# Конспект занятия 7.

## Цель.

Познакомить слушателей с техническими характеристиками исследовательского реактора CМ-2, устройством активной зоны и его возможностями для проведения реакторных испытаний. Рассмотреть картограмму активной зоны и распределения потоков излучений по экспериментальным каналам.

## План.

1. Исследовательский реактор СМ-2- пример достижения максимально возможных значений плотностей нейтронных потоков. Направления научных исследований и возможности постановки реакторных испытаний.

 2. Тепловыделяющие сборки СМ-2 и возможная их модернизация, пути повышения плотностей нейтронных потоков.

3. Картограмма, исследовательские каналы, распределения потоков излучений.

 Реактор СМ-2[6,9] предназначен для проведения научно-исследовательских работ, связанных с использованием интенсивных потоков быстрых и тепловых нейтронов. На СМ-2 предполагалось проводить следующие работы:

 I) получение новых трансурановых элементов;

2) изучение делящихся и конструкционных материалов в потоках нейтронного и гамма-излучений при температурах от 20 до 2000 К в различных средах (газ, вода под давлением от 5 до 135 МПа, жидкий металл и т.д.);

3) исследование спектров промежуточных нейтронов методами спектрометрии;

4) изучение спектров n - γ реакции;

5) изучение изотопов с малым периодом полураспада;

6)исследования по нейтронографии.

 Особенностью реактора СМ-2 является весьма высокий уровень удельного энерговыделения в его активной зоне и отражателе (среднее 1,6 МВт/л, максимальное 4,8 МВт/л). Спектр нейтронов в активной зоне весьма жесткий, а интенсивности высоки.

 Наблюдается всплеск потока тепловых нейтронов в центре реактора и в отражателе. Поток быстрых и промежуточных нейтронов максимален и почти постоянен в активной зоне и падает в центральной и зоне отражателя. Поток быстрых нейтронов уменьшается по высоте активной зоны .

 Тепловыделение в материалах, связанное с поглощением гамма-квантов, постоянно в замедляющей полости и активной зоне и уменьшается в зоне отражателя. Тепловыделения по высоте уменьшаются по логарифмическому закону.

 На рис.2.5. представлен разрез А.З. и отражателя реактора

СМ-2, кружками показаны места расположения вертикальных каналов (ВЭК), общее количество которых составляет 24 (20 из них имеют выход на верхнюю крышку реактора.) На этом же рисунке представ­лены 5 горизонтальных каналов (ГЭК) диаметром 100 мм, с потоком тепловых нейтронов на выходе З.1010 н/см2 с. Центральный канал имеет диаметр 90 мм, ВЭКи отражателя имеют диаметры от 60 до 50 мм.

В таб.2.2.представлено распределение потоков тепловых нейтронов по штатным каналам реактора и заполнение каналов.

 По назначению каналы распределяются следующим образом:

- три канала используются для получения трансурановых
элементов ( центральный и два канала в отражателе);

 - два низкотемпературных канала с водяным охлаждение используются для материаловедческих работ. Контур предусматривает охлаждение водой при температуре 30 °С при давлении 5 МПа ;

- два высокотемпературных канала охлаждаются водой под давлением 35 МПа с расходом 80 т/ч и температурой воды на входе 400 °С, они используются для испытания твэлов;

- пять каналов с газовым охлаждением для изучения делящихся материалов; охлаждение может осуществляться

гелием при давлении 3-5 МПа и расходе 350 кг/ч.;

- один канал может охлаждаться жидким гелием или водородом для изучения повреждаемости материалов при низких температурах;

- канал с газовым охлаждением для испытаний при температурах до 2000 К;

- канал с жидкометаллическим теплоносителем для изучения поведения теплоносителей при температурах до 1000 К.

 Все каналы с автономным охлаждением имеют выход через крышку реактора в реакторный зал, через промежуточное надреакторное помещение, отделенное от зала бетонной защитой с отверстиями под пробки. Каналы в верхней части имеют герметичное уплотнение, позволяющее автономно извлекать устройства из каналов с помощью дистанционно-управляемого крана. Сборки могут быть помещены на выдержку в

15

10

18

19

17

 20 2 21 3 22 9 23 24 25

8

26

7

13

14

6

11 28 4 16 5 12 27

Позиции:

1-16: штатные вертикальные экспериментальные каналы (ВЭК)

17, 18,21,24,26: горизонтальные экспериментальные каналы (ГЭК)

19,25: дополнительные экспериментальные каналы (ДЭК)

20,22,27,28: местоположение бесканальных сборок (БКС)

Рис.2.5. Разрез и картограмма активной зоны реактора СМ-2.

 Вид на АЗ реактора СМ-2.

Таб.2.2.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № каналаили сборки | Плотность потоканейтронов 1/см2с | Заполнениеканала |
| 1 (центр)(периферия) | 3,7\*10144,1\*1014 | ВодаВода |
| 2 | 3,1\*1014 | Воздух |
| 3 | 2,3\*1014 | Воздух |
| 4 | 3,7\*1014 | Воздух |
| 5 | 3,7\*1014 | Воздух |
| 6 | 3,7\*1012 | Вода |
| 7 | 6,5\*1012 | Воздух |
| 8 | 4,6\*1012 | Вода |
| 9 | 4,6\*1012 | Вода |
| 10 | 4,6\*1012 | Вода |
| 11 | 3,8\*1012 | Вода |
| 12 | 1,3\*1013 | Воздух |
| 13 | 1,1\*1014 | Воздух |
| 14 | 3,7\*1012 | Вода |
| 15 | 8,4\*1013 | Вода |
| 16 | 5,3\*1012 | Воздух |
| БКС | 2,4\*1012 | Вода |
| ДЭК | 1,8\*1014 | Вода |

Фронтальный разрез СМ-2.



