

УДК 66.023.2

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ АМАЛЬГАМНО-ОБМЕННОЙ КОЛОННЫ

И.А. Тихомиров, Д.Г. Видяев, А.А. Гринюк

Томский политехнический университет
E-mail: annag11@yandex.ru

Описана методика определения основных параметров амальгамно-обменной колонны: коэффициентов разделения (обогащения), числа теоретических тарелок, высоты эквивалентной теоретической тарелки, изменения потока амальгамы с учётом разложения, величины обменного потока.

Для расчета амальгамно-обменного каскада по разделению элементов или изотопов необходимо определить его основные параметры, такие как: коэффициент разделения (обогащения), число теоретических тарелок в колонне, высоту эквивалентной теоретической тарелки, величину обменного потока, скорость разложения амальгамы вдоль по каскаду.

Кроме того, необходимо знать геометрические размеры обменной колонны и параметры заполняющей ее насадки.

Все указанные параметры, кроме обменного потока, определяются экспериментально по известным методикам [1–3]. Величина обменного потока рассчитывается с учетом обеспечения необходимой производительности каскада по целевому продукту и с учетом степени разложения потока амальгамы при ее движении по колоннам каскада. Геометрические размеры колонны и насадки обычно задаются исходя из модификации используемого оборудования.

В данной работе приведены уравнения, с помощью которых можно рассчитать характеристики амальгамно-обменной колонны и каскада в целом.

Амальгамно-обменный процесс разделения изотопов и элементов в колоннах осуществляется в форме двух дифференциальных уравнений:

$$\left(\frac{J}{J_0} + \frac{D_2}{J}\right) \frac{dc}{dx} = \varepsilon c(1-c) - \frac{q_k(c_k - c)}{J},$$

$$\frac{dc}{dn} = \varepsilon c(1-c) - \frac{q_k(c_k - c)}{J}. \quad (1)$$

В первом уравнении градиент изотопной концентрации dc/dx отнесен к длине колонны; во втором – dc/dn – отнесен к числу ступеней; J – поток циркуляции в фазах; J_0 – полный обменный поток между фазами; D_2 – эквивалентный коэффициент диффузии, равный коэффициентам диффузии в фазах ($D_2 = D_1 + D_2$); ε – коэффициент изотопного

обогащения $\varepsilon = \alpha - 1$, где $\alpha = \left(\frac{c}{1-c}\right)_{ам} / \left(\frac{c}{1-c}\right)_{p-p}$ – коэффициент изотопного разделения; c – текущая изотопная концентрация; c_k – конечное значение изотопной концентрации после обогащения; q_k – величина отбора обогащенного продукта.

В соответствии с указанными уравнениями определяют и основные параметры и характеристики колонны [1–3].

1. Определение коэффициентов изотопного разделения (обогащения)

При определенной температуре обменивающиеся фазы интенсивно перемешиваются в течение определенного времени, так, чтобы изотопный обмен между ними практически завершился и наступило изотопное квазиравновесие. Определим изотопный состав c обменивающихся фаз, а также коэффициенты изотопного разделения α и обогащения ε в амальгаме и растворе по формулам:

$$\alpha = \frac{\beta_{ам}}{\beta_{p-p}}; \quad \varepsilon = \alpha - 1.$$

2. Определение числа теоретических тарелок и высоты элементарной теоретической тарелки

а) Рассмотрим безотборный режим, в котором $q_k = 0$.

Число теоретических тарелок N в колонне для данного режима определяется по формуле:

$$N = \frac{1}{\varepsilon} \ln \frac{\beta_k}{\beta_0} = \frac{1}{\varepsilon} \ln \left(\frac{c_k}{1-c_k} \right) / \left(\frac{c_0}{1-c_0} \right),$$

где c_0 – начальная изотопная концентрация.

По известным значениям N и длине колонны L определяется высота элементарной теоретической тарелки:

$$H = \frac{L}{N} = \frac{1}{S},$$

где $S = N/L$.

