К теории несимметричных разделительных каскадов при произвольных обогащениях на разделительном элементе

Н. А. КОЛОКОЛЬЦОВ, Н. И. ЛАГУНЦОВ

УДК 621.039.3

В работе [1] рассмотрено построение симметричных каскадов с большими произвольными обогащениями на ступени и доказана возможность получения при произвольных обогащениях идеальных каскадов без смешения на входах в разделительные ступени.

В настоящей работе проводится обобщение этих результатов в применении к несимметричным каскадам.

Как известно [2, 3], для малых обогащений несимметричные каскады могут быть гораздо выгоднее соответствующих симметричных каскадов. Естественно ожидать, что и при больших обогащениях несимметричные каскады могут обладать некоторыми преимуществами. В несимметричном каскаде обогащенный поток с i-й ступени подается на вход $i+k$-й ступени, а обедненный поток — на $i-(p-1)$-ю ступень, причем $k\geqslant 1$, $p\geqslant 2$. В частном случае при $k=1$, $p=2$ каскад симметричен.

Несимметричный каскад имеет, вообще говоря, k отборов и $p-1$ отвалов [3]. Для малых обогащений на одной ступени можно считать концентрации всех отборов и соответственно всех отвалов приближенно одинаковыми. Это значительно упрощает условия на концах каскада.

Для каскадов с большими обогащениями такое предположение неправомочно и условия соединения ступеней на «концах» должны быть строго рассмотрены. В настоящей работе принято, что на отборном конце все обогащенные потоки со ступеней $N-k\leqslant i<N$ подаются на вход последней N-й ступени, а на отвальном конце все обедненные потоки со ступеней $1<i\leqslant p$ подаются на вход первой ступени. Схема такого каскада в частном случае $k=2$, $p=4$, $N=6$ показана на рисунке.

Баланс полных потоков и потоков разделяемого компонента на входе в некоторую ступень, где $1+k\leqslant i\leqslant N-(p-1)$, дает

$$L_{i-k}\Theta_{i-k}+L_{i+(p-1)}(1-\Theta_{i+(p-1)})=L_i; \tag{1.1}$$

$$L_{i-k}\Theta_{i-k}(c_{i-k}+\delta^+_{i-k})+L_{i+(p-1)}(1-\theta_{i+(p-1)})\times$$
$$\times(c_{i+(p-1)}-\delta^-_{i+(p-1)})=L_ic_i. \tag{1.2}$$

Если на одну из этих ступеней с номером $i=j$ подается питание F с концентрацией c_F, то для этой ступени можно написать

$$F+L_{j-k}\Theta_{j-k}+L_{j+(p-1)}(1-\Theta_{j+(p-1)})=L_j; \tag{2.1}$$

$$Fc_F+L_{j-k}\Theta_{j-k}(c_{j-k}+\delta^+_{j-k})+L_{j+(p-1)}(1-\theta_{j+(p-1)})\times$$
$$\times(c_{j+(p-1)}-\delta^-_{j+(p-1)})=L_jc_j. \tag{2.2}$$

На отборном конце каскада те же уравнения принимают более простой вид:

$$L_{i-k}\Theta_{i-k}=L_i,\qquad N-(p-1)<i<N; \tag{3.1}$$

$$L_{i-k}\Theta_{i-k}(c_{i-k}+\delta^+_{i-k})=L_ic_i,\qquad N-(p-1)<i<N;$$
$$1<i<1+k; \tag{3.2}$$

$$\sum_{i=1}^{k}L_{N-i}\Theta_{N-i}=L_N; \tag{3.3}$$

$$\sum_{i=1}^{k}L_{N-i}\Theta_{N-i}(c_{N-i}+\delta^+_{N-i})=L_Nc_N; \tag{3.4}$$

$$L_N\Theta_N=P; \tag{3.5}$$

$$L_N\Theta_N(c_N+\delta^+_N)=Pc_P; \tag{3.6}$$

и соответственно для отвального конца

$$L_{i+(p-1)}(1-\Theta_{i+(p-1)})=L_i,\qquad 1<i<1+k; \tag{4.1}$$

$$L_{i+(p-1)}(1-\Theta_{i+(p-1)}(c_{i+(p-1)}-\delta^-_{i+(p-1)})=L_ic_i,$$
$$1<i<1+k; \tag{4.2}$$

