
| Атомный ледокол "Ленин" Год сдачи в эксплуатацию: 1959 Место постройки: Санкт-Петербург (Ленинград), Адмиралтейский завод Первая установка имела в своем составе 3 реактора, после модернизации в 1970 году - 2 реактора | | | | | | | | |
| 134,0 | 27,6 | 19420 | 32,0 | 3x90 (2x159)* | ОК-150 (ОК-900) | 18,0 | | |
| Атомный ледокол "Арктика" Год сдачи в эксплуатацию: 1975 Место постройки: Санкт-Петербург (Ленинград), Балтийский завод | | | | | | | | |
| 148,0 | 30,0 | 23000 | 54,0 | 2x171 | ОК-900 | 18,0 | 2,0 | 7,5 |
| Атомный ледокол "Сибирь" Год сдачи в эксплуатацию: 1978 Место постройки: Санкт-Петербург (Ленинград), Балтийский завод | | | | | | | | |
| 148,0 | 30,0 | 23000 | 54,0 | 2x171 | ОК-900 | 20,6 | 2,0 | 7,5 |
| Атомный ледокол "Россия" Год сдачи в эксплуатацию: 1985 Место постройки: Санкт-Петербург (Ленинград), Балтийский завод | | | | | | | | |
| 148,0 | 30,0 | 23000 | 54,0 | 2x171 | ОК-900 | 20,6 | 2,0 | 7,5 |
| Атомный ледокол "Таймыр" Год сдачи в эксплуатацию: 1988 Место постройки: Хельсинки, верфь Марин. ЯЭУ-С. - Балтийский завод | | | | | | | | |
| 151,8 | 29,2 | 21000 | 35,0 | 1x171 | КЛТ-40 | 18,5 | 1,77 | 7,5 |
| Лихтеровоз "Севморпуть" Год сдачи в эксплуатацию: 1988 Место постройки: Керчь, завод "Залив" | | | | | | | | |
| 260,1 | 32,2 | 61000 | 32,5 | 1x135 | КЛТ-40 | | | |
| Атомный ледокол "Советский союз" Год сдачи в эксплуатацию: 1989 Место постройки: Санкт-Петербург (Ленинград), Балтийский завод | | | | | | | | |
| 148,0 | 30,0 | 23000 | 54,0 | 2x171 | ОК-900 | 20,6 | 2,0 | 7,5 |
| Атомный ледокол "Вайгач" Год сдачи в эксплуатацию: 1990 Место постройки: Хельсинки, верфь Марин. ЯЭУ-С. - Балтийский завод | | | | | | | | |
| 151,8 | 29,2 | 21000 | 35,0 | 1x171 | КЛТ-40 | 18,5 | 1,77 | 7,5 |
| Атомный ледокол "Ямал" Год сдачи в эксплуатацию: 1992 Место постройки: Санкт-Петербург (Ленинград), Балтийский завод | | | | | | | | |
| 148,0 | 30,0 | 23000 | 54,0 | 2x171 | ОК-900 | 20,6 | 2,0 | 7,5 |
| Атомный ледокол "50 лет Победы" Год сдачи в эксплуатацию: 2007 Место постройки: Санкт-Петербург, Балтийский завод | | | | | | | | |
| 159,6 | 30,0 | 25168 | 54,0 | 2x171 | ОК-900А | 18,6 | 2,8 | 7,5 |

Организация и проведение работ по практической диагностики технического состояния ОИАЭ не могут быть рассмотрены без анализа вопроса о текущем использовании атомной энергии в стране и мире. Применение и назначение ОИАЭ в гражданской энергетике поясняется на рис. Л28.1, показанном на сладе 6. Здесь цифрой 1 обозначено начало спирального процесса – получение природного сырья для производства ядерных делящихся