**L**

 **H**

**δ**

**Δ**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N | Δмм | δмм | Lмм | Hмм | qvМвт/л | Wм/с | NМвт | ФТн/см2с | qFМвт/м2 |
| 1 | 0,8 | 0,15 | 280 | 33,4 | 3-5 | 9 | 50 | 3\*1015 | 7 |
| 2 | 0,8 | 0,15 | 350 | 33,4 | 5-10 | 12 | 100 | 3\*1016 | 12 |
| 3 | 0,45 | 0,1 |  |  |  | 40 |  | 1017 | 58 |

Рис. 2.7. Твэл реактора СМ-2.

хранилище с водой или могут перебираться в защит­ной камере. Время перегрузки занимает от 20 до 40 минут.

 Защита реакторного зала позволяет производить перегрузки в процессе работы реактора при активности на сборках до 105 кюри.

 При проведении внутриреакторных испытаний СМ-2 обладает следующими преимуществами:

I) интенсивные потоки нейтронного и гамма-излучения с различным спектральным составом;

2) высокие тепловыделения от гамма-излучения, что позволяет проводить испытания на конструкционных материалах без дополнительного подогрева.

Модернизация активной зоны реактора СМ-2.

Реактор СМ-2 имеет небольшую активную зону (о.42\*0.42\*о.25), окруженную отражателем из окиси бериллия. Активная зона, образованная из 28 кассет сечением 70\*70 мм с пластинчатыми твэлами дисперсионного типа и высокоразвитой поверхностью охлаждения, установлена в корпусе реактора и работает при давлении 50 атм. Твэлы, содержащие уран 90% обогащения, покрыты никелевыми оболочками. В каждой кассете устанавливается 54 трёхслойных пластинчатых элемента толщиной о,8 мм( сердечник толщиной о,5 мм и оболочки по о,15 мм). В центре активной зоны при извлечении четырех кассет образуется заполненная водой полость сечением 140\*140 мм, высотой 250 мм- ловушка нейтронов, в которую вставляет центральный вертикальный канал. Вода, циркулирующая сверху в низ в зазорах твэлов, служит одновременно теплоносителем и замедлителем.

Для выяснения возможности дальнейшего повышения тепловой нагрузки были успешно испытаны твэлы в центральном экспериментальном канале реактора при потоке до 12\*1о6 ккал/м2ч. Максимальное выгорание топлива при этом достигло 30%.

Испытания показали, что проектная тепловая нагрузка на твэлах может быть удвоена.

При модернизации были проведены следующие изменения;

- увеличена высота активной зоны,

- усовершенствована система управления реактором,

- в отражателе окись бериллия заменена на металлический бериллий.

Увеличение объёма активной зоны обеспечило достижение проектного выгорания топлива в выгружаемых кассетах (25%) и продлило кампанию до 20 суток.

Реактор СМ-2 стал одним из лучших в мире исследовательских реакторов для проведения реакторных испытаний в высоких нейтронных потоках. Максимальная плотность потока достигла рекордного уровня 3,3\*1015 тн/см2с.

Высокая плотность потока тепловых нейтронов позволяет быстро накапливать трансураны, высокая плотность потока быстрых нейтронов позволяет проводить исследования материалов при облучении интегральным потоком 1022 н/см2 и выше за сравнительно короткое время, несколько месяцев, на других реакторах это время составляет годы.

В составе реактора СМ-2 три петлевых установки. Низкотемпературная водяная петля для накопления транс урановых элементов, испытания топливных композиций и макетов твэлов тепловых и быстрых реакторов. К этой петле подсоединен канал, размещен в центральной ловушке нейтронов, и шесть каналов в отражателе.

Высокотемпературная водяная петля (с двумя каналами) сооружена для испытаний макетов твэлов и коррозионных исследований конструкционных материалов.

Газовая петля с двумя каналами – для испытаний конструкционных материалов при высоких температурах.

 Рассмотрим принципиальные возможности повышения потока нейтронов до 3\*I016 н/см2 с, эта задача разрешима на базе реактора СМ: При этом твэл реактора конструктивно остается тем же (рис.2.6). Тепловая нагрузка в таком реакторе может достигать 50 МВт/л при скорости охлаждающей воды 40 м/с.

 Последнее обстоятельство является самой тяжелой задачей при реализации данного проекта, так как тонкие пластины при таких скоростях могут терять устойчивость.

 Предлагается проект реактора циклокотел (рис.2.7).

Эта установка представляет собой тор с набором активных зон импульсных уран-графитовых реакторов, импульс которых может составить около 10 19 н/см 2с.

 Облучаемая мишень движется по тору, все время находясь

в максимуме потока. При числе активных зон порядка 1000 мощность реактора должна составлять 100 МВт, а время кампании - I час.

Считается, что экономически выгоден циклокотел с числом

активных зон ~ 10 000, при этом скорость перемещаемой мишени в данном устройстве составит 100 м/с.

 Другой (не менее грандиозный и фантастический) проект получения сверхинтенсивных потоков нейтронов (1020 н/см 2с) основан на технической реализации реакции типа:

D—> х\*n или Р—> x\*n

 На один дейтон и протон в этой реакции появляются до x~65 нейтронов. Реакция может происходить при энергии протонов и дейтонов около 800-1000 Мэв. Для получения интенсивных потоков нейтронов необходимы сравнительно мощные потоки протонов и дейтонов, которые дают реакцию при взаимодействии с тяжелой мишенью.

1. АЗ-1

2. АЗ-2

3. АЗ-3

4. Корпус

- тор

5 Мишень

V ~ 100 м/с

Рис.2.7. Реактор типа циклокотел