

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа ядерных технологий  
Направление – Ядерные физика и технологии  
Отделение ядерно-топливного цикла

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**  
по дисциплине «Междисциплинарный проект»  
на тему «Расчет основных параметров изотопного обмена в разделительном  
каскаде при стационарном режиме его работы»  
Вариант 6

Исполнитель:

Проверил:

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Теоретическая часть</b>	<b>3</b>
1.1. Основные определения и соотношения . . . . .	3
1.2. Принципиальная схема работы колонны или каскада колонн . .	4
<b>2. Методика проведения расчетов</b>	<b>5</b>
<b>3. Практическая часть</b>	<b>6</b>
3.1. Исходные данные для расчета . . . . .	6
3.2. Расчет изменения изотопной концентрации по каскаду в стационарном режиме . . . . .	6
<b>Список использованных источников</b>	<b>8</b>

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** провести расчет изменения концентрации  ${}^7\text{Li}$  по колоннам каскада в режимах без отбора и с отбором при заданных параметрах его работы.

## 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 1.1. Основные определения и соотношения

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 разделительных колоннах, при непрерывном противоточном движении потоков жидкой ( $L$ ) и газовой ( $G$ ) фаз. Поскольку значения констант равновесия, летучестей и т. д. для различных изотопозамещённых форм различно, то возникает изотопный эффект, приводящий к изменению содержания данного изотопа в разных фазах. Вследствие этого эффекта, характеризуемого величиной коэффициента разделения  $\alpha$ , содержание изотопа в фазе  $L$ , покидающей некоторое сечение колонны II будет отличаться от содержания этого же изотопа в фазе  $G$ , покидающей сечение I:

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

где  $c_1, c_2$  – мольные доли целевого изотопа в равновесных фазах.

Уравнение, описывающее обогащение в каскаде из элементов второго рода, при условии, что  $\alpha$  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.

## 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.

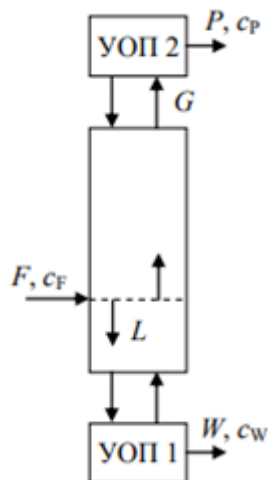


Рисунок 1 — Схема процесса разделения изотопов  
Обозначения:  $c_P$ ,  $c_F$ ,  $c_W$  – концентрации отбора, питания, отвала;  
 $P$ ,  $F$ ,  $W$  – потоки отбора, питания, отвала

Разделяемая бинарная смесь изотопов подаётся в среднюю часть колонны (рисунок 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.

В стационарном режиме работы колонны справедливы следующие соотношения материального баланса:

$$F c_F = P c_P + W c_W \quad (3)$$

$$F = P + W \quad (4)$$

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

## **2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ**

### 3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

#### 3.1. Исходные данные для расчета

Концентрация отбора  $c_P = 0,995$ ;

Концентрация питания  $c_F = 0,925$ ;

Концентрация отвала  $c_W = 0,9$ ;

Температура  $T = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;

Поток отбора  $P = 150 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$ ;

Доля сокращения потока на одной ТТ  $r = 0,5 \%$ ;

Количество ТТ в одной колонне  $N = 20$ .

#### 3.2. Расчет изменения изотопной концентрации по каскаду в стационарном режиме

Поток отбора переведен из кг/год в моль/ч:

$$P = 150 \frac{\text{кг}}{\text{год}} = \frac{150 \frac{\text{кг}}{\text{год}}}{M} = \frac{150 \cdot \frac{1}{365 \cdot 24} \frac{\text{кг}}{\text{ч}}}{(7c_P + 6(1 - c_P)) \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} \approx \text{UndefinedValue} \frac{\text{моль}}{\text{ч}}$$

Рассчитано значение коэффициента разделения по формуле (5):

$$\alpha = 1 + \frac{4755}{T^2} - \frac{0,803}{T} \quad (5)$$

$$\alpha = 1 + \frac{4755}{(273 + 15)^2} - \frac{0,803}{273 + 15} \approx \text{UndefinedValue}$$

Рассчитано значение коэффициента обогащения по формуле (6):

$$\varepsilon = \alpha - 1 \quad (6)$$

$$\varepsilon = \text{UndefinedValue} - 1 = \text{UndefinedValue}$$

По формуле (18) определено число теоретических тарелок:

## ВЫВОДЫ

1. Проведен расчет изменения концентрации  ${}^7\text{Li}$  по колоннам каскада в режимах без отбора и с отбором при заданных параметрах его работы для амальгамно-обменного способа. Построены график изменения концентрации  ${}^7\text{Li}$  в обоих режимах работы каскада и принципиальная схема полученного каскада.
2. Рассчитано, что для обеспечения целевой концентрации на выходе из каскада колонн в безотборном режиме необходимо минимально три колонны.
3. Показано, что в режиме без отбора концентрация по  ${}^7\text{Li}$  на выходе из каскада колонн, состоящей из 6 обменных колонн, 0,99984.
4. Определено, что необходимо увеличить минимальный начальный поток в 1,576 раз для сшивки каскада по концентрации отвала.
5. Установлено, что скорость изменения концентрации по колоннам каскада для режима без отбора больше, чем для режима с отбором.
6. Определены потоки питания  $F = 9,30749$  моль/ч и отвала  $W = 6,85956$  моль/ч.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. В двух томах. Т. 1. Физика атомного ядра. Учебник для вузов. Изд. 3-е М., Атомиздат, 1974 г., 584 с.
2. РД-07-15-2002. Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности [Текст]. – Введ. 2003-05-10. – М.:Гостатомнадзор России.
3. Кондратьев В.Н. Кинетика химических газовых реакций, М.: АН СССР, 1958. — 693 с.
4. Источники Гамма - излучения: [Электронный ресурс] // Изотоп Ростатом. URL: <http://www.isotop.ru/files/treecontent/nodes/attaches/0/95/noname..pdf>. (Дата обращения 15.04.2022).
5. Сталь марки 12X18H10T: [Электронный ресурс] // Центральный металлический портал. URL: [https://metallicheckiy-portal.ru/marki\\_metallov/stk/12X18H10T](https://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/stk/12X18H10T) (Дата обращения 15.04.2022).
6. Сталь марки AISI316: [Электронный ресурс] // Центральный металлический портал. URL: [https://metallicheckiy-portal.ru/marki\\_metallov/stn/AISI316](https://metallicheckiy-portal.ru/marki_metallov/stn/AISI316) (Дата обращения 15.04.2022).
7. Geant4 A simulation toolkit: [Электронный ресурс]. URL: <https://geant4.web.cern.ch/>. (Дата обращения 15.02.2022).
8. Стивен Прата. Язык программирования C++ (C++11). Лекции и упражнения, 6-е издание — М.: Вильямс, 2012. — 1248 с.