# Конспект занятия 4.

## Цель.

Предложить одну из возможных классификаций реакторных испытаний и привести пример реализации пассивной и активной методики испытаний.

## План.

1. Классификаций реакторных испытаний.
2. Пример реализации пассивной и активной методик испытаний.

Фактически классификацией реакторных испытаний мы начали заниматься еще в предыдущем разделе, рассматривая вопросы стан­дартизации. Примером классификации является рубрикатор каталога методик.

 Любую классификацию, по-видимому, следует рассматривать как, достаточно, подвижную форму упорядочения наших представлений. Именно поэтому ее не следует считать законченной и устоявшейся. К представленной ниже классификации необ­ходимо относиться как к одному из многих возможных вариантов, который может дополняться и уточняться.

 Все реакторные испытания (1) в соответствии с ОСТом делят­ся на пассивные (2) и активные (3) (рис.1.2).

Классификационным, дополнительным признаком облучательного устройства примем способы достижения, измерения, поддержания (стабилизации в частном случае) температурного режима облучения объекта испытаний (образца).

Облучательные устройства (4) в соответствии с выбранным признаком можно разделить весьма условно на шесть групп.

Устройства, в которых не производится контроль температуры облучаемого объекта (объектов) (5). Как правило, облучательные устройства без контроля температуры облучения рассчитаны на массовое облучение образцов в хорошо контролируемых условиях облучения. Последнее предполагает расчетное определение температуры облучения, иногда со значительной погрешностью по отношению к возможной измеряемой величине. Активные реакторные испытания без контроля температуры, как правило, не проводятся.

 Облучательные устройства с контролем температуры (6) в большинстве случаев оснащаются термоэлектрическими преобразо­вателями различного типа, наибольшее применение для реакторных испытании нашли термопары.

Под устройствами с регулированием температуры (7) следует понимать все те, которые не оговариваются пунктами (8,9,10) предлагаемой схемы. Существует большой класс устройств, в кото­рых весьма простыми методами удается регулировать и изменять в ограниченных пределах температуру облучения испытуемых объектов. Можно рассмотреть два способа регулирования температуры в про­цессе реакторных испытаний: изменением термического сопротивления на пути теплового потока от объекта испытаний к внешней среде и изменением внутренних тепловыделений в устройстве при варьировании потока излучений. Возможна и комбинация указанных способов.

1.Реакторные испытания.

2.Пассивные

3.Активные

4.Облучательные устройства

5.Без контроля температуры

6.С контролем температуры

7.С регулированием температуры

8.С нагревателем

9.С охлаждением

10.С криостатом

11.Транспортное оборудование реактора

12.Хранилище реактора

13.Защитная камера реактора

14.Транспортное оборудование защитной камеры реактора

15.Испытательное оборудование защитной камеры

16.Экспериментальные результаты

Рис.1.2. Стадии получения экспериментальных результатов при пассивных и активных реакторных испытаниях и пример классификации облучательных устройств по способам достижения заданной температуры испытаний.

 Облучательные устройства с внутренним нагревателем (8) обладают одним существенным преимуществом, так как с помощью них возможно проведение сравнительных испытаний на одном образце вне и в поле излучения при заданной температуре. Это позволяет непосредственно выявить эффекты динамического воздействия излу­чения на исследуемую характеристику.

К облучательным устройствам с охлаждением (9) следует отнести петлевые каналы исследовательских реакторов, в которых возможно моделировать условия теплообмена и облучения в созда­ваемых и модернизируемых реакторах.

Проведение исследований в криостатах (10) или в низкотемпературных петлевых каналах представляют значительный интерес для фундаментального изучения влияния излучения на радиационные дефекты в твердом теле, так как при низких температурах затруднен температурный отжиг дефектов, возникающих за счет радиаци­онного облучения. Низкотемпературное облучение необходимо также при исследовании поведения сверхпроводников в радиационных полях.

Позиции с (11) по (16) схемы рис.1.2 показывают последовательность технологических операций при получении информации в реакторном эксперименте.

Необходимо обратить внимание на следующее:

 I. Итоговая информация при пассивных реакторных испытаниях получается только при прохождении облучательных устройств с образцами всего технологического цикла и при этом испытательное оборудование должно располагаться в защитных камерах.

2. Полезная информация при активных реакторных испытаниях получается в процессе воздействии излучения на образец. При наличии защитных камер и необходимого испытательного оборудования в них, можно получить дополнительную информацию, используя схему пассивных испытаний.

 Таким образом, активные методы реакторных испытаний могут быть использованы на исследовательских реакторах, которые не имеют комплекса защитных камер или эти комплексы в недостаточной степени оснащены необходимым оборудованием.

Нужно отметить также, что большая информативность активных реакторных испытаний требует значи­тельной предварительной проработки на стадии НИР и ОКР, кроме того их эксплуатация обходится дороже.

