

УДК 541.183.12:621.187.15+628.162

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

А. А. ГРОМОГЛАСОВ

**СПОСОБ РАСЧЕТА ЗАДЕРЖКИ ВРЕМЕНИ ФИЛЬТРУЮЩЕГО
ДЕЙСТВИЯ ИОНИТОВЫХ ФИЛЬТРОВ***(Представлено академиком М. А. Стыриковым 9 III 1972)*

Широко используемое для расчетов ионитовых фильтров, работающих на довольно концентрированных растворах (сырая вода), уравнение Н. А. Шилова становится неприменимым при определении времени работы фильтров, установленных на линиях очистки конденсатов. Возникающие при этом трудности относятся главным образом к определению времени задержки фильтрующего действия, поскольку последняя величина существенно зависит от таких параметров, как диаметр зерна ионита, скорость фильтрования и пр.

В настоящей работе приводится метод расчета времени задержки фильтрующего действия, который может быть применен при проектировании установок очистки конденсата. При этом конденсат рассматривается как двухкомпонентная система, содержащая какую-либо одну соль (например, NaCl или NH_4HSiO_3), концентрация которой равна общей концентрации солей в конденсате. В качестве материала загрузки ионитовых фильтров, устанавливаемых на линиях очистки конденсата, обычно используются иониты АВ-17 и КУ-2. Изотермы обмена ионов, содержащихся в конденсате на этих ионитах, хотя и близки к линейным, однако достаточно выпуклы, что обеспечивает условия параллельного переноса фронта фильтрования. Система дифференциальных уравнений, описывающих этот процесс, приводится в ⁽¹⁾:

$$\begin{aligned} ub \frac{dc}{dt_0} - \frac{dc}{dt_0} - \frac{dq}{dt_0} &= 0, \\ -dq / dt_0 &= \beta(c - c^*). \end{aligned}$$

Здесь в качестве уравнения кинетики ионного обмена приводится уравнение внешне-диффузионной кинетики, поскольку концентрация солей в конденсате не превышает 10^{-4} N. Используя безразмерные параметры

$$T_0 = t_0 / \tau_0 \quad \varphi = c / c_0 \quad (1)$$

и полагая, что ионитовый фильтр работает в условиях, отвечающих прямолинейной части в общем выпуклой изотермы (для небольших концентраций солей в обессоленном конденсате это вполне допустимо), можно записать:

$$\frac{d\varphi}{dT_0} + \frac{\tau_0(1-k)\beta}{ub-1} \varphi = 0. \quad (2)$$

Уравнение (2) пригодно для описания работы ионитовых фильтров, установленных на линии очистки конденсата в любых случаях. Для каждого отдельного случая в уравнении (2) будет свой коэффициент при φ . Если в каждом случае выбирать масштаб времени

$$\tau_0 = (ub - 1) / \beta(1 - k), \quad (3)$$

уравнение (2) примет вид

$$d\varphi / dT_0 + \varphi = 0. \quad (4)$$

Поскольку в последнем уравнении параметр, характеризующий частные случаи, отсутствует, оно пригодно для описания любых процессов ионирования мало концентрированных растворов, протекающих в условиях параллельного переноса фронта и характеризующихся слабо выпуклыми изотермами. Величиной, определяющей процесс ионирования в этом случае будет T_0 , которая может служить критерием ионообменной фильтрации. Зависимость этого критерия от величины φ можно определить, интегрируя уравнение (4):

$$T_0 = -(\ln \varphi + 1). \quad (5)$$

Значение постоянной при интегрировании определяется из условия $\int_0^1 T_0 d\varphi = 0$.

