

Лабораторная работа №2

**РАСЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ИЗОТОПНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПО
КАСКАДУ В СТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ**

методические указания по выполнению лабораторной
работы по дисциплине «Междисциплинарный проект»
для студентов направления 14.03.02 Ядерная физика и технологии

Цель работы: провести расчет изменения концентрации целевого изотопа по колоннам каскада в режимах без отбора и с отбором при заданных параметрах его работы.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

1.1. Основные определения и соотношения

Известно, что одним из наиболее эффективных промышленных методов разделения изотопов лёгких элементов (водорода, лития, бора, углерода и др.) является физико-химический метод изотопного обмена. Важной особенностью физико-химических методов является обратимость элементарного акта разделения и двухфазность рабочей системы.

Наиболее удобной рабочей двухфазной системой считается система жидкость – газ. Процесс разделения изотопов при этом проводят в аппаратах специальных конструкций – разделительных колоннах, при непрерывном противоточном движении потоков жидкой (L) и газовой (G) фаз. Поскольку значения констант равновесия, летучестей и т. д. для различных изотопозамещенных форм различно, то возникает изотопный эффект, приводящий к изменению содержания данного изотопа в разных фазах. Вследствие этого эффекта, характеризуемого величиной коэффициента разделения α , содержание изотопа в фазе L , покидающей некоторое сечение колонны II будет отличаться от содержания этого же изотопа в фазе G , покидающей сечение I :

$$\alpha = \frac{c_2}{1-c_2} \bigg/ \frac{c_1}{1-c_1} = \frac{c_2(1-c_1)}{c_1(1-c_2)}, \quad (1)$$

где c_2 , c_1 – мольные доли целевого изотопа в равновесных фазах; $c_1/(1-c_1)$ – изотопная концентрация в относительных долях в фазе I ; $c_2/(1-c_2)$ – изотопная концентрация в относительных долях в фазе 2. Если c_2 обозначает содержание изотопов в фазе, которая в результате элементарного акта обогащается этим изотопом, то $\alpha > 1$.

Расстояние между этими сечениями I и II в колонне называется *высотой эквивалентной теоретической тарелки* разделения (ВЭТТ) и данная часть колонны представляет собой *разделительный элемент второго рода*.

Уравнение, описывающее *обогащение в каскаде из элементов второго рода*, при условии, что α для всех элементов одинаково, а коэффициент обогащения $\varepsilon = (\alpha - 1) \ll 1$ и поток отбора $P \ll L$ имеет вид:

$$\frac{dc}{dn} = \varepsilon c(1 - c) - \frac{P}{L}(c_P - c), \quad (2)$$

где c_P – концентрация отбора.

Интегрирование уравнения (2) при заданных ε , P и L , позволяет найти число разделительных элементов n или *число теоретических тарелок разделения* (ЧТТР), необходимых для изменения концентрации целевого изотопа от начальной c_H до требуемой c :

$$n = \frac{1}{\varepsilon(x_1 - x_2)} \ln \frac{(x_1 - c_H)(c - x_2)}{(x_1 - c)(c_H - x_2)}, \quad (3)$$

$$x_{1,2} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{P}{\varepsilon L} \right) \pm \sqrt{\frac{1}{4} \left(1 + \frac{P}{\varepsilon L} \right)^2 - \frac{P c_P}{\varepsilon L}}. \quad (4)$$

Решая уравнение (3) относительно концентрации, при известных c_H и n , можно найти конечную концентрацию c .

В безотборном режиме работы $P = 0$ из уравнения (2):

$$n = n_{\min} = \frac{1}{\varepsilon} \ln \frac{c_2(1 - c_1)}{c_1(1 - c_2)} = \frac{1}{\varepsilon} \ln K. \quad (5)$$

Учитывая, что при $\varepsilon \ll 1$, $\ln \alpha \approx \varepsilon$ вместо уравнения (5) можно написать:

$$n_{\min} = \frac{\ln K}{\ln \alpha}. \quad (6)$$

Уравнение (6) носит название *уравнения Фэнске* и позволяет рассчитывать для любых процессов разделения минимальное ЧТТР, необходимое для достижения заданной степени разделения $q = c_2/c_1$:

$$K = \frac{c_2(1 - c_1)}{c_1(1 - c_2)} = q \frac{1 - c_1}{1 - c_2}.$$

1.2. Принципиальная схема работы колонны или каскада колонн

Разделительные колонны различаются по виду, особенностям строения и работы. На рисунке 1 приведена схема работы колонны, используемая в данной лабораторной работе.