материалов. Цифрой 10 обозначено хранилище высокоактивных и долгоживущих радиоактивных отходов, которые образовались в процессе добычи, переработки, использование природного сырья для ядерных материалов и радиоактивных веществ, а также оборудование, которое было использовано в технологическом процессе получения электричества и тепла из природного сырья. Следует заметить, что практическая диагностика ОИАЭ захватывает все важные вопросы безопасного использования атомной энергии. Например, на первом этапе - добыче сырья, это - диагностика технического состояния основного и вспомогательного оборудования. В частности, для урановых шахт это - диагностика подъемно-транспортных устройств, крепи, работоспособности контрольных и измерительных приборов, приборов автоматики, например, автоматизированной системы пожаротушения и много другого. Важность и актуальность вопросов практической диагностики технического состояния ОИАЭ поясняется табл. Л28.2. Из этой таблицы следует, что доля атомной энергии в топливно-энергетических балансах многих стран весьма значительна. Поэтому вопросы технической диагностики, безопасности и надежности энергетических ОИАЭ являются актуальными для многих стран мира. На слэде 8 показаны прогнозы развития электроэнергетики на период до 2050 года. Следует помнить, что энергетические ОИАЭ имеют ограниченный срок проектной службы. Исчерпание проектного ресурса действующих энергоблоков АЭС России без учета его продления показаны на рис Л.28.1. Перспективы развития атомной энергетики согласно энергетической стратегии РФ до 2020 года состоят в следующем:

- производство электроэнергии на АЭС — более 230 млрд. кВт ч;
- рост установленных мощностей — более 35 Г Вт;
- необходим ввод новых мощностей — более 16 Г Вт
(с учетом вывода из эксплуатации 4 Г Вт).

Отсюда формулируется важная для экономики страны задача - ввод новых мощностей энергогенерации ОИАЭ не менее 1 Г Вт в год.

Таблица Л28.2. СТРУКТУРА УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПО РЕГИОНАМ МИРА, ГВт/%

| Регион | ТЭС | ГЭС | АЭС | Другие электростанции | Сумма |
|----------------------------------|---------|--------|--------|-----------------------|--------|
| Северная Америка | 612 | 175 | 109 | 19 | 924/29 |
| Центральная и Южная Америка | 60 | 109 | 2 | 3 | 173/5 |
| Западная Европа | 338 | 141 | 127 | 7 | 613/19 |
| Центральная Европа и бывший СССР | 298 | 81 | 48 | 0 | 427/13 |
| Россия | 148 | 45 | 22 | 0 | 215/7 |
| Средний Восток | 95 | 4 | 0 | 0 | 99/3 |
| Африка | 71 | 21 | 2 | 0 | 94/3 |
| Дальний Восток и Океания | 625 | 153 | 67 | 4 | 849/27 |
| Мир в целом | 2110/66 | 683/24 | 354/11 | 33/2 | 3180 |

