

**ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ R-КАСКАДА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПОЛУЧЕНИЮ
ИЗОТОПА ГАДОЛИНИЯ-157 НА КАСКАДЕ ЖИДКОСТНЫХ ЦЕНТРИФУГ**

RU0311419



И.А. Галкин, В.М. Денисов

ОКБ ОАО "ГАЗ",
60304, Нижний Новгород, пр. Ленина
Тел./факс (831-2)-567851, e-mail: kwk@gaz.ru

1. В связи с тем, что производительность жидкостных центрифуг много меньше газовых и стоимость работы на них будет выше, имеет смысл попытаться уменьшить работу разделения за счет оптимизации межступенных потоков в каскаде. Такая возможность представляется в связи с созданием квазиидеальных R – каскадов, исключающих смешивания ключевых элементов. Подробно такая методика изложена в отчете А.А. Сазыкина [1]

2. В общих чертах опишем свойства R – каскада. В узлах смешения потоков R-каскада имеет место несмещение относительной концентрации $R_{m,l}$ (где m и l – номера изотопов выбранных в качестве ключевых). Таким образом: $R_{m,l}^-(n-1) = R_{m,l}^-(n) = R_{m,l}^-(n+1)$, n – номер ступени.

Как показано в работе [1] R-каскады являются подклассом каскадов более общего вида (так называемых квазиидеальных каскадов) и для них выполняются все положения их теории. Отметим основные из них, придерживаясь терминологии и обозначений работы [1]. Коэффициенты разделения

любой пары компонент в отборе и отвале, $\alpha_{i,j} = \frac{R_{i,j}^-}{R_{i,j}^+}$, $\beta_{i,j} = \frac{R_{i,j}^+}{R_{i,j}^-}$ не зависят от номера ступени и

изотопного состава смеси, причем для ключевых изотопов $\alpha_{m,l} = \beta_{m,l} = \sqrt{q_{m,l}}$ (где $q_{m,l}$ – полный коэффициент разделения пары изотопов m, l в ступени. Кроме того, срезы парциальных потоков

$\varphi_i = \frac{L_i^-}{L_i^+}$; $1 - \varphi_i = \frac{L_i^+}{L_i^-}$, (L_i^+, L_i^-, L_i^+ – парциальные потоки изотопов) также постоянны на всех ступенях

каскада. В силу вышеуказанных свойств уравнения материального баланса в секциях обогащения и обеднения: $\varphi_i L_{i,n} - (1 - \varphi_i) L_{i,n+1} = P_i$, $(1 - \varphi_i) L_{i,n} - \varphi_i L_{i,n-1} = W_i$ ($P_i; W_i$ – парциальные потоки i -го изотопа в отборе и отвале) линейные и имеют аналитические решения:

$$L_{i,n} = P_i a_i (1 - \lambda_i^{n-n_f}), \quad n > n_f \quad (1)$$

$$L_{i,n} = W_i a_i (\lambda_i^n - 1), \quad n < n_f \quad (2)$$

$$a_i = \frac{q_{i,l} + \sqrt{q_{m,l}}}{q_{i,l} - \sqrt{q_{m,l}}} \quad \lambda_i = \frac{q_{i,l}}{\sqrt{q_{m,l}}}$$

Из равенств (1), (2) легко выводятся следующие важные соотношения:

$$P_i = F_i \frac{(\lambda_i^{n_f} - \lambda_i^{n_f-n_f-1})}{\lambda_i^{n_f} - 1}, \quad W_i = F_i \frac{(\lambda_i^{n_f-n_f-1} - 1)}{\lambda_i^{n_f} - 1},$$

позволяющие определять парциальные потоки компонент в отборе и отвале в зависимости от парциальных потоков в питании и количества ступеней в секциях обогащения и обеднения. Концентрации изотопов в отборе и отвале получаются из очевидных

равенств: $C_{i,p} = \frac{P_i}{\sum P_i}$, $C_{i,w} = \frac{W_i}{\sum W_i}$

3. Согласно оценкам для получения 1кг гадолиния, обогащенного до 85% изотопом Gd-157, требуется каскад из 200 - 300 жидкостных центрифуг, собранных по схеме без смешивания целевого изотопа. Разделение производится в два этапа. На первом этапе в качестве ключевых изотопов выбраны Gd-156 и Gd-158. При этом в отборе каскада концентрируются изотопы с молекулярными весами 157 и больше, а в отвале – изотопы с молекулярными весами 157 и меньше. За счет оптимизации количества ступеней и номера ступени ввода питания добиваемся, чтобы концентрация Gd-157 в отборе и в отвале практически равнялась концентрации в питании, так что и отбор и отвал можно было использовать на втором этапе. Количество ступеней необходимых на первом этапе $N=80$, номер ступени ввода питания $NF=44$, $\theta=0,547$.

На втором этапе в каскад в качестве питания подается отбор первого этапа, только теперь за ключевые изотопы выбрана пара изотопов Gd-157 и Gd-158. Теперь добиваемся обеднения в отборе Gd-158, 160. Необходимое количество ступеней для обогащения Gd-157 до концентрации 85% $N=100$ и точка ввода питания $NF=85$, при этом коэффициент деления потока $\theta=0,095$. Аналогично создается

каскад для извлечения Gd-157 из отвала первого этапа. При этом смесь обедняется легкой компонентой. Общее количество центрифуг на 3^а этапах равно 200-300 штук.

Молярная масса	152	154	155	156	157	158	160
Концентрации							
Исходная смесь	0.0020	0.0215	0.1473	0.2047	0.1568	0.2487	0.2190
После первого этапа (отбор)	$8 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-6}$	0.0002	0.0110	0.1560	0.4400	0.3930
После первого этапа (отвал)	0.0045	0.0490	0.3320	0.4480	0.1580	0.0079	$1,6 \cdot 10^{-6}$
После второго этапа (отбор)	$8 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-5}$	0.0024	0.1010	0.8550	0.0420	0.0062
После второго этапа (отвал)	$2 \cdot 10^{-10}$	$5 \cdot 10^{-9}$	$5,7 \cdot 10^{-6}$	0.0001	0.0800	0.483	0.436

4. По-видимому, дальнейшая оптимизация возможна лишь с увеличением производительности жидкостных центрифуг. Как следует из работы [3] она может быть увеличена в два раза.

5. Таким образом, оценки подтверждают вывод о том, что при необходимой оптимизации для получения 1 кг гадолия, обогащенного изотопом Gd-157 до 90%, требуется ~150 жидкостных центрифуг.

Литература

1. А.А. Сазыкин. «Квазиидеальные каскады для разделения многоизотопных смесей изотопов». Доклад на 5-ой Всероссийской (Международной) Научной Конференции. Звенигород. 2000г.
2. В.М. Денисов, И.А. Галкин. «Ориентировочная стоимость получения изотопа гадолия-157 на каскаде жидкостных центрифуг». Доклад на 5-ой Всероссийской (Международной) Научной Конференции. Звенигород. 2000г.
3. В.М. Денисов, И.А. Галкин. Доклад на 7-ой Международной конференции "Разделение изотопов в жидкостях и газах", Москва, 24-28 июля 2000 г.