# Конспект занятия 2.

## Цель.

Познакомить слушателей с областью технических приложений и разделами курса, требованиями при проверке знаний. Рассмотреть вопросы организации работ по стандартизации реакторных испытаний в отрасли, принятые и стандартизованные термины и определения.

## План.

1. Элементы активной зоны ядерного реактора и реакторные испытания.
2. Разделы курса и требования при проверке знаний.
3. Принципы организации работ по стандартизации реакторных испытаний в отрасли.
4. Термины и определения. Словарь терминов и определений.

Эксплуатационные параметры АЭС в значительной степени опре­деляются работоспособностью тепловыделяющих элементов (твэлов), характеристики которых зависят от свойств оболочки и ядерного топлива, конструкции твэла и технологии его изготовления.

Снижение затрат в процессе разработки твэлов удается достигнуть при использовании расчетных программ опреде­ления их работоспособности. Использование в программах расчета феноменологических характеристик материалов требует экспериментального исследования последних в режимах, близких к режимам эксплуатации материалов в твэлах. Знание этих характеристик особенно важно для разработчиков твэлов.

Малые радиальные габариты экспериментальных каналов исследовательских реакторов, внутренние тепловыделения в элементах конструкции экспериментальных уст­ройств и исследуемом образце, влияние излучения на первичные преобразователи измеряемых величин и, наконец, повышенные тре­бования к надежности экспериментальных устройств - все эти фак­торы определяют разработку методов и средств исследования свойств материалов при воздействии излучения как сложную и самостоя­тельную техническую проблему, решение которой необходимо для разработки ядерно-энергетических установок.

Созданию нового реактора предшествует значительная экспериментальная и расчётная работа:

1. Физические расчёты активной зоны.
2. Определение общей компоновки активной зоны и реактора в целом.
3. Расчёт и экспериментальная проверка условий теплообмена.
4. Расчёт и экспериментальная проверка элементов конструкции.

Таблица 3.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметры | БРЕСТ-1200 | БН-600 |
| Электрическая мощность, МВт | 1200 | 600 |
| Диаметр твэла, мм | 9.1-10.4 | 5,5-6,5 |
| Топливо | UN-PuN | UO2-PuO2 |
| Объёмное тепловыделение, МВт/л | 0,15 | 1 |
| Теплоноситель | Pb | Na |
| Скорость теплоносителя, м/сек. | 1,6 | 10 |
| Температура оболочки, К | 920 | 1050 |
| Температура входа/выхода теплоносителя, К | 690/810 | 700/900 |

В последний пункт входит решение, пожалуй, наиболее слож­ной и ответственной технической задачи: разработка основного элемента конст­рукции реактора, его тепловыделяющего элемента (твэла).

При разработке твэла необходимо:

- провести значительные технологические проработки как отдельных элементов его конструкции (оболочка, сердечник, компенсаторы объема, элементы стыковки), так и твэла в целом.

- испытать надежность и жизнеспособность конструкции твэла, так как это фактически определяет работу всего реактора.

- учитывать в процессе проектирования и разработки изме­нения свойств материалов в реальных условиях работы.

В таб.3 представлены некоторые характеристики твэлов РБН: проектируемого БРЕСТ – 1200 (Быстрый Реактор ЕСТественной безопасности) и действующего БН-600 (реактор на Быстрых Нейтронах).

В этих реакторах используется твэл цилиндрической формы. Только на первый взгляд конструкция твэла кажется достаточно простой.

Действительно, конструкцию представляют всего два основных элемента: топливный сердечник и цилиндрическая оболочка, одна­ко, реальная работа твэла определяется весьма сложными явлениями массообмена, высокими уровнями температур, их градиентами, а также механическими напряжениями и реологическими свойствами топлива и оболочки.

Многие из перечисленных процессов непосредственно связаны с интенсивностью потоков излучений и флюенсом. На рис.3 схематически представлен далеко не полный перечень задач расчетного и экспериментального характера, которые необ­ходимо решить при разработке конструкции твэла.

Значительная часть ответов, которые необходимы разработчику твэлов, может быть найдена только в результате постановки реакторного экспе­римента, так как на ряд физических процессов, протекающих в твэле, существенно влияет излучение. Схематическое, весьма не полное, представление о связях физико-механических свойств топлива и оболочки с процессами в твэле представлено на слайде (Рис.3).

При проектировании необходимо учитывать:

1. Рабочие температуры при подборе материалов.
2. Распухание топлива и оболочки под действием излучения.
3. Газовыделение из топлива.
4. Изменение теплофизических характеристик в процессе об­лучения.
5. Изменение прочностных характеристик сердечника и оболочки в процессе облучения.

