

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Методические указания к выполнению лабораторной работы
**«ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ
БОРНОГО ПОГЛОТИТЕЛЯ»**

Томск 2018

Цели работы

1. Освоить основы применения метода обратного умножения для достижения критического состояния реактора.
2. 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 изменении концентрации борной кислоты с достижением критического состояния. Эффективный коэффициент размножения нейтронов изменяется от начального (неизвестного) значения $0 < K_{\text{эфф}} < 1$ до 1. По мере уменьшения концентрации поглотителя поток нейтронов и, как следствие, мощность реактора возрастают. Поэтому если в процессе борного регулирования строить зависимость обратного умножения $OY = W_0/W_n$ от концентрации бора в теплоносителе, 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 $K_{\text{эфф}} \approx 1$.

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:	
Шаг моделирования в динамике, сек	1-100
Число итераций в статике	500
Параметр скорость для концентрации бора	0.001

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 концентрации борной кислоты, с помощью которой реактор выводится в критическое состояние.
3. Концентрация борной кислоты уменьшается на 0,1 г/кг (задания подготовлены таким образом, что это не приведет к достижению критичности) с рабочей скоростью 0,001 г/кг*сек (при этом установить шаг моделирования 1 сек) и после завершения переходного процесса в журнале фиксируется новое значение установившейся мощности W_1 .
4. Вычисленное значение OY_1 откладывается на графике зависимости OY от концентрации борного поглотителя. Через эти две точки проводят прямую и экстраполируют ее до пересечения с осью абсцисс. Это и есть первое экстраполированное значение критической концентрации борной кислоты $C_{экстр 1..}$. Округлять значения следует в БОЛЬШУЮ сторону.

Примечание. Получить экстраполированную критическую концентрацию борной кислоты 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 концентрации борного поглотителя заносят в журнал.

5. Последующие концентрации борного поглотителя вычисляются по формуле

$$C_{i+1} = C_i - 0.25 * (C_i - C_{\text{экстр } i})$$

Вся процедура повторяется до тех пор, пока ОУ не примет значение **меньше 0,005**, что говорит о том, что критическая концентрация найдена.

Внимание! Обратное умножение необходимо всегда вычислять по отношению к «нулевой» мощности реактора W_0 , а экстраполяцию нужно проводить между двумя соседними точками. Концентрацию борной кислоты определять с точностью до третьего знака.

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 $C_{\text{исх}}$ и $C_{\text{крит}}$ и записать в журнал. По этим значениям рассчитать изменение реактивности при изменении концентрации борной кислоты с $C_{\text{исх}}$ до $C_{\text{крит}}$.

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	Концентрация борной кислоты C_i , г/кг	Мощность W_i , МВт	Обратное умножение ОУ _i	Экстраполированная критическая концентрация борной кислоты $C_{\text{экстр } i}$, г/кг
0	13	100	1	-
1				

Контрольные вопросы:

1. В каких случаях в реакторе реализуется стационарное состояние?
2. Достоинства и недостатки системы борного регулирования по сравнению с регулирующими стержнями.
3. В каких реакторах применяется борное регулирование и почему?
4. Какой фактор определяет безопасный вид кривой обратного умножения?
5. Каким образом осуществляется регулирование мощности реактора системой борного регулирования?
6. Каким образом текущая подкритичность реактора влияет на время завершения переходного процесса?
7. Что произойдет, если в подкритическом реакторе с источником изменить реактивность (увеличить и уменьшить)? Нарисуйте качественную зависимость изменения мощности и реактивности для всех возможных случаев.
8. 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:

- Найдена критическая концентрация борной кислоты, 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”.