

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

**«ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ ГРУППЫ
ПОГЛОЩАЮЩИХ СТЕРЖНЕЙ»**

Методические указания к выполнению работы
по курсу «Кинетика ядерных реакторов» для студентов V курса,
направления «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг»

Томск 2015

ВВЕДЕНИЕ

Программный комплекс SSL DYNCO LAB SYSTEM предназначен для исследования нейтронно-физических и теплогидравлических свойств реакторных установок. Комплекс ориентирован на проведение практических занятий в рамках образовательных программ высших учебных заведений в области реакторной физики и технологий АЭС. Способствует формированию у обучающихся основ знаний в области физики реакторов и обеспечивает глубокое понимание процессов, протекающих в реакторе и факторов, влияющих на динамику реакторной установки.

SSL DYNCO LAB SYSTEM позволяет максимально полно моделировать процессы в активной зоне и рассчитывать их с высокой точностью при обеспечении моделирования в реальном времени на персональных компьютерах. Программный комплекс в базовой комплектации включает:

- модель нейтронной кинетики;
- теплогидравлическую модель активной зоны.

Цели работы

1. Изучить принципы регулирования реактором.
2. Освоить основы применения метода обратного умножения для достижения критического состояния реактора.
3. Изучить переходные процессы в подкритическом реакторе с источником нейтронов при скачках реактивности.

Основные теоретические положения

Метод обратного умножения основан на предположении, что реактивность подкритического реактора с источником нейтронов обратно пропорциональна скорости счета детектора, расположенного в реакторе или вблизи него.

В предположении, что скорость счета детектора пропорциональна мощности реактора, запишем:

$$W \approx -\frac{Ql}{\rho}$$

где:

W - мощность реактора;

Q - мощность источника нейтронов ;

l - время генерации нейтронов;

ρ - реактивность реактора.

Такая простейшая связь реализуется при изменениях реактивности когда:

- не происходит изменения эффективности детектора;
- не происходит изменения эффективной мощности источника нейтронов;
- доля нейтронов из источника, регистрируемая детектором, мала в сравнении с долей нейтронов из актов деления.

Последний пункт определяет вид кривой обратного умножения: вогнутый или выпуклый. Для безопасного применения, кривая обратного умножения должна иметь вогнутый или линейный вид.

В данном лабораторном задании метод обратного умножения применен к задаче контроля за реактивностью подкритического реактора с источником при извлечении группы поглощающих стержней с достижением критического состояния. Эффективный коэффициент размножения нейтронов изменяется от начального (неизвестного) значения $0 < K_{эфф0} < 1$ до 1. По мере извлечения выбранной группы стержней из активной зоны поток нейтронов и, как следствие, мощность реактора возрастают. Поэтому если в процессе

извлечения группы поглощающих стержней строить зависимость обратного умножения $OY = W_o / W_i$ от положения группы в активной зоне, то можно спрогнозировать реактивность реактора в относительных единицах. Во всяком случае, можно утверждать, что такая кривая будет стремиться к 0 при приближении к такому положению стержней, при котором $K_{эфф} \approx 1$.

Таблица 1. Исходные данные

Параметр	
Мощность реактора, Вт	100
Концентрация борной кислоты, г/кг	13
Входная температура теплоносителя, °С	292
Выходное давление, МПа	15.7
Расход на сборку, кг/сек	92
Отравление	нет
Позиция групп СУЗ, см:	
1÷9	353*
10	0
Исследуемая группа СУЗ	10
Шаг моделирования в динамике, сек	0.1-100
Число итераций в статике	500
Параметр скорость для стержней	2

*Полностью погруженный в активную зону стержень находится на отметке 0 см.

Инструкция для обучаемых по запуску задач

При запуске SSL DYNCO LAB SYSTEM выбрать соответствующую лабораторную работу и свой вариант задания.

