

Ковалев С. В., Красненков П. Г., Мамонтов В. В.

**РАСЧЕТ НАБЛЮДАЕМОЙ СЕЛЕКТИВНОСТИ
И РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕМБРАНЫ
НА УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННОЙ УСТАНОВКЕ
ТРУБЧАТОГО ТИПА**

Сконцентрируем Na_2SO_4 от 0,05 до 0,1 [кг/м³].
Производительностью 10 [м³/сут] по исходному раствору:
Селективность [1]:

$$\varphi = 1 - \frac{1}{1 + (\gamma - 1) \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{V \cdot h}{m \cdot D_m}\right) \right] \cdot \exp\left(-\frac{V \cdot \delta}{D_0}\right)} \quad (1)$$

где h – толщина мембраны; δ – толщина пограничного слоя; γ – коэффициент распределения раствора в порах; V – удельная производительность; D_m – коэффициент диффузии в мембране; D_0 – коэффициент диффузии в растворе; $m = 1$;

$$K_p = \frac{1}{\gamma} \quad (2)$$

$\gamma = 37.5$ принимаем равным [1];

$$\delta = 0.01 \cdot h_m;$$

$$h = 0.05 \cdot 10^{-4} = 0.5 \cdot 10^{-5};$$

$$\delta = 0.01 \cdot 10^{-4};$$

$$D_m = k \cdot D_0 \quad (3)$$

Определяем коэффициенты и переменные, входящие в состав формулы (1). Первоначально, выбираем для ультраfiltrации рекомендуемые рабочие давления в диапазоне 0.1 – 0,3 МПа. Для дальнейших расчетов примем перепад рабочего давления через мембрану

$$P - \pi = 0.2 \text{ МПа.}$$

При выборе мембраны исходим из того, что она должна обладать максимальной удельной производительностью при селективности, обеспечивающей выполнение требований и качеству пермеата (соответствие санитарным нормам или нормам на техническую воду, допустимым потерям растворенного вещества и т. п.). Кроме того мембрана должна обладать высокой химической стойкостью по отношению к разделяемому раствору [2].

Выбираем мембрану марки УФМ – 50 с удельной производительностью по воде $Q = 0.4$ [мл/см² мин] = $6.6 \cdot 10^{-5}$ [м³/м² с].

Рабочая поверхность мембраны зависит от их удельной производительности и потребного расхода пермеата. Определим сначала удельную производительность по чистой воде, пользуясь приведенными выше данными о константах проницаемости. Для мембраны УФМ – 50

$$D_{Ж} = \frac{A = 0.00033 \cdot 10^6 \text{ [м}^3/\text{м}^2 \text{ с]}}{A \cdot B \cdot \sqrt{\mu} \cdot (v_A^3 + v_B^3)^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \quad (4)$$

$$D_0 = D_{Ж} = 3 \cdot 10^{-9} \text{ [м}^2/\text{с]}$$

Тогда при рабочем давлении 0.2 МПа удельная производительность по чистой воде составит:

$$V = A \cdot (P - \pi) \quad (5)$$

$$V = 0.00033 \cdot 10^{-6} \cdot 0.2 \cdot 10^6 = 0.000066 \text{ [м}^3/\text{м}^2 \text{ с]}$$

P – рабочее давление; π - осмотическое давление; A – константа проницаемости мембраны на воде.

Принимаем осмотическое давление $\pi=0$, так как раствор сильно разбавлен.

По формуле (2):

$$K_p = 0.027 \text{ [м}^2/\text{с]}$$

По формуле (3):

$$D_m = 0.081 \cdot 10^{-9} \text{ [м}^2/\text{с]}$$

Находим селективность по формуле (1):

$$\varphi = 1 - 0.028 = 0.972$$

Степень концентрирования:

$$K = \frac{X_{Iк}}{X_{In}} = \frac{0.1}{0.05} = 2$$

тогда

$$\bar{X}_2 = X_{In} \cdot \frac{(1 - K^\varphi)^{\frac{1-\varphi}{\varphi}}}{(1 - K^\varphi)^{\frac{1}{\varphi}}} \quad (6)$$

где \bar{X}_2 – средняя концентрация растворенного вещества в пермеате.

$$\bar{X}_2 = 0.00196 \text{ [кг Na}_2\text{SO}_4/\text{м}^3 \text{ раствора]}$$

Определим расход пермеата по формуле:

$$L_k = L_n \cdot (1 - K^{-\frac{1}{\phi}}) \quad (7)$$

где L_n – расход исходного раствора. Получаем:

$$L_k = 0.000059 \text{ [м}^3/\text{с]}$$

Расход соли с исходными растворами:

$$L_n \cdot X_{I_n} = 5.75 \cdot 10^{-6} \text{ [кг/с]}$$

Потери соли с пермеатом:

$$L_n \cdot \bar{X}_2 = 1.13 \cdot 10^{-7} \text{ [кг/с]}$$

что в % от количества, содержащегося в исходном растворе, составит 1.97 %

Это значение находится в пределах допустимого, поэтому выбираем для дальнейших расчетов фторопластовую мембрану, имеющую селективность по Na_2SO_4 $\phi = 0.972$ и производительность $Q = 0.4$ [мл/см² мин].

Удельная производительность на входе разделяемого раствора в аппарат и на выходе соответственно равна:

$$G_n = G_0 \cdot \left(\frac{1 - \pi_{1n}}{\Delta p} \right) \quad (8)$$

$$G_n = 0.0000625 \text{ [м}^3/\text{м}^2 \text{ с]}$$

$$G_k = G_0 \cdot \left(\frac{1 - \pi_{1k}}{\Delta p} \right) \quad (9)$$

$$G_k = 0.0000561 \text{ [м}^3/\text{м}^2 \text{ с]}$$

$$G = \frac{G_n + G_k}{2} = 0.0000593 \text{ [м}^3/\text{м}^2 \text{ с]}$$

Рабочая поверхность мембраны:

$$F = \frac{L_n}{G} \quad (10)$$

$$F \approx 1 \text{ [м}^2\text{]}$$

Рабочая поверхность мембраны одного элемента:

$$F_3 = \pi \cdot d \cdot L \quad (11)$$

$$F_3 = 0.084 \text{ [м}^2\text{]}$$

Общее число элементов в аппарате:

$$n = \frac{F}{F_3} \quad (12)$$

$$n = 12$$

Расход пермеата на одном элементе равен:

$$L_{nэ} = \frac{L_n}{n} \quad (13)$$

$$L_{nэ} = 0.0000049 \text{ [м}^3\text{/с]}$$

Примем, что аппарат состоит из одного модуля:

$$F_M = F_э \cdot n_э \quad (14)$$

$$F_M = 0.59 \text{ [м}^2\text{]}$$

Расход концентрата:

$$L_K = L_n - L_{nэ} \quad (15)$$

$$L_K = 0.000056 \text{ [м}^3\text{/с]}$$

Вывод: произведен расчет трубчатой ультрафильтрационной установки непрерывного действия и по полученным данным считаем аппарат перспективным в области очистки сточных вод.

Список литературы:

1. Влияние ассоциации ионов в зоне концентрационной поляризации и выпадение кристаллов на селективность обратноосмотических мембран / В. М. Старов, Н. В. Чураев, В. М. Дорохов и др. // Химия и технология воды. – 1986. – Т. 8, № 2. – С. 67-72.
2. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др. Под ред. Ю. И. Дытнерского, 2-е изд., перераб. и дополн. М.: Химия, 1991. – 496 с.

*Работа выполнена под руководством к.т.н., доц. кафедры
«Машины и аппараты химических производств»
Кормильцина Г. С.*