

УДК 621.039.3

**РАЗДЕЛЕНИЕ ИОНОВ С БЛИЗКИМИ СВОЙСТВАМИ
И ИЗОТОПОВ В СИСТЕМЕ ИОНИТ — РАСТВОР В УСЛОВИЯХ
ДВИЖУЩЕГОСЯ ИОНИТА ПРИ НАЛОЖЕНИИ ПОСТОЯННОГО
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

И. А. ТИХОМИРОВ, А. П. ВЕРГУН, Л. А. АВДЕЕВ,
В. В. ЛАРИОНОВ

(Представлена научным семинаром физико-технического факультета)

Рассматривается теория процесса разделения ионов с близкими свойствами и изотопов при электромиграции в системе ионит — раствор в условиях движения обеих фаз системы.

Решение предложенного уравнения процесса дает выражение для оценки распределения ионов по колонке, а также позволяет найти величину эквивалентной теоретической тарелки (ВЭТТ).

Иллюстраций 1, библиографий 4.

Исследованию процесса разделения изотопных ионов в системе ионит — раствор при наложении постоянного электрического поля посвящен ряд статей [1, 2], где данный процесс рассматривается как противоточная электрохроматография. В этих работах отмечается также, что при концентрации питающего раствора $c_0 < 0,3$ доля ионов, переносимых по иониту, возрастает, а так как противоток осуществляется только по раствору, эффективность процесса разделения снижается.

В нашей работе рассматривается процесс разделения бинарной смеси изотопных ионов в условиях противотока как раствора, так и ионита, причем в начальный момент времени ионит находится в солевой форме в равновесии с питающим раствором. Такая организация процесса позволяет рассматривать его как разделение ионов при противоточной электромиграции в двухфазной системе. Здесь гранулированный ионит выполняет следующие функции: служит насадкой, уменьшающей конвективное перемешивание, и средой, в которой осуществляется электромиграция разделяемых ионов. Исходя из этого, разделительное устройство рассматривается как двухпроводная модель. Доля раствора в единичном сечении (γ) зависит от размеров гранул и пористости ионита. Для рассматриваемой концентрации питающего раствора $c_0 > 0,1N$ процессы на границе ионит — раствор можно не учитывать [3, 4]. Исходя из вышеприведенной модели (рис. 1), составляем дифференциальное уравнение данного процесса

$$I = \gamma I_1 + (1 - \gamma) I_1', \quad (1)$$

где I — поток легкой компоненты по устройству, I_1 и I_1' — потоки легкой компоненты по фазам раствора и ионита соответственно.

Поток ионов в каждой фазе складывается из следующих величин: потока под действием электрического поля I_E , переноса движущейся

средой I_w и потока вследствие концентрационной диффузии I_D . Значения указанных величин определяются соотношениями:

$$I_{E_1} = c_1 v_1, \quad I'_{E_1} = m_1 v'_1 \div I_{w_1} = c_1 w_1, \quad I'_{w_1} = m_1 w'_1; \quad I_{D_1} = D_1 \frac{dc_1}{dx};$$

$$I'_{D_1} = D'_1 \frac{dm_1}{dx},$$

где C_1 и m_1 — концентрация легкой компоненты в растворе и ионите соответственно, v_1 — скорость движения иона под действием электрического поля, w_1 — скорость движения среды, D_1 — коэффициент диффузии, индекс I показывает, что величина относится к легкой компоненте, штрихом отличаются величины, характеризующие фазу ионита.

За положительное принято направление от анода к катоду. Тогда, согласно схеме потоков, приведенной на рис. 1, выражение для I запишется:

$$I = \gamma \left[(v_1 - w_1) c_1 - D_1 \frac{dc_1}{dx} \right] +$$

$$(2)$$

$$+ (1 - \gamma) \left[(v'_1 - w'_1) m_1 - D'_1 \frac{dm_1}{dx} \right].$$

При рассмотрении уравнения делаем допущение о том, что концентрация ионов в фазе раствора $c_0 = c_1 + c_2$ и в фазе ионита $m_0 = m_1 + m_2$ не меняется по длине разделительного устройства. Отсюда следует, что напряженность электрического поля в устройстве тоже величина постоянная. Исходя из допущения о постоянстве концентрации, получим $I_1 + I_2 = 0$ и $I'_1 + I'_2 = 0$. Расписывая эти выражения и разрешив их относительно w и w' , получим

$$w = \frac{1}{c_0} (v_1 c_1 + v_2 c_2) - \frac{1}{c_0} \left(D_1 \frac{dc_1}{dx} - D_2 \frac{dc_2}{dx} \right), \quad (3)$$

$$w' = \frac{1}{m_0} (m_1 v'_1 + m_2 v'_2) - \frac{1}{c_0} \left(D'_1 \frac{dm_1}{dx} - D'_2 \frac{dm_2}{dx} \right). \quad (4)$$

Подставляя (3) и (4) в (2) и вводя обозначения

$$v_1 - v_2 = \Delta v; \quad v'_1 - v'_2 = \Delta v'; \quad \frac{\Delta v'}{\Delta v} = p; \quad \frac{m_1}{m_0} = \mu;$$

$$\frac{c_2}{c_0} D_1 - \frac{c_1}{c_0} D_2 = D; \quad \frac{m_2}{m_1} D'_1 - \frac{m_1}{m_0} D'_2 = D',$$