Связь критерия ионообменной фильтрации с временем задержки фильтрующего действия можно получить из (3) и (4):

$$T_0 = \frac{\beta(1-k)}{ub-1} t_0 = nt_0. \quad (6)$$

Для расчета частных случаев ионирования конденсата представляет интерес вид параметра n , который, как следует из уравнения (6), определяется значениями кинетического коэффициента β , константы k , линейной скорости потока в пористой среде u , величины обратной скорости переноса параллельного фронта b . Параметр n в общем случае может быть представлен в виде функции следующих величин:

$$n = f(c_0, q_0, d, u, T, \Delta S, \Delta H, \mu_0, D_0, \rho, E), \quad (7)$$

где c_0 , q_0 — соответственно исходная концентрация солей и полная емкость ионита [кг-экв/м³], d — диаметр зерна ионита; u — линейная скорость фильтрования (м/сек), T — температура (°K); ΔS — изменение энтропии в процессе ионирования, отнесенное к одному киломолю поглощенных ионов [дж/кмол·°K], ΔH — изменение энтальпии в процессе ионирования, отнесенное к одному киломолю поглощенных ионов [дж/кмол], ρ — плотность конденсата [кг/м³], E — энергия активации, которую должна приобрести молекула воды, чтобы переместиться в новое положение равновесия в процессе вязкого течения (дж), μ_0 (нсек/м²) и D_0 (дж·м/°K·нсек) — коэффициенты в уравнениях

$$\mu = \mu_0 e^{E/kT}, \quad D = D_0 T e^{-E/kT}.$$

Применяя к уравнению (7) π -теорему и выражая эту зависимость в виде степенного ряда, можно получить с учетом (6) выражение для критерия ионообменной фильтрации:

$$T_0 = \alpha \left(\frac{ut_0}{d} \right) \left(\frac{ud\rho}{\mu_0} \right)^v \left(\frac{D_0 T}{ud} \right)^p \left(\frac{E}{ud^2 \mu_0} \right)^w \left(\frac{ud\Delta S}{D_0 \Delta H} \right)^q \left(\frac{c_0}{q_0} \right)^r. \quad (8)$$

Для данной системы ионит — конденсат величины ρ , μ_0 , D_0 , E , ΔH , ΔS , q_0 остаются постоянными, и уравнение (8) можно переписать

$$T_0 = \gamma u^v d^e T^p c_0^r t_0. \quad (9)$$

Из последнего уравнения, с учетом уравнения (5), можно получить расчетную формулу для времени задержки фильтрующего действия

$$t_0 = - \left(\ln \frac{c}{c_0} + 1 \right) / \gamma u^v d^e T^p c_0^r. \quad (10)$$

Если модельные опыты, с помощью которых определяются величины γ , v , e , p , r , проводятся при температуре, соответствующей работе промышленного фильтра, уравнение (10) можно переписать в виде

$$t_0 = \left(\ln \frac{c}{c_0} + 1 \right) / \gamma_1 u^v d^e c_0^r. \quad (11)$$

Значение величин ν , ε , r и γ для случаев ионирования растворов хлористого натрия концентрацией $10^{-4} - 5 \cdot 10^{-5}$, а также растворов, содержащих ионы натрия, бикарбоната и бисиликата в концентрации порядка $10^{-5} N$ при температуре $\sim 30^\circ$ с применением ионитов КУ-2 и АВ-17 в Н- и ОН-формах составляет $\nu = 0,54$, $\varepsilon = -1,46$, $r = 0,51$, $\gamma_1 = 0,785$ (для катионита, работающего по проскоку ионов натрия), $\gamma_1 = 2,71$ (для анионита, работающего по проскоку ионов хлора), $\gamma_1 = 0,64$ (для анионита, работающего по проскоку ионов бисиликата).

При подстановке приведенных числовых значений показателей степени и коэффициентов γ_1 в уравнение (11) его можно использовать для расчета времени задержки фильтрующего действия ионитовых фильтров, установленных на линиях очистки конденсата. Величины u , d и c_0 в соответствующих расчетных уравнениях имеют размерность м/час, мм и г-экв/л соответственно.

Московский энергетический
институт

Поступило
24 XI 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. В. Рачинский, Введение в общую теорию динамики сорбции и хроматографии, 1964.