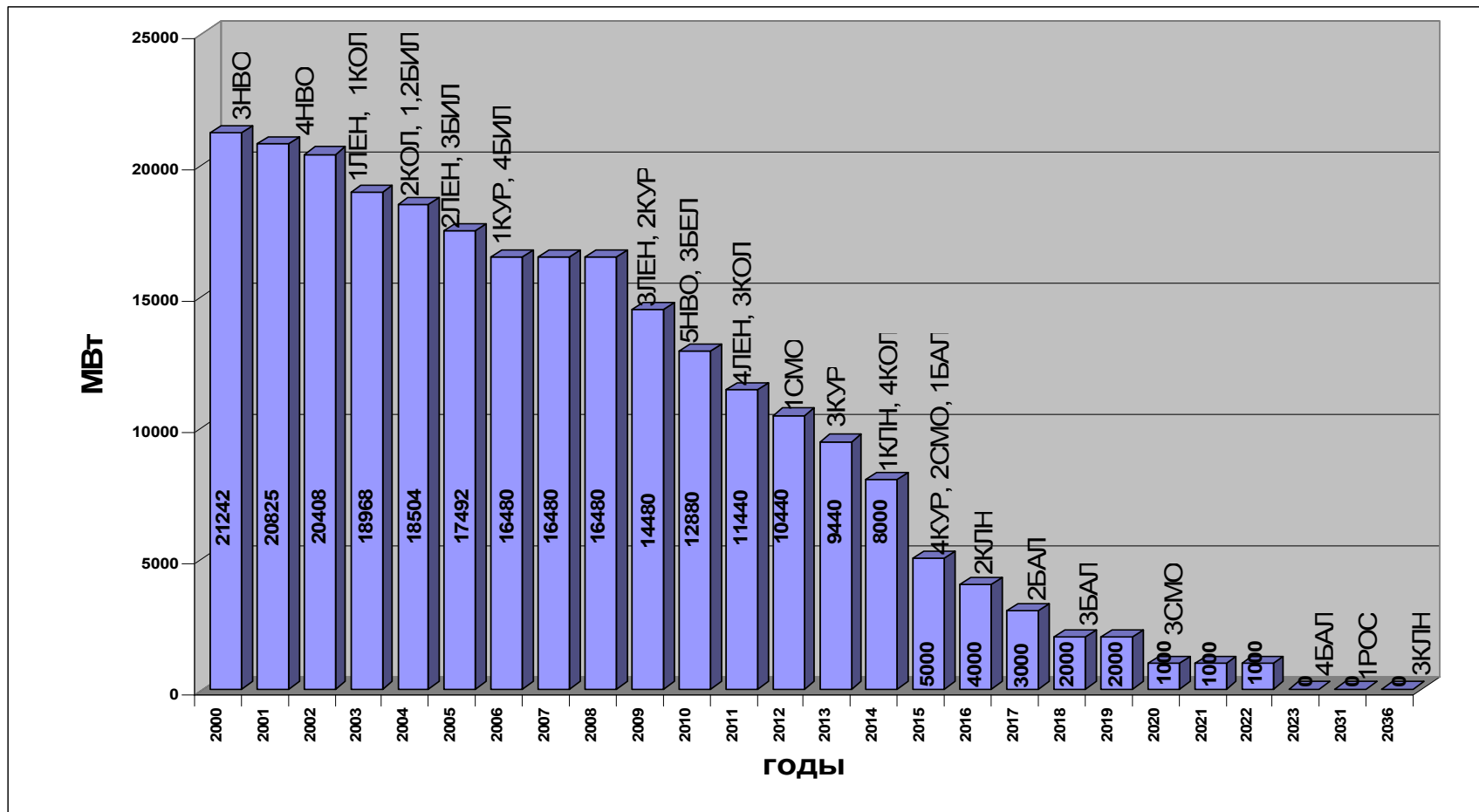


Рис. Л.28.1. Исчерпание проектного ресурса действующих энергоблоков АЭС России без учета продленного срока

Исходя из сказанного выше, роль практической диагностики для решения проблем надежности и безопасности ОИАЭ сводится к следующему, см. табл. Л28.3.(слайд 9).

Таблица 28.3. **Целевая роль практической диагностики ОИАЭ**

| № п/п | Целевое назначение мониторинга технического состояния и диагностики безопасности ОИАЭ |
|-------|---|
| 1. | Подтверждение гарантий безопасности и социально приемлемого уровня риска промышленного использования атомной энергии — предельное состояние: вероятность реализации 10 ⁻⁸ случаев смерти для населения в районе размещения ОИАЭ в пересчете на одного человека за один год эксплуатации одного объекта |
| 2. | Мониторинг безопасного состояния ОИАЭ |
| 3. | Прогнозирование возможных сроков безопасной и экономически целесообразного периода эксплуатации ОИАЭ |
| 4. | Обоснования создания, эксплуатации, изменения условий эксплуатации (развития) и прекращения эксплуатации ОИАЭ |
| 5. | Создание благоприятных условий для обеспечения энергетической и других видов национальной безопасности страны |

В целом ОИАЭ представляют собой различные по своей сложности сооружения, изделия и конструкции. В настоящее время специалистами, занятыми решением проблем практической диагностики ОИАЭ, принята следующая условная классификация этих объектов, (слайд 10):

1. Объекты добычи сырья для ядерных делящихся и радиационных материалов.
2. Промышленные объекты для получения полезных изотопов и ядерного топлива.
3. Объекты генерации тепловой и электрической энергии.
4. Объекты транспорта.
5. Объекты медицинского назначения.
6. Объекты сбора, временного хранения, утилизации и захоронения ядерных и радиационных материалов, изделий и отходов.
7. Объекты для обеспечения национальной безопасности.
8. Автономные объекты и источники питания для обеспечения дальней связи и навигации.
9. Другие объекты.

