

## Практическое занятие № 6

**Задача 1.** Проектируется натрий-катионитная установка производительностью  $600 \text{ м}^3/\text{ч}$  для умягчения воды следующего состава: жесткость общая  $5,2 \text{ мг-экв/л}$ ; щелочность  $2,8 \text{ мг-экв/л}$ ; солесодержание  $735 \text{ мг/л}$ . Остаточная жесткость умягченной воды должна быть не более  $5 \text{ мкг-экв/л}$ . Умягченная вода поступает на нужды технологических цехов предприятия. Определить основные технологические показатели установки: число катионитных фильтров при  $t_k=1,8 \text{ ч}$ , их производительность, расход поваренной соли, схему установки.

*Решение.* В качестве ионообменного материала принимаем сульфуголь с  $e_p=300 \text{ г-экв/м}^3$ . Примем скорость фильтрования равной  $15 \text{ м/ч}$ , а высоту слоя катионита  $2,5 \text{ м}$ . Тогда:

$$T = \frac{300 \cdot 2,5}{15 \cdot 5,2} = 9,6 \text{ ч};$$

$n_k=24/(9,6+1,8)=2,1$ , где  $1,8$  — время простоя фильтра в режиме регенерации;

$$F_k = \frac{24 \cdot 600}{15 (24 - 2,1 \cdot 1,8)} \approx 47 \text{ м}^2.$$

Количество фильтров  $m_k$  принимаем равным:

$$m_k = (9,6 + 1,8) / 1,8 = 6,4.$$

Предусматриваем к установке семь фильтров и один резервный. Тогда производительность каждого фильтра составит  $600/7=86 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Принимаем фильтры диаметром  $3 \text{ м}$  и площадью сечения  $7,1 \text{ м}^2$ . Фактическая суммарная поверхность работающих фильтров составит  $49,5 \text{ м}^2$ , а скорость фильтрования  $600/49,5=12,1 \text{ м/ч}$ , межрегенерационный период  $T=300 \cdot 2,5/12,1 \cdot 5,2=12 \text{ ч}$ , что при условии автоматизации работы фильтров вполне приемлемо. В этом случае  $n_k=1,73$ . Принятая скорость фильтрова-

ния 15 м/ч согласуется с приведенной на рис. 6-2. График зависимости работающей зоны от жесткости обрабатываемой воды оказывается полезным при оценке гидравлической характеристики работающего фильтра. Если при данной скорости фильтрования фактическая высота работающей зоны  $h'_{р.з}$ , м, определяемая по формуле:

$$h'_{р.з} = \frac{\Delta q_2 \cdot \mathcal{K}_{н.в}}{f e_p},$$

больше расчетной (при  $\Delta q_1$ , см. рис. 6-1), состояние фильтра неудовлетворительно. Расход соли на одну регенерацию при  $Y_c = 180$  г/г-экв по уравнению (6-16) составит:  $q_c = 300 \cdot 2,5 \cdot 180 \cdot 7,1 \cdot 10^{-3} = 960$  кг. Месячная потребность в соли будет равна:

$$q'_c = 960 \cdot 10^{-3} \cdot 1,73 \cdot 7 \cdot 30 \approx 350 \text{ т.}$$

Для обеспечения заданной жесткости умягченной воды принимаем двухступенчатое Na-катионирование. В этом случае лучше всего применить ступенчато-противоточные фильтры, приведенные на рис. 6-3, состоящие из двух сосудов, представляющих одно целое и имеющих общий фронт трубопроводов. В данном случае диаметр большого сосуда принят 3 м, малого 2 м. Примерно пятая часть ионита находится в фильтре 2. Регенерация проходит следующим образом. Весь раствор соли, рассчитанный на оба фильтра, пропускается сверху вниз вначале через сосуд 2, затем 1 (см. рис. 6-3,а). Отмывка производится по схеме рис. 6-3,б, предусматривающей отмывку ступени 2 умягченной водой. Умягчение же происходит по схеме рис. 6-3,в: в первой ступени прямоток, во второй — противоток. При этом в ступени 2 скорость фильтрования составляет не менее

30 м/ч. При таких скоростях слой катионита поднимается вверх и надежно прижимается к верхнему распределительному устройству.

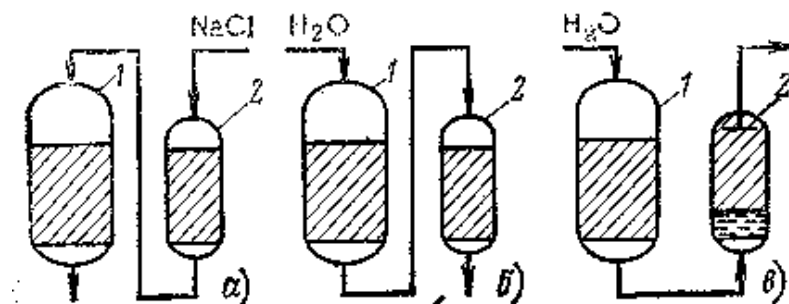


Рис. 6-3. Ступенчато-противоточный фильтр.  
*а* — регенерация; *б* — отмывка; *в* — ионирование. 1 — прямоточный фильтр; 2 — противоточный.