Основным условием жизнедеятельности твэла является герме­тичность оболочки, на которую действуют:

1. Термические напряжения.
2. Напряжения от давления газообразных продуктов деления.
3. Напряжения от воздействия распухающего сердечника. Эти напряжения возрастают со временем и фактически являются определяющими при выборе толщины оболочки. Их величина за­висит от длительных прочностных характеристик материала сердечника и оболочки, которые изменяют свои свойства в процессе об­лучения. Ползучесть топлива является положительным фактором, т.к. приводит к разгрузке оболочки из-за направленного перемещения топлива в центральную полость твэла.
4. Потоки излучения, под действием которых материал оболочки становится хрупким и теряет пластичность.
5. Некоторые прочностные свойства материалов зависят от интенсивности потоков излучений.

Теплопроводность

оболочки

Физические характеристики реактора, распределение энерговыделений, поле температуры в твэле.

Контактное термическое сопротивление топливо-оболочка

Характеристики

упругости топлива

Характеристики

упругости оболочки

Формирование структуры сердечника. Температурные напряжения в топливе и оболочке.

Пластические свойства топлива

Пластические свойства оболочки

Механическое взаимодействие топлива и оболочки.

Размерная нестабильность топлива.

Размерная нестабильность оболочки.

Работоспособность твэла.

Газовыделение в топливе.

Газовыделение в оболочке.

Давление газов под оболочкой.

Совместимость топлива

и оболочки.

Коррозионные

свойства топлива

Коррозионные

свойства оболочки.

Теплопроводность топлива.

Эксперимент

Эксперимент и расчёт

Расчёт

Рис.3. Схематическое представление о связях физико-механических свойств топлива и оболочки с процессами в твэле.

Учебный курс « Экспериментальная реакторная физика» знакомит с основными принципами разработки, расчета и эксплуатации экспери­ментальных устройств для исследований свойств мате­риалов и изделий ядерной техники при воздействии реакторного излучения.

В программу курса включены следующие разделы:

1. Стандартизация в реакторном эксперименте. Термины и определения. Классификация реакторных испытаний.

2. Исследовательский ядерный реактор как источник излучения для реакторных испытаний.

3. Конструирование и расчет экспериментальных устройств.

4. Конструкционные материалы для облучательных устройств.

Доступность электронных версий учебного курса «Экспериментальная реакторная физика» и учебного пособия « Техника реакторного эксперимента» дает возможность часть важных разделов курса проработать слушателями самостоятельно, что высвобождает время лекционных и практических занятий:

- для обсуждения конкретных приложений курса в решении задач радиационной физики твер­дого тела, радиационном материаловедении и разработке практи­ческих вопросов создания элементов и конструкций ЯЭУ;

- для рассмотрения современных и проблемных задач в поста­новке реакторных испытаний;

- для развития у слушателей дискуссионных навыков;

- для фронтального опроса по самостоятельно изученному ма­териалу;

Понятие - "Реакторные и стендовые испытания" - это установ­ленное ОСТ95842-80 определение: радиационные и другие испытания в ядерном реакторе.

Рассмотрим данное определение. В отличие от радиационных испытаний (испытания, при которых основным видом воздействия на объект испытаний является ионизирующее излучение - ГОСТ 16504-74) реакторные определяют местоположение проводимых испытаний, но одновременно включают в себя испытания в реакторе, но при от­сутствии излучения. Этим подчеркивается важность для реакторных испытаний проведения сравнительного анализа результатов в идентичных условиях, т.е. вне и в поле излучения.

Рассмотрим кратко историю вопроса. Реакторные испытания как исследовательское направление сложились в результате интен­сивного развития реакторостроения в целом, т.е. для целей энергетики и получения и применения изотопов.

Появление первых реакторов в 50-х годах поставило задачи создания новых поколений реакторов и соответственно проблему испытания их элементов в условиях, приближенных к рабочим. Так появились реакторные испытания твэлов (тепловыделяющих элементов) и тепловыделяющих оборок (ТВС).

Этот первый период в большей степени характеризуется именно экспериментальным определением "времени жизни" элемента конструкции ядерного реактора.

Более поздний этап уже ставит задачи исследования свойств материалов, составляющих элементы ядерного реактора. Основная задача этого периода развития реакторных испытаний - оценить итог (результат) изменения того или иного свойства и на основа­нии этого сделать выводы о возможном поведении разрабатываемой конструкции в рабочих условиях.

Этот этап характеризуется комплексным подходом к проблеме долговечности реакторных элементов. Он сложился на базе широко­го развития ЭВМ и численных методов решения задач прочности. Для этого этапа характерно создание математических моделей на­дежности работы элементов, оценки значимости для модели того или иного свойства материала и соответственно постановки задач реакторных испытаний в соответствии с указанными требованиями.

Для последнего этапа характерна наиболее глубокая проработка требований к реакторным испытаниям, в частности, проведение исследований в процессе облучения, т.е. необходимость определения того, как меняются характеристики материала при наличии или отсутствии потока излучения и его интенсивность.

