# Конспект занятия 17.

## Цель.

Рассмотреть взаимосвязи систем и устройств стенда для исследования физико-механических свойств ядерного топлива, технологические операции с облучательными устройствами и испытуемыми образцами. Представить облучательные устройства в составе стенда, их возможности по исследованию свойств ядерного топлива, области изменения параметров при испытании топливных композиций. Познакомить слушателей с результатами научных исследований, полученных при эксплуатации стендов, и их ролью в подготовке научных кадров. Ознакомить с тематикой заключительной части курса.

## План.

1. Взаимосвязи систем и устройств стенда для исследования физико-механических свойств ядерного топлива

2. Технологические операции с облучательными устройствами и испытуемыми образцами.

3. Облучательные устройства стенда.

4. Направления работ, научные результаты, подготовка научных кадров.

5. О заключительной части курса.

Рассмотрим оснащение стенда первичными преобразователями измеряемых величин и вторичной аппаратурой для регистрации и обработки сигналов. Нас будут также интересовать конкретные экспериментальные устройства стенда и системы обеспечивающие эксперимент.

На рис. 2 схематически показаны взаимосвязи систем, экспериментальные устройства и измерительное оборудование стенда.

Реакторный стенд (1) включает в себя реактор (2), экспериментальные устройства (13), аналоговую систему измерения физических параметров (3), информационно-измерительную систему (ИСС) на базе ЭВМ (4), систему обеспечения эксперимента (5). Все эти системы и экспериментальные установки в результате взаимодействия позволяют получить информацию об объекте испытаний, обработать её (6) и получить конечный результат в виде зависимостей или цифрового материала об изучаемом свойстве.

Реакторный стенд **1**

Реактор ИРТ-МИФИ **2**

Система измерения физических величин **3**

Информационно-

измерительная система **4**

Время испытаний:

- таймер ЭВМ

-развертка самописца

-частотомер **7**

Акустическая эмиссия (АЭ) :

- АЭ регистратор с амплитудным и частотным анализатором.

- система связи с ЭВМ. **8**

Электрофизические свойства, термопары, тензорезисторы:

-самопишущие мосты и потенциометры

- цифровые ампервольтметры

- связь с ЭВМ. **9**

Механическая нагрузка (УЗ колебания), давление газа-носителя (заполнителя):

- нагружающая система- манометры

-расходомеры,перепадометры. **10**

Поток излучения, концентрация ГПД :

- термонейтронные датчики.

- γ- мониторы и спектрометры с полупроводниковым датчиком и амплитудным анализатором. **11**

Деформация: преобразователь индуктивный, радиационнотермостойкий (ПИРТ) со спецблоком и аналоговой и цифровой записью. **12**

Обработка

экспери-метальных

резуль-татов **6**

Рис. 2. Взаимосвязи систем и устройства реакторного стенда.

Экспериментальные установки **13**

Лабораторные

установки **14**

Облучательные

устройства **15**

Специальные **16**

Аналоги **17**

Со сменой

образца **18**

Без смены образца **19**

Система обеспечения

эксперимента **5**

Температура испытаний:

- нагрев: собственные тепловыделения, нагреватель.

- охлаждение: теплоноситель

реактора, газ-заполнитель, вакуум. **20**

Среда испытаний:

- система очистки газа-насителя (заполнителя)

- система вакуумирования **21**

Транспортные операции:

-смена образца,

- смена установки. **22**

Каждая из систем (3,5,13) расшифровывается (рис.2), однако, требует некоторых дополнительных пояснений.

Позиция (3) содержит информацию об измерительных системах и их аппаратурном

обеспечении (7,8,9,10,11,12).

Система обеспечения

эксперимента **5**

Температура испытаний:

- нагрев: собственные тепловыделения, нагреватель.

- охлаждение: теплоноситель

реактора, газ-заполнитель, вакуум. **20**

Среда испытаний:

- система очистки газа-носителя (заполнителя)

- система вакуумирования **21**

Транспортные операции:

-смена образца,

- смена установки. **22**

Система обеспечения эксперимента (5) делится на три подсистемы. Заданная температура испытаний (20) достигается установлением баланса тепла в экспериментальной установке (13). В зависимости от температуры баланс может достигаться либо за счет собственных тепловыделений в образце (20.1) при определённой системе охлаждения, либо с помощью дополнительного электрического нагревателя (20.2). Возможны различные комбинации систем нагрева и охлаждения, в том числе и изменение тепловыделений при перемещении испытуемого образца в неравномерном поле излучений для достижения требуемого температурного интервала испытаний.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №№  пп | Наименование  установки | Измеряемые характеристики | Температурный  интервал |
|  |  | *Облучательные устройства* |  |
| 1 | Каприз | Пластические свойства при сжатии,  выход ГПД. | Менее 2300 К |
| 2 | Ритм | Пластические свойства при сжатии,  акустическая эмиссия. | Менее 2300 К |
| 3 | Сатурн | Пластические свойства при сжатии  в нестационарных условиях. | Менее 2300 К |
| 4 | Крип | Пластические свойства при сжатии. | Менее 2300 К |
| 5 | Циклон | Пластические свойства при реверсивном изгибе. | Менее 2300 К |
| 6 | Раст | Пластические свойства при сжатии. | Менее 1300 К |
| 7 | Пост | Формоизменение при облучении. | Менее 1300 К |
| 8 | Пост-Урал | . Формоизменение при облучении | Менее 1300 К |
| 9 | Раст-Урал | Пластические свойства при сжатии. | Менее 1300 К |
|  |  | *Лабораторные аналоги облучательных устройств.* |  |
| 10 | Плутон | Пластические свойства при сжатии,  смешанное топливо. | Менее 2300 К |
| 11 | Крип | Пластические свойства при сжатии. | Менее 2300 К |
|  |  | *Лабораторные установки.* |  |
| 12 | ИС (испытатель-ный стенд) | Пластические свойства и акустическая эмиссия  при реверсивном изгибе. | Менее 1800 К |