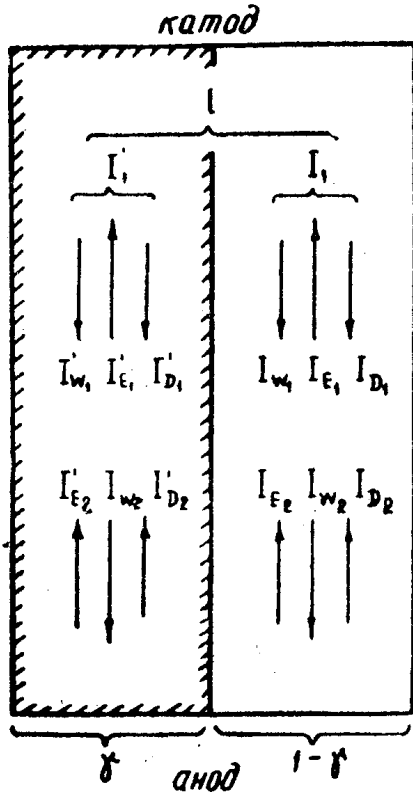


Рис. 1. Схема потоков при разделении ионов противоточной электромиграцией в системе ионит — раствор: $\left[\begin{array}{|l|} \hline \text{////} \\ \hline \end{array} \right]$ — фаза ионита, $\left[\begin{array}{|l|} \hline \text{ } \\ \hline \end{array} \right]$ — фаза раствора.

получим

$$I = \gamma \Delta v \frac{c_1 (c_0 - c_1)}{c_0} - \gamma \frac{1}{c_0} D \frac{dc_1}{dx} - (1 - \gamma) p \Delta v (\mu - \mu^2) - (1 - \gamma) D' \frac{d\mu}{dx}. \quad (5)$$

Исходя из условия равновесия между ионитом и раствором в сечении колонки, можем записать

$$(1 + \varepsilon_2) \frac{c_1}{c_0 - c_1} = \frac{\mu}{1 - \mu}, \quad (6)$$

где ε_2 — коэффициент обогащения при ионном обмене.

Так как $\varepsilon_2 \ll 1$, разлагая в ряд выражение (6) и пренебрегая величинами второго порядка малости, получим

$$c_1 = c_0 [(1 - \varepsilon + \varepsilon^2)\mu + (\varepsilon - 2\varepsilon^2)\mu^2]. \quad (7)$$

Подставив (7) и введя обозначения

$$\begin{aligned} \gamma c_0 \Delta v (1 - \varepsilon_2) + (1 - \gamma) m_0 \Delta v p &= A, \\ \gamma c_0 \Delta v (1 - 3\varepsilon_2) + (1 - \gamma) m_0 \Delta v p &= B. \end{aligned}$$

$\gamma c_0 D + (1 - \gamma) m_0 D' = K$, получим выражение для I в виде

$$I = A\mu - B\mu^2 - K \frac{d\mu}{dx}. \quad (8)$$

Решение уравнения (8) будем искать для случая безотборного режима работы разделительного устройства. Граничные условия при этом могут быть записаны в виде

$$\mu|_{x=0} = \mu_0, \quad I|_{x=L} = 0.$$

Для стационарного случая ($I = 0$) при данных граничных условиях решение уравнения (8) запишется:

$$\mu = \mu_0 \frac{A}{B\mu_0 + (A - B\mu_0) \exp\left(-\frac{A}{K} x\right)}. \quad (9)$$

Одной из основных характеристик разделительного устройства является высота эквивалентной теоретической тарелки (ВЭТТ). В стационарном состоянии разделение (Q), достигаемое на колонке, определяется как $Q = (1 + \varepsilon) \frac{L}{\text{ВЭТТ}}$, где $Q = \frac{\mu/(1 - \mu)}{\mu_0/(1 - \mu_0)}$; $\varepsilon = \gamma\varepsilon_1 + (1 - \gamma)\varepsilon'_1$, L — длина колонки. Отсюда

$$\text{ВЭТТ} = L \frac{\ln [1 + \gamma\varepsilon_1 + (1 - \gamma)\varepsilon'_1]}{\ln \left(\frac{\mu}{1 - \mu} / \frac{\mu_0}{1 - \mu_0} \right)}. \quad (10)$$

Полученные выражения (9), (10) позволяют оценить эффективность разделения ионов с близкими свойствами и изотопов в условиях электромиграции при движении фазы ионита.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Н. Куриц, И. А. Тихомиров, Г. С. Тихонов. ЖФХ, 40, 1966, № 9.
2. А. А. Шабанов, В. И. Горшков, Г. М. Панченков. ЖФХ, 36, 1962.
3. Н. П. Гнусин, В. Д. Гребенюк. ЖФХ, 39, 1965, № 12.
4. Г. В. Самсонов, Е. Б. Тростянская, Г. Е. Елькин. Ионный обмен. Сорбция органических веществ. «Наука», 1969.