Вышеизложенное не претендует на полную и точную историческую справку. Представляется, что в этом вопросе трудно дать четкие границы без глубокого анализа и по датам и по качествен­ным параметрам тех или иных видов реакторных испытаний, так как имеются примеры появления необходимых условий постановки тех или иных видов испытаний в зависимости от насущных, конкретных задач промышленности.

Как правило, в каждом новом научном направлении имеется период многообразия методов исследования, и он нужен. Именно в этот период рождаются на первый взгляд невероятные проекты и методики исследований. Такой период характерен и для развития реакторных испытаний в нашей стране. Позднее этот период сменяется появлением типичных, наиболее совершенных методик и необходимостью разработки стандартов.

В 1980 году было принято решение о проведении государственной и отраслевой стандартизации методик и экспериментальных средств реакторных испытаний. Появление такого решения стало насущным из-за промышленного, массового применения в народном хозяйстве ядерных реакторов в области энергетики, необходимости их совершенствования и обеспечение программ их расчета достоверной, единооб­разной информацией о свойствах материалов в реальных режимах работы.

Головной организацией по комплексной стандартизации методов,  
облучательных устройств и технических требований к реакторным и  
стендовым испытаниям назначен Научно-исследовательский институт  
атомных реакторов (НИИАР) в городе Димитровграде .

Разработана и выполняется программа комплексной стандартизации методов, облучательных устройств и технических требований к реакторным и стендовым испытаниям.

Созданы рабочие группы по разбору и рекомендации для утверждения на Координационном научно-техническом совете (КНТС) ГОСТов, ОСТов, "Руководящих указаний", "Технических условий" - и другой нормативной документации. Рабочие группы делятся на временные, создаваемые для решения какого-то одного важного общего методического вопроса реакторных испытаний и постояннодействующие, которые рассматривают и рекомендуют материалы для утверждения на КНТС.

Например:

к временнодействующим относятся группы:

- по измерению флюенса;

- по измерению температуры;

- по разработке и уточнению рубрикатора методик.

к постояннодействуючщим относятся группы:

-методик исследования физических и механических свойств ядерного топлива;

-методик физико-механических испытаний конструкционных материалов;

- по неразрушающему контролю твэлов и ТВС.

Ниже представлены определения, сопутствующие и поясняющие терминологию в реакторных испытаниях.

**Ядерный реактор**- устройство, предназначенное для организации и поддержания управляемой цепной реакции деления ядер. ГОСТ-23082-78.

**Радиационные испытания**- испытания, при которых основным видом воздействия на объект испытаний является ионизирующее излучение. ГОСТ-16504-74.

**Реакторные испытания**- радиационные и другие испытания в ядерном реакторе. ОСТ- 95842-80.

**Облучательное устройство ядерного реактора**- устройство, устанавливаемое в канал или активную зону ядерного реактора, предназначенное для облучения объекта испытаний. ОСТ-95842-80.

**Испытательный стенд**- совокупность устройств или установок, предназначенная для изучения работоспособности отдельных компонентов

ядерных энергетических установок и(или) вспомогательного оборудования в условиях, максимально приближенных к условиям их работы в составе разработанных ядерных энергетических установок. ОСТ-9542-80.

**Реакторный стенд**- испытательный стенд установок ядерной энерготехники, включающий в себя экспериментальный реактор. ОСТ-9542-80.

**Пассивный метод реакторных испытаний** (Пассивные испытания)- реакторные испытания без измерения свойств объекта испытаний под облучением. ОСТ-9542-80.

**Активный метод реакторных испытаний** (Активные испытания)- реакторные испытания с измерением свойств объекта под облучением с воздействием или без воздействия на эти свойства. ОСТ-9542-80 .

**Метрологическое обеспечение**- установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений. ГОСТ-125-76.

**Метод испытаний, контроля**- совокупность правил применения определенных принципов для осуществления испытаний, контроля. ГОСТ- 16504-74.

**Метод измерений**- совокупность приемов использования принципов и средств измерений. ГОСТ -16263-70.

**Единство измерений**- состояние измерений, при которых их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью. ГОСТ -16263-70.

**Методика выполнения измерений (МВИ)**- совокупность метода, средств, процедуры и условий подготовки и проведения измерений, а также правил обработки результатов наблюдений, необходимых для выполнения данного измерения. Измерительная техника. N10. 1972г. стр. 70.

**Стандартизация и аттестация методик выполнения измерений**- регламентирование требований к методам, средствам и алгоритмам выполнения измерений, применение которых в определенных (нормативных) условиях обеспечит заданные значения показателей точности этих измерений. ГОСТ-8010-72.

**Метрологическая аттестация МВИ** - исследования, направленные на определение значений показателей точности измерений, выполняемых в соответствии с данной методикой. ГОСТ-8010-72.