Пошаговая инструкция для обучаемого по выполнению данной задачи

1. При запуске варианта задания загружается «нулевое» состояние реактора, относительно которого будут выполняться расчеты. Как правило, реактор находится на очень маленьком уровне мощности, обусловленном источником нейтронов. В этом состоянии обратными связями можно пренебречь. Необходимо зафиксировать в лабораторном журнале следующие параметры (для этого перейти в режим "Статический расчет"): входную и выходную температуры теплоносителя, давление в первом контуре, расход теплоносителя, мощность реактора, положение всех групп органов управления, концентрацию борной кислоты). После выполнения данного пункта вернуться в режим моделирования "Динамический расчет".
2. Начальная мощность реактора равна W_0 . Таким образом, $OY_0 = 1$. Значение $OY_0 = 1$ откладывается на графике зависимости OY от позиции группы СУЗ, с помощью которой реактор выводится в критическое состояние.
3. Группа СУЗ извлекается с рабочей скоростью 2 см/сек на 50 см (задания подготовлены таким образом, что это не приведет к достижению критичности) и после завершения переходного процесса в журнале фиксируется новое значение установившейся мощности.
4. Вычисленное значение откладывается на графике зависимости OY от позиции группы СУЗ. Через эти две точки проводят прямую и экстраполируют ее до пересечения с осью абсцисс. Это и есть первое экстраполированное значение критического положения группы СУЗ. В случае, если прямая пересекает ось абсцисс в точке, когда группа СУЗ уже полностью вытащена из активной зоны, то в качестве экстраполированного значения принимается 353 см (стержень полностью выведен из активной зоны) Округлять значения следует в МЕНЬШУЮ сторону.

Примечание. Получить экстраполированное критическое положение группы можно так же аналитически. Для этого составить уравнение прямой, проходящей через две точки и найти точку пересечения с осью абсцисс.

$$\frac{Y - Y_1}{Y_2 - Y_1} = \frac{X - X_1}{X_2 - X_1}$$

Все данные по состоянию реактора и положению стержней заносят в журнал.

5. Последующие позиции СУЗ вычисляются по формуле

$$h_{i+1} = h_i + 0.25 * (H_{\text{экстр } i} - h_i)$$

Вся процедура повторяется до тех пор, пока ОУ не примет значение, **меньше 0.005**. К этому моменту экстраполированное значение критического положения группы практически перестанет изменяться, что говорит о том, что критическое положение найдено.

Внимание! Обратные умножения необходимо всегда вычислять по отношению к «нулевой» мощности реактора W_0 , а экстраполяцию нужно проводить между двумя соседними точками.

6. Реальная форма кривой обратного умножения зависит от многих факторов. В принципе, она может иметь как вогнутый, так и выпуклый характер. Последнее, правда, крайне нежелательно, вернее, запрещено, так как экстраполяция занижает критическое состояние, что весьма опасно.
7. В режиме моделирования "Статический расчет" выполнить расчет $K_{\text{эфф}}$ для $N_{\text{исх}}$ и $N_{\text{крит}}$ и записать в журнал. По этим значениям рассчитать изменение реактивности при изменении положения стержней от $N_{\text{исх}}$ до $N_{\text{крит}}$.

Требования к оформлению отчетных материалов

Отчет по работе должен быть выполнен в виде электронного документа и должен содержать: титульный лист, описание работы, графические зависимости поведения реактора для различных вариантов расчета (можно дать качественное представление кривых, но с соблюдением масштаба и значений по осям); данные, по которым были получены кривые. Также отчет должен содержать систематизированные результаты расчетов и аргументированные выводы из их сопоставления и анализа.

Таблица 2. Примерная форма лабораторного журнала

i	Позиция группы СУЗ h_i , см	Мощность W_i , Вт	Обратное умножение ОУ _i	Экстраполированное критическое положение группы СУЗ $H_{\text{экстр } i}$, см
0	0	100	1	-
1	50			

Контрольные вопросы

1. В каких случаях в реакторе реализуется стационарное состояние?
2. Элементарное уравнение кинетики реактора.
3. Графический вид решения элементарного уравнения кинетики реактора.
4. От чего зависит характер изменения плотности потока нейтронов (мощности реактора)?

5. Возможные способы регулирования мощности реактора.
6. Основные принципы применения метода обратного умножения для определения критичности реактора.
7. Какой фактор определяет безопасный вид кривой обратного умножения?
8. Каким образом текущая подкритичность реактора влияет на время завершения переходного процесса?
9. Что произойдет, если в подкритическом реакторе с источником изменить реактивность (увеличить и уменьшить)? Нарисуйте качественную зависимость изменения мощности и реактивности для всех возможных случаев.
10. Что произойдет, если в подкритическом реакторе с источником изменить мощность источника? Нарисуйте качественную зависимость изменения мощности и реактивности.

Критерий успешности выполнения задачи

Учебная задача считается выполненной успешно в случае, если:

- Найдено критическое положение группы СУЗ, что подтверждено статическим расчетом эффективного коэффициента размножения;
- Обучаемый способен при защите работы без использования каких-либо вспомогательных материалов (методические пособия, отчет по работе, домашние заготовки):
 1. Детально объяснить последовательность выполнения работы;
 2. Продемонстрировать понимание теоретических основ, необходимых для выполнения данного задания;
 3. Объяснить полученные результаты и графики;
 4. Ответить на контрольные вопросы, включая вывод необходимых уравнений “с чистого листа”.