Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное

учреждение высшего образования

«Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б. Н. Ельцина»



**Кафедра технической физики**

Пояснительная записка к курсовому проекту

**ГОМОГЕНИЗАЦИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ РЕАКТОРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ БЛОК-ЭФФЕКТА**

Руководитель проекта Александров О. Е.

Студент гр. Фт-580202 Гришин А. П.

Екатеринбург

2023

**Оглавление**

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc135864096)

[Принципиальные основы усовершенствованного способа гомогенизации. 4](#_Toc135864097)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 9](#_Toc135864098)

# ВВЕДЕНИЕ

Любой гетерогенный реактор физически очень сложен для расчёта в один этап, который бы учитывал и внутреннюю геометрию активной зоны, и её конечность, обуславливающую утечку нейтронов из реактора. Трудность подхода к задаче усугубляется и тем, что как внутри ТВЭЛов, так и в прилежащих к ним слоях замедлителя почти при всех энергиях нейтронов неприменимо диффузионное приближение.

Поэтому обычно такие задачи решаются в два этапа. Реальная, гетерогенная, среда гомогенизируется, заменяется гомогенной, эквивалентной исходной по нейтронно-физическим характеристикам. Рассчитываются параметры решётки, затем определяется эффективный коэффициент размножения гомогенного реактора.

В ядерном реакторе источником нейтронов служит инициированная нейтронами реакция деления тяжелых ядер. При этом процессе образуются быстрые нейтроны, которые постепенно отдают свою энергию (замедляются) в результате различных взаимодействий с ядрами, в том числе упругих и неупругих соударений. В результате замедления нейтроны становятся тепловыми.

Одним из способом гомогенизации является рассмотрение гетерогенной структуры активной зоны, как некой равномерной смеси всех ее элементов, топлива, замедлителя и теплоносителя. Данный способ дает неверные коэффициенты размножения нейтронов для сильно гетерогенных реакторов, таких как реакторы на тепловых нейтронах.

Наша задача заключается в улучшении этого метода гомогенизации с помощью учета блок-эффекта для каждой энергетической группы нейтронов.

# **Принципиальные основы усовершенствованного способа гомогенизации.**

Для расчета тепловых реакторов может быть предложен альтернативный способ расчета макроконстант. Метод четырех сомножителей был предложен на заре ядерной энергетики и предназначался для расчета гетерогенных активных зон на основе четырех группового приближения. Главным недостатком этого метода является использование формул, полученных на основе эмпирических зависимостей для реактора ВВЭР. Данный метод простой для расчета, однако не позволяет рассчитывать многие типы современных и перспективных реакторных систем с достаточной точностью.

Далее описан более наглядный метод гомогенизации путем поиска взвешивающих коэффициентов на основе блок-эффекта. При гомогенизации путем смешивания активной зоны макросечения для каждой группы получаются путем домножения микросечений на объемные доли частей активной зоны. Но при таком способе рассмотрения для гетерогенных АЗ получаются неправильные коэффициенты размножения нейтронов (меньше 1). Способ предназначен для гетерогенных АЗ и вычисляет эффективные объемные доли для топлива и замедлителя в каждой группе с учетом блок-эффекта.

Рассмотрим пучок ТВЭЛов отдельной сборки ТВС в типичном водо-водяном реакторе на примере ВВЭР-1000 (рис. 1).



Рис. 1. Регулярная структура треугольной решётки твэлов в ТВС.

Изначально будем рассматривать, что оболочка мала и не вносит вклад в изменение потока. Наша ячейка будет состоять из топлива, окруженного замедлителем. Запишем уравнения диффузии для одной группы энергий нейтронов

, (1)

где 0 – топливо, 1 – замедлитель.

Первый член уравнения диффузии описывает уход нейтронов из слоя активной зоны вследствие диффузии, второй член характеризует уменьшение нейтронов в слое из-за поглощения и третий член учитывает наличие источников нейтронов.