Практическая диагностика при создании, эксплуатации и выводе из эксплуатации различных типов ОИАЭ включает типовой состав процессов и процедур диагностического обслуживания. Специфику технических и технологических понятий, процессов диагностического, технического обслуживания ОИАЭ на любом этапе их жизненного цикла

поясняют специальные глоссарии, (слайд 11). Например, вводится следующее определение практической технической диагностики, (слайд 12):

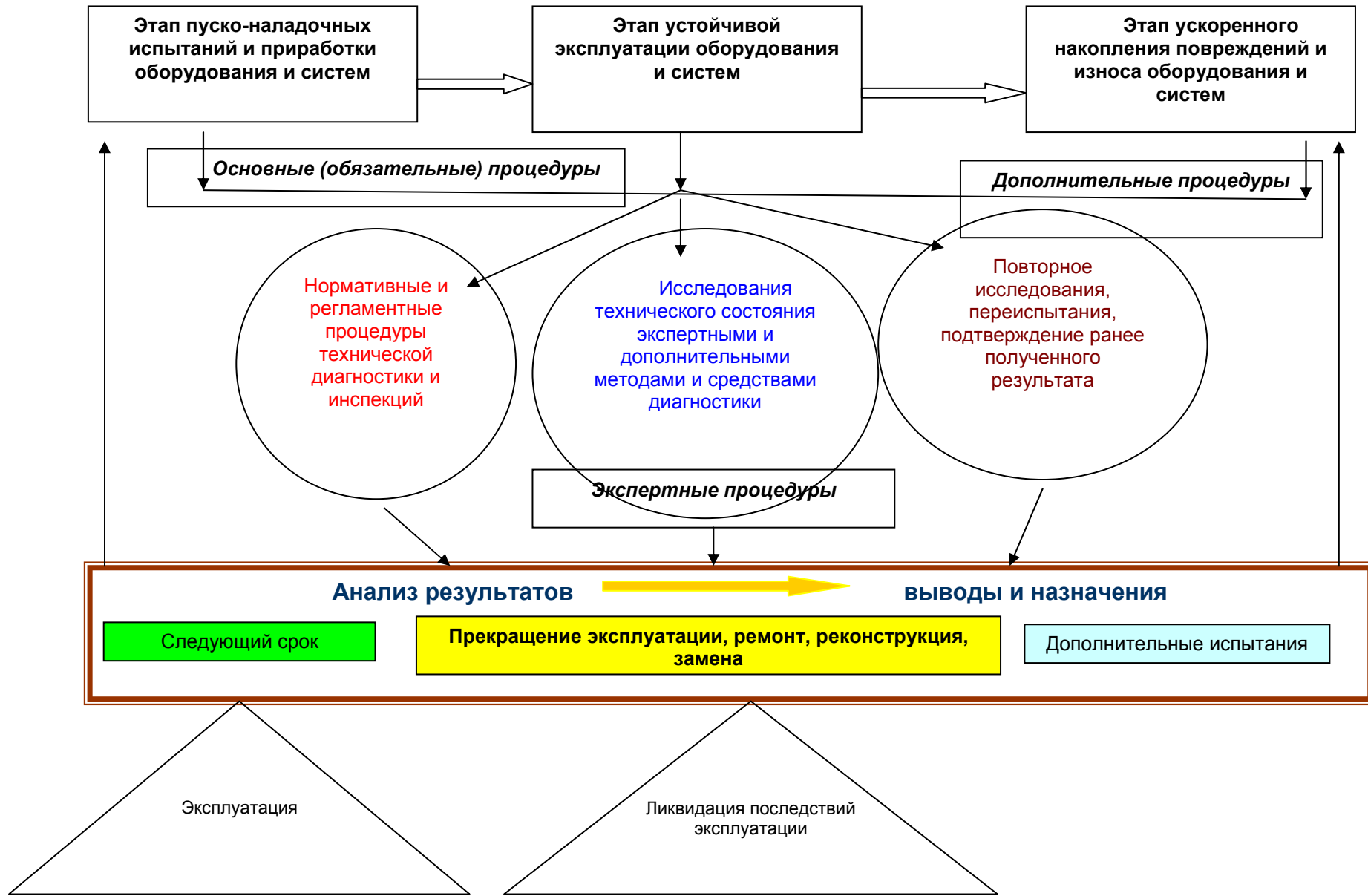
Практическая техническая диагностика ОИАЭ — раздел науки, изучающей признаки и последствия процессов старения материалов и конструкций, инженерных систем и изделий ядерной техники и ядерных энергетических установок в процессе их длительной эксплуатации.