Кроме того, если известны значения J и J_0 , то с учётом того, что $D_2 \ll J$, оценку H можно произвести по формуле:

$$H = \frac{J}{J_0} + \frac{D_2}{J} \cong \frac{J}{J_0};$$

б) В режиме с отбором q_k при $J = \text{const}$ при интегрировании (1) от нуля до c и от c_0 до c_k будем иметь число теоретических тарелок:

$$N = \frac{1}{\varepsilon(x_1 - x_2)} \ln \frac{(c_k - x_1)(x_2 - c_0)}{(c_k - x_2)(x_1 - c_0)}. \quad (2)$$

Здесь:

$$x_1 = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{q_k}{J\varepsilon} \right) + \sqrt{\frac{1}{4} \left(1 + \frac{q_k}{J\varepsilon} \right)^2 - \frac{q_k c_k}{J\varepsilon}} \quad \text{и} \quad x_2 = \frac{1}{x_1} \cdot \frac{q_k c_k}{J\varepsilon},$$

где x_1 и x_2 – корни квадратного уравнения типа $c^2 - ac + b = 0$.

3. Оценка потоков циркуляции в колонне с учётом разложения амальгамы

С учётом разложения амальгамы J_p поток на n -ой ступени будет равен:

$$J_n = J_{нач} - \int_0^x J_p dx = J_{нач} - \int_0^n \frac{J_p}{S} dn = J_{нач} - \int_0^n J_p H dn,$$

здесь $J_{нач}$ – начальный поток циркуляции, J_n , J_p – поток циркуляции и разложения, H – высота элементарной теоретической тарелки.

При условии $J_p = \text{const}$ и $S=1/H = \text{const}$:

$$J_n = J_{нач} - J_p \frac{n}{S} = J_{нач} - J_p H n.$$

Даже при этом допущении интегрирование ур. (1) с учётом разложения амальгамы будет затруднено. Решить данную проблему можно путём перехода к усредненному потоку циркуляции.

а) Заменим переменную J_n , усреднив потоки:

$$J_n = \frac{J_{нач} + J_{кон}}{2} = \text{const},$$

где $J_{кон}$ – конечный поток циркуляции.

В этом случае ур. (1) решается, и вид расчётной формулы для N будет практически совпадать с выражением (2).

б) Предположим, что поток циркуляции по колонне изменяется по линейному закону:

$$J_{кон} = J_{нач} - R \cdot J_{кон} = (1-R) \cdot J_{нач}, \quad (3)$$

где R – доля разложения амальгамы вдоль по колонне.

С учётом соотношения (3) получаем для потока циркуляции:

$$J_n = \left(1 - \frac{R}{2}\right) \cdot J_{нач} = \text{const}.$$

В этом случае уравнение колонны (1) для N практически решается по типу ур. (2).

4. Оценка величины обменного потока

В соответствии с ур. (1), где $D_2 \ll J$, можем записать:

$$H = \left(\frac{J}{J_0} + \frac{D_2}{J}\right) \cong \frac{J}{J_0}, \quad \text{т.е.} \quad J_0 \cong J \cdot S = \frac{J}{H}.$$

Усреднённый обменный поток на единице длины для колонны можно записать в виде:

$$\bar{J}_0 = \bar{J}_n \cdot S.$$

Следовательно, величину среднего обменного потока $J_{0\Sigma}$ для колонны можно оценить как:

$$J_{0\Sigma} = \bar{J}_0 \cdot L = \bar{J}_n \cdot S \cdot L = \bar{J}_n \cdot N.$$

Таким образом, разработана методика определения основных параметров амальгамно-обменной колонны: коэффициентов разделения (обогащения), числа теоретических тарелок, высоты эквивалентной теоретической тарелки, изменения потока амальгамы с учётом разложения, величины обменного потока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розен А.М. Теория разделения изотопов в колоннах. – М.: Атомиздат, 1960. – 436 с.
2. Тихомиров И.А., Орлов А.А., Видяев Д.Г. Разделение изотопов и элементов электрохимическими и обменными методами. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 203 с.

3. Андреев Б.М., Зельвенский Я.Д., Кательников С.Г. Разделение стабильных изотопов физико-химическими методами. – М.: Энергоиздат, 1982. – 206 с.