

красных кровяных клеток. Получаемый препарат  $^{99m}\text{Tc}$  применяют для визуализации скелета и сердечной мышцы, а также мозга, щитовидной железы, легких, печени, селезенки.

Данная работа посвящена вопросам изучения методов получения радионуклидов с использованием ядерных реакторов и ускорителей.

Изотопы с избытком нейтронов обычно производятся в ядерных реакторах. Многие радионуклиды нарабатывают на реакторных установках с потоком тепловых нейтронов не ниже  $10^{13} \text{ н}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$  [2]. Основным процессом является облучение нейтронами стабильных изотопов мишени с использованием ядерной реакции захвата нейтронов (n,γ). Примерами являются ядерные реакции типа:  $^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$ ,  $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$ ,  $^{124}\text{Xe}(n,\gamma)^{125}\text{Xe}$  и др. Некоторые изотопы получают по реакции вынужденного деления тяжёлых ядер (уран, плутоний, торий) под действием нейтронов (реакция n,f). Такими элементами являются долгоживущие (например,  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ) или короткоживущие (например,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{147}\text{Pm}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) продукты деления.

Ультракоткоживущие радионуклиды нарабатываются на ускорителях (в основном – на циклотронах). На циклотроне ускоряются до высоких энергий протоны, дейтроны и другие лёгкие ионы [3]. На циклотроне осуществляют ядерные реакции: (p,n) (например,  $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$ ,  $^{127}\text{I}(p,n)^{127}\text{Xe}$ ), (d,n) (например,  $^{14}\text{N}(d,n)^{15}\text{O}$ ) и (p,α) (например,  $^{14}\text{N}(p,\alpha)^{11}\text{C}$ ) ядерные реакции. Важно учитывать, что сечения таких реакций экстремально зависят от энергии бомбардирующей частицы. Циклотроны, формирующие пучки протонов с энергиями 0÷10 МэВ, позволяют нарабатывать изотопы, например,  $^{18}\text{F}$ ,  $^{15}\text{O}$ , а с энергиями частиц 17÷30 МэВ получают изотопы  $^{124}\text{I}$ ,  $^{123}\text{I}$  и др. Для наработки медицинских радионуклидов используется еще другие типы ускорителей, например, линейные ускорители электронов, генерирующие жёсткое γ-излучение. На таком ускорителе осуществляется ядерная реакция  $^{100}\text{Mo}(\gamma,n)^{99}\text{Mo}$ . Далее из  $^{99}\text{Mo}$  (материнского нуклида) получают  $^{99m}\text{Tc}$ .

С целью организации производства короткоживущих реакторных изотопов медицинского назначения радионуклид должен обладать небольшим периодом полураспада, сравнимым с длительностью диагностики и терапии. Правильный подбор препарата для медицинских целей увеличивает эффективность медицинских исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекман И.Н. Радиационная и ядерная медицина. Радиохимия том 7. М.: Октопринт. 2012. С 315-319.
2. Баранова В.Ю. Изотопы: свойства, получение, применение. – М.: ИздАТ, 2000. - 410 с.
3. Ziessman H.A., Rehm P.// Nuclear medicine (case review series)//2ed//Elsevier//2010. - 416 p.

#### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В КАСКАДЕ ГАЗОВЫХ ЦЕНТРИФУГ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ КРИПТОНА

А.А. Ушаков<sup>1</sup>, В.П. Совач<sup>1</sup>, А.А. Орлов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «ПО «Электрохимический завод»,

Россия, г. Зеленогорск Красноярского края, ул. Первая промышленная, 1, 663690

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050,

E-mail: [orlova@tpu.ru](mailto:orlova@tpu.ru)

При эксплуатации каскада газовых центрифуг (ГЦ) для разделения многокомпонентных изотопных смесей (МИС) возникают нестационарные разделительные процессы. Они снижают эффективность работы каскада и влияют на качество выпускаемого продукта. Известные математические модели нестационарных разделительных процессов в каскадах по разделению МИС [1] имеют ограниченную область применения:

использование их для совместного расчёта нестационарных гидравлических и разделительных процессов невозможно. Для устранения указанных недостатков нами была разработана математическая модель нестационарных гидравлических процессов в каскадах ГЦ для разделения МИС [2].

Дальнейшие работы были направлены на создание математической модели нестационарных разделительных процессов в каскаде ГЦ для разделения МИС. Разработанная модель основывается на положении, что ступень каскада представлена в виде четырёх выделенных объёмов (коллектор питания, ГЦ, коллектор отвала и коллектор отбора) [2]. Совместный расчёт нестационарных гидравлических и разделительных процессов сводится к определению гидравлических параметров каскада по алгоритму, изложенному в работе [2], замене дифференциальных уравнений нестационарного разделения первого порядка разностными уравнениями по неявной схеме Эйлера [3], составлению и решению систем линейных алгебраических уравнений, и нахождению величин концентраций компонентов на каждом временном слое. Проведена верификация разработанной модели путем расчёта параметров нестационарных разделительных процессов в модельном каскаде ГЦ для разделения изотопов криптона. Сравнение полученных расчетных величин параметров с данными других авторов [1] показало, что разработанная математическая модель адекватно описывает нестационарные разделительные процессы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лагунцов Н.И., Левин Е.В., Николаев Б.И., Сулаберидзе Г.А. О некоторых особенностях переходных процессов при разделении многокомпонентных изотопных смесей в каскадах // Атомная энергия. – 1987. Т. 62. – № 6. – С. 394-398.
2. Орлов А.А., Ушаков А.А., Совач В.П. Математическая модель нестационарных гидравлических процессов, протекающих в каскаде газовых центрифуг при разделении многокомпонентных изотопных смесей // Альтернативная энергетика и экология. – 2015. Т. 187. – № 23 – С. 45-50.
3. Пирумов У.Г. Численные методы. – М.: Дрофа, 2003. – 221 с.

#### ОЧИСТКА ВИСМУТА ОТ РАДИОАКТИВНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

В.А. Федотов, И.И. Новоселов, И.В. Макаров

Институт неорганической химии СО РАН

Россия, г.Новосибирск, пр.Академика Лаврентьева,3, 600090

E-mail: fedotov@ niic.nsc.ru

Сцинтилляционные кристаллы ортогерманата висмута  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  (BGO) находят широкое применение в ядерной физике, физике высоких энергий, геологоразведке, медицинской и промышленной томографии, низкофоновой спектрометрии и других приложениях. При этом важной проблемой для производителей BGO нередко оказывается наличие в кристаллах высокого собственного радиационного фона, обусловленного радиоактивными загрязнениями компонентов шихты для выращивания кристаллов.

При исследовании кристаллов BGO, производимых в Институте неорганической химии СО РАН было показано [1], что высокий собственный радиационный фон обусловлен присутствием  $\alpha$ -активного  $^{210}\text{Po}$  в металлическом висмуте, который используется для синтеза оксида висмута – прекурсора BGO.

В связи с этим нами были проведены исследования по разработке способов очистки висмута от полония для снижения  $\alpha$ -фона кристаллов BGO. В результате, для очистки исходного товарного висмута марки Ви0, Ви00 от полония предложено использовать обработку расплава висмута металлическим натрием. Для использования висмута, извлекаемого из отходов производства кристаллов BGO, очистку от полония предложено проводить цементацией висмутсодержащих солянокислых растворов выщелачивания на