Техническая диагностика ОИАЭ устанавливает методы и принципы, при помощи которых определяется техническое состояние изучаемого объекта, устанавливает характеристики и количественные показатели, необходимые для выполнения прогнозных оценок о долговечности и сроке безопасной и надежной службы данного объекта или исследования и объяснения причин аварий.

Практическая техническая диагностика ОИАЭ - системный процесс, в котором задействованы различные группы, среди которых:

- организации и предприятия, подведомственные концерну «Росатом»;
- организации и предприятия, подведомственные Ростехнадзору, деятельность которых связана с надзором за безопасностью ОИАЭ;
- организации эксплуатирующие ОИАЭ;
- научные и образовательные учреждения, деятельность которых связана с проектированием, созданием, эксплуатацией и ликвидации негативных последствий эксплуатации ОИАЭ;
- предприятия всех форм собственности, создающих продукцию и оказывающих услуги для ОИАЭ.

Эти участники общего процесса обеспечивают выполнение типового состава процессов и процедур диагностического обслуживания ОИАЭ, рис. Л.28.2. Следует отметить, что практическая диагностика ОИАЭ состоит из обязательных рабочих (нормативных) процедур и процедур, которые носят сугубо дополнительный исследовательский характер. К первым, например, относятся процедуры мониторинга и контроля служебных характеристик ОИАЭ, важных для их ядерной и радиационной безопасности. К дополнительным рабочим процедурам диагностирования ОИАЭ можно отнести все комплексные инженерные обследования, выполняемые для получения гарантий безопасной эксплуатации ОИАЭ за пределами проектного срока эксплуатации.



Проанализировав международную, национальные и отечественную нормативные базы, относящиеся к решению проблем диагностического обслуживания ОИАЭ, а также используемые способы и устройства их реализации, можно выделить следующие основные *рабочие процедуры* диагностирования:

- инспектирование;
- сквозной контроль;
- формализованные описания;
- символическое выполнение;
- проверка программ безопасности;
- имитационное моделирование по методу прототипа;
- качественное определение параметров безопасности и надежности с помощью метрик и стандартных образцов;
- испытания (тестирование);
- реализации процедуры на базе методов инженерного анализа радиационной, ядерной и промышленной безопасности.

В настоящее время для обеспечения безопасных условий эксплуатации ОИАЭ созданы специализированные системы мониторинга и контроля. Например, для ядерных энергетических установок с ВВЭР-1000 разработана специализированная система внутриреакторного контроля — СВРК. Этой системой оснащены все энергоблоки АЭС с ВВЭР. СВРК является основным средством мониторинга процессов в активной зоне и важной частью технического обоснования безопасной эксплуатации энергоблока. Это – открытая, постоянно развивающаяся и совершенствующая система. Например, в последнее время с целью исключения отрицательных воздействий человеческого фактора, увеличению КИУМ и экономичности внедряемых топливных циклов на базе традиционной СВРК создана модификация этой системы - СВРК-М. Ее новыми диагностическими функциями СВРК-М являются:

- обеспечение проверки правильности загрузки активной зоны;
- обеспечение управления мощностью и распределением энерговыделения в активной зоне;
- подтверждение расчетной оценки выгорания ТВС в процессе топливной кампании;
- подтверждение соблюдения проектных ограничений по эксплуатации топлива;

- обеспечение тарировки внезонного нейтронного контроля;
- подтверждение соблюдения эксплуатационных пределов и условий.

На СВРК-М возлагается решение следующих задач:

- оперативный контроль нейтронно-физических и теплогидравлических параметров активной зоны, первого и второго контуров энергоблока, включая крупносеточный (уровень ТВС) и потвэльный контроль активной зоны;
- контроль тепловой мощности реактора;
- формирование сигналов аварийной и предупредительной защиты (ПЗ-1, ПЗ-2) по локальным параметрам активной зоны (энерговыведение ТВЭЛ, запас до кризиса теплообмена);
- обнаружение выхода параметров, определяющих эксплуатационные пределы и пределы безопасной эксплуатации РУ, за допустимые значения и сигнализация об этом персоналу с целью предотвращения развития аварии и исключения повреждения активной зоны и основного оборудования РУ;
- создание архива данных по истории эксплуатации активной зоны и основного оборудования РУ;
- информационная поддержка персонала по ходу эксплуатации активной зоны, в первую очередь по оптимальной эксплуатации активной зоны при ксеноновых переходных процессах;
- передача информации в смежные системы АСУТП для решения из задач;
- самодиагностика технических и программных средств.