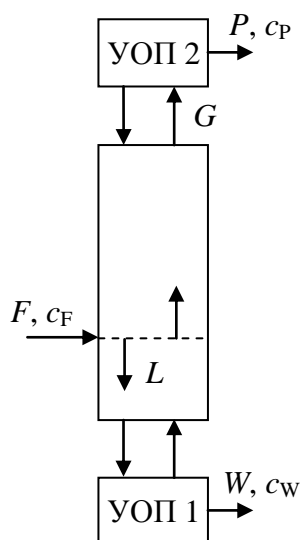


Рисунок 1 – Схема процесса разделения изотопов
 Обозначения: c_P , c_F , c_W – концентрации отбора, питания, отвала;
 P , F , W – потоки отбора, питания, отвала

Разделяемая бинарная смесь изотопов подаётся в среднюю часть колонны (рис. 1), в которой осуществляется противоточное движение фаз. Проходя последовательно ряд разделительных элементов, одна из фаз обогащается лёгким изотопом, а другая – тяжёлым. На концах колонны имеются специальные аппараты, которые предназначены для создания противоточного движения фаз путём перевода смеси изотопов из одной фазы в другую. Эти аппараты называются *узлами обращения потоков* (УОП).

В стационарном режиме работы колонны справедливы следующие соотношения материального баланса:

$$Fc_F = Pc_P + Wc_W, \quad (7)$$

$$F = P + W. \quad (8)$$

В ряде случаев при большой высоте колонны и, исходя из различных практических особенностей организации разделительного процесса, колонну разбивают на несколько, образующие каскад колонн.

3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В процессе выполнения работы следует провести расчет параметров работы каскада колонн в режимах без отбора и с отбором в следующей последовательности.

1. Рассчитать значение коэффициента разделения для заданной температуры по формуле:

$$\alpha - 1 = 4755/T^2 - 0,803/T.$$

2. Определить число теоретических тарелок (ТТ) по формуле (5) для обогатительной и регенеративной частей с учетом, что

$$n = 2 n_{\min}, \text{ т.е. } n_{\text{общ}} = n_{\text{обог}} + n_{\text{рег}}.$$

3. Рассчитать изменение концентрации целевого изотопа в безотборном режиме ($P = 0$) по колоннам каскада с помощью формулы (2), считая, что в каждой колонне содержится 20 ТТ.

4. Определить величину начального потока при работе каскада с заданным отбором по формуле:

$$L_{\text{нач}} = 2P(c_P - c_F)/(\varepsilon c_F(1 - c_F)).$$

5. Рассчитать сокращение потока L по колоннам каскада по формуле:

$$L_{\text{вых}} = (1 - r) L_{\text{вх}},$$

где $L_{\text{вх}}$ и $L_{\text{вых}}$ – входящий и выходящий потоки для одной ТТ, r – доля сокращения потока на одной ТТ, равная 0,5%.

6. Определить средний поток для каждой колонны:

$$L_{\text{ср. кол}} = (L_{\text{вх. кол}} + L_{\text{вых. кол}})/2.$$

7. Рассчитать по средним потокам изменение концентрации целевого изотопа по колоннам, используя формулы (2)–(4).

8. Определить величины потоков питания и отвала, используя уравнения (7) и (8).

9. Построить графики изменения концентрации целевого изотопа в режимах без отбора и с отбором по колоннам каскада.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 1 по вариантам. Значения концентраций отбора и питания равны 99,5% и 92,5%, соответственно.

Таблица 1 – Исходные данные

Вариант	Температура, °С	Концентрация отвала, %	Поток отбора, кг/год
1	25	20	200
2	20	18	150
3	15	16	100
4	25	14	100

Вариант	Температура, °С	Концентрация отвала, %	Поток отбора, кг/год
5	20	12	200
6	15	10	150
7	25	18	150
8	20	10	100
9	15	12	200
10	25	16	125
11	20	14	75
12	15	18	175
13	25	14	100
14	15	12	200

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить описание работы.
2. Рассчитать параметры работы каскада в безотборном режиме.
3. Рассчитать параметры работы каскада в режиме с отбором.
4. Определить величины потоков отвала и питания из уравнения материального баланса.
5. Построить графики изменения концентрации в обоих режимах работы каскада.
6. Составить отчет по проделанной работе, который должен включать в себя:
 - описание процесса разделения изотопов методом химического изотопного обмена колонне;
 - основные формулы и обозначения, используемые при расчете;
 - таблицу со значениями концентрации целевого изотопа по колоннам каскада для безотборного режима;
 - таблицу со значениями потока и концентрации целевого изотопа по колоннам каскада для режима с отбором;
 - величины потоков отвала и питания в каскаде для режима с отбором;
 - графики изменения концентрации в обоих режимах работы каскада.
 - вывод по проделанной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Б.М., Магомедбеков Э.П., Райтман А.А. и др. Разделение изотопов биогенных элементов в двухфазных системах. – М.: ИздАТ, 2003. – 376 с.
2. Андреев Б.М., Зельвенский Я.Д., Кательников С.Г. Разделение стабильных изотопов физико-химическими методами. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 208 с.
3. Розен А.М. Теория разделения изотопов в колоннах. – М.: Атомиздат, 1960. – 439 с.
4. Изотопы: свойства, получение, применение: в 2 т. / под ред. В. Ю. Баранова. – М.: Физматлит, 2005.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
1. Теоретические основы	2
1.1. Основные определения и соотношения	2
1.2. Принципиальная схема работы колонны или каскада колонн	3
2. Методика выполнения работы	4
3. Порядок выполнения работы	6
Литература	7