# Конспект занятия 11.

## Цель.

Рассмотреть конкретный пример использования методики расчета температурного поля облучательного устройства. В качестве примера предлагается облучательное устрой­ство "Ритм", предназначенное для комплексного исследования пластических свойств ядерного топлива и газовыделения при одно­временной регистрации акустической эмиссии в процессе облучения. Обосновать выбор схемы для тепловых расчетов, выбор конструкционных материалов, теплофизических параметров и источников тепловыделений. Познакомить слушателей с результатами расчетов и их сопоставлением с экспериментальными данными.

## План.

1. Схема тепловых расчетов для конкретной экспериментальной установки.

2.Выбор теплофизических характеристик для проведения расчетов.

3. Сопоставление экспериментальных данных с результатами расчета.

В качестве примера рассматривается облучательное устрой­ство "Ритм", предназначенное для комплексного исследования пластических свойств ядерного топлива и газовыделения при одно­временной регистрации акустической эмиссии в процессе облучения.

Схематическое изображение экспериментальной установки для проведения тепловых расчетов показано на рис.3.4.

Для практических расчетов поля температуры в установках необходимо задаться зависимостями теплофизических характеристик материалов от температуры, величинами тепловыделений в элемен­тах установки и коэффициентами теплообмена. Кроме того необхо­димо задать геометрические характеристики облучательного устрой­ства.

Конструкционными материалами облучательных устройств обычно являются: алюминиевые сплавы, нержавеющая стальмолибден и вольфрам. Исследования могут проводиться на образцах из урана, его соединений и сплавов с различным обогащением по урану-235.

Рис.3.4.Модель для расчета аксиального поля температуры.

5

Z1

Z2

Z3

Z4

Z=0

R0

R1

RН

R2

R3

Rоб JjОБ

R4

1

2

3

4

6

В соответствии с рекомендациями [12] зависимость теплопроводности от температуры молибдена может быть аппроксимирована двумя прямыми:

**λ= 144-0,0378 (Т-273) (Вт/м K) при Т *<* 2120 К**

**λ= 74-0,0092 (T-2I20) (Вт/м K) при Т > 2120 К**

Теплопроводность нержавеющей стали [13]может быть описана параболической зависимостью от температуры:

**λ= 33,2 - 11,2\*I0-6 (730 + Т)\*(1273 - Т) (Вт/м K*).***

Теплопроводность алюминия в [ 13] аппроксимирована формулой:

**λ *=* 210 (1,2)(T-350)/345 (Вт/м K)**

Зависимость теплопроводности вольфрама от температуры [12] можно представить полиномом второй степени:

**λ*=* 0,971\*10-5 Т2 + 0,0548 T + 168,6.**

Теплопроводность гелия, которым заполняется испытательная камера, как функция температуры, в соответствии с рекомендацией [14] описывается: соотношением:

**λ = λ0\*(Т/273)0.73**

где λ0 *-* теплопроводность гелия при Т = 273 К.

Степень черноты по данным [15 ] и [11] в зависимости от температуры апроксимируется следующими уравнениями:

для молибдена - **ε = I,024\*I0-4 T**,

для вольфрама - **ε *=* I,389\*I0-4 T**,

для нержавеющей стали в диапазоне температуры 400-1200 К

**ε = 0,0814(Т)0.3,**

для алюминия в пределах 293-323 К ε может быть принята постоянной, равной 0,1.

Коэффициент теплообмена с окружающей средой **α**определя­ется по рекомендациям [11] . Его величина для воздуха меняется слабо и может быть принята постоянной, равной 7 Вт/м 2 К .

При охлаждении стенки камеры водой в отсутствии кипения в пристенном слое **α** рекомендуется [11] выбирать в пределах ; 600-1800 Вт/м 2 К. В условиях бассейнового реактора ИРТ-МИФИ при температуре воды 318 К и возможной разности температур между стенкой и водой *~* 45 К можно принять α = 880 Вт/м2  К.

Тепловыделение в топлива в соответствии с рекомендациями

[ 9 ] определяется выражением:

**qv = 0.3\*10-10 N (m 5 σ 5 Ф Т / A 5 + m 8 σ 8 Ф Б / A 8 ) + ρ q γ**

где

N - число Авогадро;

σ 5  и σ 8- сечения деления изотопов U235 и U238

Ф Т ,Ф Б *-* потоки тепловых и быстрых нейтроновА5 и А8 - массовые числа изотопов U235и U238

q γ-удельное энерговыделение при поглощении гамма-квантов Вт/г   
ρ - плотность образца.

Расчет удельного энерговыделения в конструкционных материалах за счет поглощения γ-излучения проводится на основании известной зависимости поглощенной мощности дозы p (рад/с) от мощ­ности реактора.

В этом случае для средней энергии γ -квантов, равной I МэВ:

**q γ = 3,57\*10 -4 p γj (μ/ρ )j ,**

где γj и (μ/ρ )j - плотность материала и массовый коэффициент поглощения j -го элемента кон­струкции соответственно [16] .

Изложенная выше общая методика теплового расчета высокотемпературных реак­торных устройств была использована при проектировании конкретных облучательных установок. Вне и в поле излучений были прове­дены эксперименты по исследованию температурных распределений в облучательных устройствах.

На рис.3.5,3.6 представлены сопоставления расчетных полей температуры с экспериментальными резуль­татами. Представленная общая методика расчета, как видно из приве­денного примера, конкретно реализуется в случае задания геометрических размеров системы.

Таким образом, это типичный пример "поверочного" расчета конструкции. Такой подход к решению задачи оправдан и при наличии ЭВМ экономически целесообразен, т.к. предполагает неоднократное обращение к программе расчетов на стадии проектирования облучательного устройства.

При повторных обращениях возможны уточнения геометрических размеров сис­темы, использование других материалов в конструкции. В этом случае необходимы изменения только в блоках программы, и все повторные (вариантные) расчеты не являются трудоемкими.

Необходимо отметить и еще один аспект использования методики. Поставленная задача стационарна, однако с помощью нее воз­можно рассмотрение и нестационарных задач.

Для реализации таких расчетов необходимо использование программы с изменением пара­метров (температура, внутренние источники тепла и др.) "шагами", зависящими от времени таким образом, что рассматриваемая систе­ма будет проходить последовательно множество стационарных сос­тояний, отвечающих за ее поведение во времени.

Рис.3.5. Зависимость температуры образца (1- эксперимент, 2- расчет) и температуры фланца (4- эксперимент, 3- расчет) от мощности нагревателя при мощности реактора 2,5 МВт.

Т К

1200

900

600

0 200 400 Р, Вт

1

2

3

4

Т К

1800

1200

600

0 40 80 Z мм

Эксперимент

2

3

1

Рис.3.6. Осевое распределение температуры по элементам установки «Ритм». (1, 2, 3 – расчет при температурах нагревателя 2400К, 1500К,990К.) соответственно).