$$\sum_{i=1}^{p-1}L_{i+1}(1-\Theta_{i+1})=L_1; \tag{4.3}$$

$$\sum_{i=1}^{p-1}L_{i+1}(1-\Theta_{i+1})(c_{i+1}-\delta^-_{i+1})=L_1c_1; \tag{4.4}$$

$$L_1(1-\Theta_1)=W; \tag{4.5}$$

$$L_1(1-\Theta_1)(c_1-\delta^-_1)=Wc_W. \tag{4.6}$$

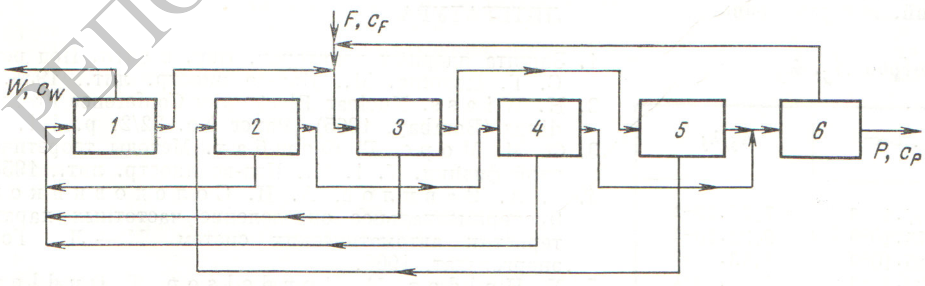
Если функцию обогащения на i-й ступени задать в виде

$$c^+_i-c_i=\delta^+_i=f(c_i,\ \Theta_i), \tag{5}$$

причем, согласно балансу потоков,

$$\delta^+_i=\frac{1-\Theta_i}{\Theta_i}\delta^-_i, \tag{6}$$

то система уравнений (1) — (4) представляет полную систему для расчета любого заданного каскада. При этом подразумевается, что отбор P, концентрации отбора c_P, питания c_F и отвала c_W заданы. Значения L_i должны оставаться в известных пределах, чтобы не получилось «отрицательных обогащений». Кроме того, следует учитывать, что обогащение на одной ступени конечно и при строгом



Несимметричный каскад из шести ступеней.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. Скорины

выполнении условий баланса число ступеней может получиться «дробным». При необходимости точной подгонки одна из величин L_i не является произвольной.

Для построения идеального несимметричного каскада используются условия несмешения на входах в разделительные ступени, вытекающие непосредственно из уравнений (1.2), (3.2), (3.4), (4.2), (4.4). Эти условия после алгебраических преобразований и с использованием условия (6) и граничных условий (3.6), (4.6) могут быть представлены в виде выражений для приращения концентрации на разделительной ступени:

$$c_i - c_{i-k} = f(c_{i-k}, \Theta_{i-k}), \quad 1+k \leqslant i < N; \tag{7.1}$$

$$c_N - c_{i-k} = f(c_{i-k}, \Theta_{i-k}), \quad N \leqslant i < N+k; \tag{7.2}$$

$$c_p - c_N = f(c_N, \Theta_N) \tag{7.3}$$

и формул для определения степени деления потоков:

$$\Theta_i = \frac{c_i - c_{i-(p-1)}}{c_{i+k} - c_{i-(p-1)}}, \quad 1+(p-1) < i < N-k; \tag{8.1}$$

$$\Theta_i = \frac{c_i - c_{i-(p-1)}}{c_N - c_{i-(p-1)}}, \quad N-k \leqslant i < N; \tag{8.2}$$

$$\Theta_i = \frac{c_i - c_1}{c_{i+k} - c_1}, \quad 1 < i \leqslant 1+(p-1); \tag{8.3}$$

$$\Theta_1 = \frac{c_1 - c_W}{c_{1+k} - c_W}, \tag{8.4}$$

$$\Theta_N = \frac{c_N - c_{N-(p-1)}}{c_P - c_{N-(p-1)}}. \tag{8.5}$$

Для получения полной системы уравнений идеального каскада достаточно [1] к системам уравнений (7), (8) прибавить уравнение баланса по полным потокам или по потоку легкого компонента на выбор. Рассматривая первый случай, можно утверждать, что системы уравнений (7), (8) и уравнения (1.1), (2.1), (3.1), (3.3), (3.5), (4.1), (4.3), (4.5) образуют полную систему уравнений идеального каскада без смешений на входах в ступени при произвольных обогащениях.