Так как большинство объектов испытаний необходимо исследовать при повышенных температурах, когда возможно их химическое взаимодействие с окружающей атмосферой, что существенно может исказить результаты экспериментов , то система обеспечения предусматривает вакуумирование рабочего объема (21.2) и заполнение его очищенным газом –носителем (заполнителем (21.1)).

Таб.1

Транспортно-технологические операции (22) осуществляются на ИРТ-МИФИ кран-балкой физического зала и предусматривают два типа работ: смену образца в облучательном устройстве (22.1), смену облучательного устройства.

Перечень и назначение экспериментальных устройств (13) стенда представлены в таблице 1, их можно разделить на лабораторные установки (14), лабораторные аналоги облучательных устройств (17) специальные установки (16) и облучательные устройства (15).

Облучательные устройства, разработанные на кафедре18 МИФИ, внедренные в практику НИР на ИРТ-МИФИ использованы как прототипы при разработках реакторных стендов на реакторах ВВР-СМ (Узбекистан г.Улукбек) и ИВВ-2 (Свердловская обл. г. Заречный) .

Экспериментальные установки **13**

Лабораторные

установки **14**

Облучательные

устройства **15**

Специальные **16**

Аналоги **17**

Со сменой

образца **18**

Без смены образца **19**

Экспериментальные результаты исследования пластических свойств ядерного топлива и разработанные на их основе рекомендации для обоснования работоспособности и лицензирования твэлов энергетических реакторов внедрены в кодовые программы расчета надежности энергетических реакторов РФ.

Экспериментальные возможности реакторного стенда ИРТ-МИФИ позволили впервые провести исследование механических свойств отечественного топлива энергетических реакторов, влияния на газовыделение пластической деформации диоксида урана при высоких температурах, исследовать динамику радиационной аморфизации силицида урана и её влияние на пластические свойства, обосновать разработку оксидного топлива с низким сопротивлением деформированию, получить рекомендации для обоснования работоспособности и лицензирования твэлов энергетических реакторов.

Научные исследования проведенные кафедрой 18 МИФИ при разработке и эксплуатации реакторных стендов для исследования физико-механических свойств ядерного топлива представлены в более чем 200 научных публикациях.

По результатам научных исследований успешно защищены:

- три докторские диссертации,

- двенадцать кандидатских работ.

- более ста дипломных работ.

Заключительная часть курса будет посвящена рассмотрению конкретных примеров использования изложенных выше материалов в научной практике. В этом изложении, естественно, не может быть уже полностью решенных задач представленных в рамках курса.

Будут подробно рассмотрены две задачи:

-первая задача связана с использованием модельных представлений для восстановления физических параметров материала (изделия).

Рассматриваются экспериментальные результаты исследования выхода газов-продуктов деления из ядерного топлива на основе диоксида урана различных технологий, которые удается описать двухстадийной диффузионной моделью. Сопоставление экспериментальных результатов с модельными представлениями дают возможность определить параметры переноса газов-продуктов деления в ядерном топливе.

-вторая задача весьма важна при экспериментальном исследовании размерной нестабильности ядерного топлива (деформации радиационного доспекания и распухания, деформация радиационной ползучести).

Информационная ценность активных реакторных испытаний в основном определяется их соответствием, приближением к реальным условиям эксплуатации объекта испытаний в ядерной энергетической установке. Если этот объект сердечник твэла энергетического реактора, то измеряемая в реакторном эксперименте характеристика (предположим скорость ползучести диоксида урана) по возможности должна определяться при штатных значениях нейтронных потоков и интервалов температур. Подобное желание далеко не всегда выполнимо. Если говорить о ползучести такой композиции как диоксид урана, то можно выделить несколько факторов, определяющих ценность полученных результатов:

1. Приближение эксперимента к штатным значениям нейтронного потока энергетического реактора ограничено градиентами температурного поля в испытуемом сердечнике. Возникающие при этом термонапряжения могут привести к разрушению сердечника или появлению трещин. Такое положение не допустимо при проведении испытаний на ползучесть и газовыделение.
2. Наличие температурного поля в сердечнике ставит вопрос о температурном уровне отнесения полученных экспериментальных результатов по радиационной деформации. Особенно это важно, если исследуемая характеристика имеет высокое значение энергии активации. Этот вопрос методически важен, его решение будет представлено ниже.
3. Влияние внутренних тепловыделений и температурного поля в образце на экспериментальные результаты может быть уменьшено оптимизацией конструкции облучательного устройства с использованием результатов тепловых расчетов.