

О.А. Абоносимов, А.В. Свотнев

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОБРАТНООСМОТИЧЕСКИХ АППАРАТОВ РУЛОННОГО ТИПА

Главной задачей технологического расчета обратноосмотических установок является определение основных параметров разделения, которые необходимы при проектировании. В качестве основных элементов, из которых комплектуются обратноосмотические установки рулонного типа, являются разделительные модули, главным элементом которых является полупроницаемая мембрана.

Основными параметрами расчета обратноосмотического аппарата является общая рабочая площадь полупроницаемой мембраны. Для определения площади используем основное уравнение массопереноса [1].

$$F_M = M / \Delta P K, \quad (1)$$

где M – масса вещества; ΔP – движущая сила обратноосмотического процесса; K – коэффициент массопереноса.

Коэффициент массопереноса определяем по следующему выражению [1]:

$$K = \frac{1}{1/\beta + \delta/P_d}, \quad (2)$$

где β – коэффициент массоотдачи от раствора к поверхности мембраны; δ – толщина мембраны; P_d – диффузионная проницаемость мембраны.

Значения коэффициентов диффузионной проницаемости рассчитываются по аппроксимационным зависимостям, полученным в результате исследований, проведенных на промышленной обратноосмотической установке рулонного типа и представленным в работах [2, 3].

Эксперимент и расчет по предложенной модели [2] показывают зависимость кинетических характеристик мембранного переноса от продольной скорости потока в межмембранном канале и от давления в модуле. Это связано с рядом причин: турбулизация потока при продольном течении; потери скорости потока растворителя; изменение сечения канала в результате сжатия и набухания; концентрационная поляризация и пр.

Скорость и режим течения в таких расчетах учитывается, как обычно критерием Re . Учет давления проще всего производить введением симплекса

$$K_d = P_{\text{раб}} / P_H, \quad (3)$$

где P_H – нормативное давление, для которого определяется и задается паспортная производительность мембран ($P_H = 4$ МПа).

Более обоснованно использование критерия Эйлера

$$Eu = \Delta P / \rho w^2, \quad (4)$$

Eu определяет величину вынужденного поперечного потока растворителя и ряд других характеристик. Однако, одновременное использование Re и Eu неудобно для обработки экспериментальных данных, поэтому вместо Eu предложена безразмерная комбинация

$$K_{\Delta P} = Eu \cdot Re^2 - \Delta P \rho L^2 / \mu_2. \quad (5)$$

Обработка расчетно-аналитических данных по локальным коэффициентам массоотдачи позволила получить приближенные аппроксимационные соотношения для средних коэффициентов массоотдачи по длине канала. После их корректировки по результатам экспериментов получено расчетное уравнение (погрешность $\pm 7\%$)

$$Nu = 1,84 \cdot 10^{-3} Re^{0,33} K_{\Delta P}^{0,18}. \quad (6)$$

Зная рабочую площадь одного рулонного элемента и принимая, что аппарат состоит из двух элементов, определяем общее число аппаратов в мембранной установке по следующей формуле:

$$n = F / 2F_3, \quad (7)$$

где F_3 – рабочая площадь одного элемента, m^2 (для рулонного элемента ЭРО-Э-6.5/900А $F_3 = 6,5 m^2$).

Далее проводим секционирование аппаратов в установке исходя из необходимости обеспечения примерно одинаковой скорости разделяемого раствора в каждом аппарате каждой секции и постоянства снижения расхода по длине аппарата [1]:

$$L_i = (L_{Hi} + L_{Ki}) / 2n_i = \text{const}; \quad (8)$$

$$q = L_{Hi} / L_{Ki}, \quad (9)$$

где L_{Hi} , L_{Ki} – соответственно начальный и конечный расход разделяемого раствора в i -ой секции; n_i – число аппаратов в i -ой секции.

Значение q выбирается в зависимости от коэффициента концентрирования k , равного:

$$k = C_k / C_H, \quad (10)$$

где C_H , C_K – соответственно начальная и конечная концентрация разделяемого раствора (наиболее оптимальное значение $q = 1,4$).

Количество разделительных модулей в секции вычисляется по формуле:

$$n_i = \frac{L_{исх}(1-1/q)}{q^{i-1}L_{пер}}, \quad (11)$$

где $L_{исх}$, $L_{пер}$ – расход исходного раствора и расход пермеата в каждом аппарате соответственно.

Для определения фактического давления в аппаратах обратного осмоса необходимо рассчитать потери давления на преодоление гидравлического сопротивления, которое складывается из сопротивления разделительных элементов, магистральных трубопроводов, местных сопротивлений и др.

Основная доля потерь приходится на гидравлическое сопротивление разделительных элементов, которое приближенно можно рассчитать следующим образом:

$$\Delta P_p = \xi \rho w^2 / 2, \quad (12)$$

где ξ – коэффициент, зависящий от конструкции разделительного элемента (вида сепарирующей сетки, дренажного материала и т.п.), ρ – плотность разделяемого раствора; w – скорость раствора в межмембранном канале.

По фактическому давлению в обратноосмотическом аппарате ориентировочно определяем напор насоса:

$$H = \Delta P_\phi / \rho_H g, \quad (13)$$

где ρ_H – плотность исходного раствора.

На основе полученных данных подбирается насос для обратноосмотической установки.

Разработанную на базе математической модели массоперенса инженерную методику расчета можно использовать при технологических расчетах обратноосмотических аппаратов рулонного типа, применяемых в процессах разделения промышленных растворов гальванопроизводств и химводоочистки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Байков В.И., Зновец П.К. Ультрафильтрация в плоском канале с одной проницаемой поверхностью // ИФЖ. 1994. Т. 72. № 1. С. 32 – 37.
- 2 Абоносимов О.А., Коробов В.Б., Коновалов В.И. Кинетика и технологические схемы обратноосмотического разделения сточных вод // Вестник ТГТУ. 2000. № 3. С. 425 – 434.
- 3 Абоносимов О.А., Лазарев С.И., Алексеев А.А. Математическая модель массопереноса в обратноосмотических аппаратах рулонного типа // Труды ТГТУ: Сборник научных статей молодых ученых и студентов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та. Вып. 6. С. 101 – 104.

Кафедра «Прикладная геометрия и компьютерная графика»