Таким образом, доказана возможность построения идеального несимметричного каскада при любых p и k и произвольном обогащении на одной ступени. Конкретный численный расчет несколько сложнее, чем в симметричном каскаде. Практический интерес представляют случаи, когда $k=1$ или $p=2$. В этих случаях при расчете не возникает принципиальных трудностей.

В частном случае симметричного каскада при $k=1$, $p=2$ полученная система уравнений принимает простой вид [1]:

$$c_{i+1} - c_i = f(c_i, \Theta_i); \tag{9.1}$$

$$\Theta_i = \frac{c_i - c_{i-1}}{c_{i+1} - c_{i-1}}; \tag{9.2}$$

$$L_i \Theta_i - L_{i+1}(1 - \Theta_{i+1}) = P. \tag{9.3}$$

Необходимо отметить, что при использовании для вычислений уравнения (9.3) в симметричных каскадах и уравнений типа (1.1) в несимметричных каскадах следует быть очень осторожным, поскольку небольшая неточность в определении Θ_i может привести к большим ошибкам в определении L_i. Это замечание особенно важно для случаев, когда обогащения на ступени невелики, в частности для каскадов с малыми обогащениями. Насколько велики возможные отклонения в распределении L_i при малых изменениях в Θ_i, хорошо показано в работе [4]. Во избежание ошибок в расчете следует везде, где это возможно, вместо уравнения типа (9.3) пользоваться уравнениями вида $L_i = \frac{P(c_p - c_i)}{\Theta_i \delta_i^+}$, которые менее чувствительны к ошибкам в величине Θ_i.

В заключение отметим, что каскад без смешения концентраций на входах при заданных p и k по-видимому, должен иметь наименьший суммарный поток. Найти аналитически наиболее выгодные значения p и k, соответствующие функции $f(c, \Theta)$ в общем виде, пока не удалось.

Поступило в Редакцию 15/VII 1970 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. А. Колокольцов, Н. И. Лагунцов. «Атомная энергия», 27, 560 (1969).
2. G. Bonligand. CEA Rep. 2622 U.K. AEA Prod. Group. inform. ser. 16, 1965.
3. Н. А. Колокольцов. «Атомная энергия», 27, 9 (1969).
4. Kunio Higashi, Akio Ogo., Nucl. Sci. and Engng, 32, 1 (1968).

Отложение урана в костях животных

О. ОТГОНСУРЕН, В. П. ПЕРЕЛЫГИН, Д. ЧУЛТЭМ

УДК 578.082

В последние годы опубликованы работы, посвященные проблеме определения содержания урана в костях животных. Согласно работе [1], содержание урана в костях современных млекопитающих примерно такое же, как и в других тканях организма, и составляет $2 \cdot 10^{-8}$ г/г по весу. Однако измерения содержания урана в костях древних животных, проведенные в 1954 г. [2], показали, что эти кости имеют повышенную концентрацию урана. Была предпринята также попытка [2] радиоактивного датирования костей ископаемых животных по соотношению активностей, обусловленных распадом урана и его дочерних продуктов.

В работах [3] отмечено повышенное содержание урана и тория в костях некоторых видов ископаемых рыб. Авторы этих работ пришли к выводу, что, по-видимому, способность адсорбировать уран присуща костям лишь одного из исследованных видов ископаемых рыб, отличающихся толстым защитным панцирем.

В работе [4] приведены результаты измерений содержания урана в костях ископаемых животных из различных районов Монголии, выполненных с помощью сцинтилляционного гамма-спектрометра. Авторы работы [4] пришли к выводу, что содержание урана в костях различных видов животных, обнаруженных в одном и том же месте и имеющих одинаковый возраст, примерно идентично.

Цель настоящей работы — выяснение возможностей применения методики диэлектрических детекторов заря-

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. Скорины