Исходя из назначения и решаемых задач, СВРК-М была классифицирована как система важная для безопасности (класс ЗН по ОПБ-88/97), имеющая в своем составе элементы систем безопасности (2НУ по ОПБ-88/97), элементы систем важных для безопасности (класс ЗН по ОПБ-88/97) и элементы систем нормальной эксплуатации (4Н).

Структурная схема СВРК-М представлена на рис. Л28.3 (слайд 14). СВРК-М включает в свой состав:

- первичные преобразователи;
- кабельные линии связи;
- измерительная аппаратура (ПТК-НУ);
- вычислительные средства верхнего уровня;
- локальная вычислительная сеть.

Первичные преобразователи СВРК-М состоят из внутриреакторных датчиков нейтронного потока типа ДПЗ и датчиков температуры на входе и выходе из ТВС (термопары типа «К»), а также датчиков температуры теплоносителя в холодных и горячих нитках петель первого контура энергоблока (термометры сопротивления и термопары типа «К»). Кроме того, в СВРК поступает ряд сигналов от общестанционных датчиков. В целом количество входных сигналов превышает 800. В состав линии связи входят кабели для передачи сигналов от первичных преобразователей и кабели между составными частями СВРК-М.

Измерительная аппаратура СВРК-М построена на устройстве информационно-измерительном УИ-174Р-представителе типоразмерного ряда аппаратуры СВРК (Гиндукуш-М) для АЭС с РУ типа ВВЭР. Данная аппаратура является результатом воплощения технических решений, проверенных большим опытом эксплуатации СВРК на АЭС. УИ-174Р представляет собой программный контроллер, работающий под управлением собственной программы функционирования. В УИ-174Р применен принцип программно-управляемой магистрально модульной структуры. УИ-174Р обеспечивает выполнение следующих функций:

- прием и предварительная обработка сигналов от первичных преобразователей;
- оперативное запоминание информации;
- арифметическая и логическая обработка информации;
- проведение необходимых расчетов;
- выдача дискретных сигналов типа «сухой» контакт.

Данный элемент СВРК-М классифицирован как оборудование систем безопасности, так как оно выполняет защитные (АЗ) и управляющие (ПЗ-1, ПЗ-2) функции.

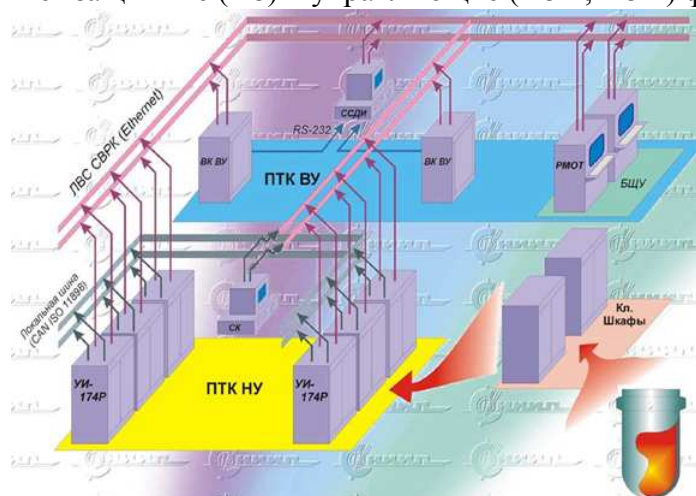


Рис. Л28.3. Структурная схема СВРК-М

Верхний уровень СВРК-М представляет собой промышленные вычислительные комплексы, функционирующие под управлением операционной системы Linux. В состав верхнего уровня СВРК-М входят:

- дублированный вычислительный комплекс (ВК) с процессорными модулями устройств отображения информации на БПУ (РМОТ);
- сервисная станция дежурного инженера (ССДИ);
- станция контроля измерительной аппаратуры СВРК-М (СК-НУ).