**2.** Примером пассивной и активной методики испытаний могут служить исследования, проведенные в Окриджской национальной лаборатории (США) по определению радиационной совместимости графита с расплавленными солями NaF- ZrF4 - U F4 или

LiF-BeF2-UF4 , которые намечались в качестве топлива и теплоносителя реактора MSRЕ.

 *Примечание. Проект реактора MSRЕ заманчивая альтернатива твердотельным твэлам. Жидкий теплоноситель-топливо решает ряд серьезных трудностей, связанных с использованием твердотельных твэлов:*

*- механические напряжения в топливе и оболочке.*

*- размерная нестабильность топлива.*

*- перегрузка реактора и другие.*

*Имеются значительные трудности и в проекте MSRЕ. Одна из таких задач решалась постановкой реакторных экспериментов.*

*Сначала, проведением пассивных испытаний и затем, вынужденным использованием активной методики.*

 В этом поиске достаточно ярко представлена разница в качестве получаемой информации при актив­ных и пассивных реакторных испытаниях.

В реакторе MSRE содержится в соответствии с проектом 6420 т графита. Возможно, что в результате взаимодействия гра­фита с солью, может быть проникновение топлива в графит и недопустимое постепенное, плохо контролируемое, увеличение концентрации урана в активной зоне реактора.

 В лабораторных условиях была проверена возможность химической реакции:

4 UF4 + C = CF4 + 4 UF3

Равновесие реакции наблюдалось при давлении CF4 ~ 10-2 Па. Концентрация четырехфтористого углерода над системой графит- cоль составила ~ 0,0001 %, что меньше предела чувствительности масспектрометра.

Испытания в лабораторных условиях, таким образом, не выявили никаких препятствий в применении графита с солью.

В 1959 году были проведены первые опыты по определению смачиваемости графита с солью в радиационных условиях на ампулах типа 1 (рис.1.З.) в канале реактора МТR при энерговыделении в соли qv = 200 Вт/см3, что в 5 раз больше, чем в проекте реактора MSRE .

Выяснено:

1.Графит не смачивается солью.

2.Не наблюдается радиационных повреждений графита.

 Получен также совершенно неожиданный результат:

1.В гелии, который заполнял ампулы, содержалось значительное количество ­CF4 , а в необлученных (контрольных) ампулах он отсутствовал.

2.В гелии содержался криптон, но отсутствовал ксенон.

3.Соль имела интенсивно черную окраску.

Объяснить полученные результаты не представлялось возможным.

 Вторая серия экспериментов была предпринята в 1962 году на двух типах ампул (рис.1.3,1.4).

На облучение были поставлены 2 ампулы I типа (рис.1.3.) и

4 ампулы II (рис.1.4.) типа, которые облучались в реакторе МТR в течение 3-х кампа­ний (удельное энерговыделение колебалось от 43 до 260 Вт/см3).

Ампулы изучались после 3-х месячной выдержки, и снова был получен неожиданный результат (в одной из ампул с наименьшей дозой облучения):

Рис.1.3. Облучательное

устройство для

пострадиационных

исследований.

1.Крышка.

2.Ампула.

3.Тигель из графита.

4.Расплав соли.

5.Гелиевый зазор.

6.Защитное гелиевое

пространство.

7.Место для вскрытия

ампулы.

1

2

3

4

 5

6

 1

 2

3

5

6

7

8

9

10

11

Рис.1.4. Облучательное

устройство для

активных

реакторных испытаний.

1.Термопара.

2. Чехол термопары.

3. Патрубок для

заполнения

ампулы.

4. Патрубок для отбора

проб.

5. Крышка.

6. Место для вскрытия

ампулы.

7. Корпус ампулы.

8. Защитное гелиевое

пространство.

9. Расплав соли.

10.Графитовая втулка.

11. Центрирующий

стержень с днищем

ампулы.

4

 7

1.Содержалось значительное количество CF4;

 2.Расчетное количество криптона и ксенона;

3.Расплав интенсивно черного цвета.

 Контрольные ампулы выдерживались при той же температуре, что в реакторе, и не содержали CF4 .

Таким образом, ни контроль температуры, ни новая серия экспериментов не внесли ясности в исследуемое явление.

 Результаты были объяснены после третьей серии экспериментов на ампулах 2-го типа с выводными трубками, что позволяло про­водить отбор проб как в процессе облучения в реакторе (активная методика), так и после облучения. Выяснилось, что при работе реактора на полной мощности образования CF4 не происходит, появление газов было обнаружено после остывания до 65 °С и через несколько часов, т.е. при гамма-облучении paсплава. Уменьшение выделений газов было связано со спадом активности.

 Аналогичные явления были обнаружены впоследствии при облучении соли гамма-квантами источника Со-60. Высказываются предположения, что гамма-излучение является катализатором реакции при определенной температуре.