Будем использовать приближенную формулу для коэффициента диффузии , которая предложена Г. А. Батем в учебнике «Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов» 1982г. (номер формулы 4.6.10). Эта формула справедлива для слабопоглощающих сред, у которых полное макросечение характеризуется полностью сечение рассеяния. Поэтому в нашем случае формула приводит к сильному снижению коэффициента диффузии до значений, при которых в резонансных группах поток в середине топливного блока близок к нулю.

Для первых десяти групп источник нейтронов в каждой слое активной зоны можно считать пропорциональными макросечениям деления. Нейтроны попадают в последующие группы, замедлившись из более высокоэнергетических групп. Будем полагать, что источник нейтронов пропорционален замедлительной способности вещества

, (2)

где – средний логарифмический декремент энергии при одном столкновении, – макросечение рассеяния.

Зададим граничные условия

 (3)

Последнее уравнение является условием зеркального отражения на границе ячейки Вигнера-Зейца.

Общее решение уравнений системы для цилиндрической ячейки имеет следующий вид:

 (4)

 (5)

где .

Из третьего граничного условия следует, что , так как функция (x) устремляется в бесконечность в нуле.

 Удобно принять значения потока на границе топлива и замедлителя, равным единице . То есть можно задать всего один источник, например в замедлителе. На основе этого выразим

 (6)

Из первого граничного условия можно выразить

;

*.* (7)

Из четвертого граничного условия можно выразить

(8)

Используя второе граничное условие, можно получить выражение для

(9)

Теперь можно получить выражения для и :

(10)

(11)

Полный вывод итоговых выражений можно посмотреть в файле Mathcad. Альтернативным способом решения системы уравнений является задание обеих источников.

Ниже приведены потоки нейтронов в топливе и замедлителе с учетом блок-эффекта для различных энергетических групп:



Рис 2. Блок-эффект в топливе и замедлителе для 0-й, 20-й и 25-й энергетических групп.

На основе полученных формул для каждой группы нейтронов можно найти минимальное значение блок-эффекта в топливе(r=0) и максимальное значение в замедлителе и использовать эти значения для преобразования объемных долей. Максимальный поток нейтронов наблюдается на границе ячейки Вигнера-Зейца, что соответствует действительности.

После этого можно перейти к расчету макросечений. При рассмотрения гомогенного реактора, макросечения для каждой группы находят по следующей формуле:

,(12)

где макрочесения элементов активной зоны (топлива, замедлителя, оболочки); объем соответствующего элемента.

Метод гомогенизации с использованием блок-эффекта позволяет получить преобразованные объемные доли для каждой энергетической группы, что приведет к уменьшению вклада резонансных групп в макросечения. Для этого введем множитель B, который будет равен минимальному или максимальному блок-эффекту в топливе и замедлителе соответственно.

, (13)

где макрочесения элементов активной зоны (топлива, замедлителя, оболочки); объем соответствующего элемента; экстремум блок-эффекта в элементе активной зоны (максимум или минимум).

 Для преобразования объемных долей были использованы максимальные значения блок-эффекта (потока нейтронов) в слоях активной зоны, однако более правильным решением является использования средних значений потоков в топливе и замедлителе по следующей формуле:

, (14)

где j = .

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной курсовой работы была разработана методика гомогенизации реакторной системы методом блок-эффекта. Она позволяет рассчитывать гетерогенные реакторы на тепловых нейтронах на основе поиска минимального и максимального значения потока в топливе и замедлителе соответственно для каждой энергетической группы, и использовать эти коэффициенты для преобразования макроконстант. Этот метод позволяет рассчитывать реакторные системы в 26-ти групповом приближении более наглядным образом без использования эмпирических зависимостей.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что данная модель позволяет получать бесконечный коэффициент размножения больше единицы, когда типичная гомогенизация активной зоны приводит к значениям меньше единицы.