Особенности технической платформы верхнего уровня СВРК-М:

- проработанная архитектура открытых систем, которая дает возможность создания современных и перспективных решений на базе широко используемых стандартов (стандарты для прикладного ПО-POSIX1, 1.в, 1.с и др., операционная система семейства Linux, процессор Intel или др.);
- наиболее технологические промышленные конструктивы и оборудование, которые обеспечивают надежность, ремонтпригодность, устойчивость к внешним воздействиям;
- процессорные модули на базе процессоров Intel 64-битной архитектуры, которые обеспечивают высокую производительность.

Верхний уровень СВРК-М предназначен для выполнения следующих основных параметров:

- прием из аппаратуры измеренной, расчетной и диагностической информации;
- расчет тепловой мощности активной зоны;
- восстановление поля энерговыделения в объеме активной зоны (уровень ТВС) и выявление наиболее напряженных участков активной зоны;
- расчет энерговыделения ТВЭЛ в объеме активной зоны, включая выявление наиболее энергонапряженных ТВЭЛ;
- определение нуклидного состава в объеме активной зоны с учетом динамики развития процессов выгорания топлива, отравления ксеноном и самарием;
- корректировка коэффициентов связи линейных энерговыделений с тонами ДПЗ;
- формирование и передача по команде и под контролем персонала настроечной информации в аппаратуру СВРК-М;
- контроль метрологических характеристик СВРК-М;

- представление информации ВИУР о текущем состоянии активной зоны, в том числе информации о превышении установок;
- выполнение сервисных функций;
- обмен информацией со смежными системами;
- контроль и диагностику технических и программных средств СВРК-М.

Данная часть СВРК-М классифицирована как оборудование систем важных для безопасности, содержащее, в том числе, элементы систем нормальной эксплуатации. Основой для выполнения функций СВРК-М являются:

- прямые измерения нейтронно-физических, теплогидравлических и других параметров;
- расчет не измеряемых технологических параметров;
- расчет различных показателей для оценки текущего состояния активной зоны;
- базы данных, включающие информацию об объекте;
- программное обеспечение, содержащее нейтронно-физические, теплогидравлические и другие модели, описывающие процессы в активной зоне.

Основные обеспечивающие базы типовых и экспертных процессов и процедур диагностического обслуживания ОИАЭ включают, (слайд 15):

1. Нормативно-правовую базу.
2. Научно-методическую базу.
3. Инженерно-техническую базу.
4. Производственную базу.
5. Образовательную базу.
6. Систему управления качеством мониторинга технического состояния и безопасности, диагностического обслуживания ОИАЭ.
7. Специализированные обеспечивающие базы:
 - метрологического обслуживания;
 - информационного обеспечения;
 - сертификации и аттестации методических и технических средств диагностического обслуживания;

- верификации и валидации методических, программных и иных средств, в том числе и математического обеспечения для вычислительных машин и компьютерных сетей;
- другие.

Основы системы управления качеством практического диагностического обслуживания ОИАЭ - фундамент успеха всего технического и эксплуатационного обслуживания объектов атомной энергии. Система менеджмента качества диагностического обслуживания ОИАЭ базируется на:

- политике государства в сфере радиационной, ядерной и промышленной безопасности;
- Национальной доктрине энергетической безопасности Российской Федерации;
- международных программах по обеспечению безопасности ядерной техники и технологий, радиоактивных и делящихся материалов, в том числе и программах МАГАТЭ;
- законодательной базе, определяющей порядок лицензирования деятельности в сфере использования атомной энергии, подготовки специалистов и аккредитации учреждений, связанных с производством изделий и оказанием услуг для нужд диагностического обслуживания ОИАЭ;
- системном подходе к обеспечению качества мониторинга и прогнозирования безопасности и надежности объектов использования атомной энергии для жизнеобеспечения людей;
- анализе состояния рынка инженерных и научных услуг в области диагностического обслуживания ОИАЭ;
- заинтересованности всех субъектов, имеющих отношение к ядерной энергетике и ее безопасности, к качеству услуг и продукции в сфере диагностического обслуживания ОИАЭ.

Структура концепции системы управления качеством практического диагностического обслуживания ОИАЭ показана на слайде 16.

В настоящем разделе курса рассматриваются типовые решения проблемных задач диагностического обслуживания ОИАЭ в современных условиях.