В ступени 1 скорости фильтрации составляют 10—20 м/ч. Такие фильтры требуют удельного расхода реагентов примерно 1,2—1,3 г-экв/г-экв.

**Задача 2.** Катионитный фильтр диаметром 2,6 м работает со скоростью фильтрации 15 м/ч. Высота слоя сульфоугля составляет 2,5 м, обменная емкость его 330 г-экв/м<sup>3</sup>. Определить расчетный расход воды на собственные нужды фильтра  $q_{с.н.}$ , расход соли на регенерацию при  $Y_c = 180$  г/г-экв, межрегенерационный период и часовую производительность фильтра  $q_k$ , если концентрация регенерационного раствора  $C$  равна 6%,  $Z_{и.в} = 3,5$  мг-экв/л, простой фильтра в регенерации 2 ч.

*Решение.* Площадь фильтра 5,3 м<sup>2</sup>,  $T=330 \cdot 2,5 / 3,5 \cdot 15 = 15,7$  ч. Расход соли на регенерацию  $q_c = 330 \cdot 2,5 / 180 \cdot 5,3 \cdot 10^3 = 800$  кг, часовая производительность фильтра

$$q_k = 15 \cdot 5,3 = 80 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расход воды на приготовление соли

$$q_1 = \frac{q_c}{10\rho C} = \frac{800}{10 \cdot 1,04 \cdot 6} = 12,8 \text{ м}^3.$$

Расход воды на отмывку фильтра

$$q_2 = \frac{v_{от} t_{от}}{60} = \frac{10 \cdot 5,3 \cdot 50}{60} = 44 \text{ м}^3.$$

Расход воды на взрыхление

$$q_3 = \frac{v_{вз} t_{вз}}{60} = \frac{12 \cdot 5,3 \cdot 15}{60} \approx 16 \text{ м}^3.$$

Общий расход на собственные нужды фильтра:

$$q_0 = 12,8 + 44 + 16 = 72,8 \text{ м}^3$$

$$q'_{с.н} = \frac{72,8}{80 \cdot 15,7} \cdot 100 = 6,1\%.$$

По табл. 5-1 собственные нужды фильтра для  $\text{Na}_1$  составят  $q_{с.н.} = 4,7 \cdot 5,3 \cdot 2,5 = 62,5 \text{ м}^3$ , или 5,2%. Для сульфогля при расчетах можно принимать скорость отмывки  $v_{от} = 8-12 \text{ м/ч}$ , взрыхления  $v_{вз} = 10-15 \text{ м/ч}$ , время отмывки  $t_{от} = 40-60 \text{ мин}$ , взрыхления  $t_{вз} = 12-15 \text{ мин}$ .

**Задача 3.** Определить количество кислой воды  $q_{кв}$ ,  $\text{м}^3$ , выдаваемое H-катионитным фильтром за фильтроцикл, если количество исходной воды характеризуется следующими данными: концентрация, мг-экв/л, натрия  $C_{\text{Na}}$ , кальция  $C_{\text{Ca}}$  (условно считаем всю жесткость кальциевой, что в данном случае можно допустить).

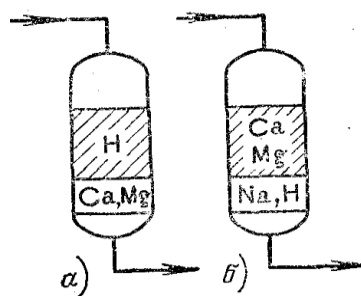


Рис. 6-8. Примерная схема расположения катионов в слое катионита.

*а* — после «голодной» регенерации, *б* — отработавшего.

*Решение.* Принимаем, что фильтр отключается в точке *б* (см. рис. 6-6). В этот момент слой катионита можно изобразить как бы состоящим из двух слоев (рис. 6-8): верхнего основного, истощенного кальцием и магнием, и нижнего, содержащего в основном катионы натрия и водорода. Снижение кислотности наступает в момент вытеснения натрия в фильтрат. Таким образом, количество полученной кислой воды определяется равенством

$$q_k C_{Na} + q_k C_{Ca} = h_{Na} e_p^{Na} f \sigma + h_{Ca} f e_p^{Ca}$$

откуда

$$q_k = \frac{h_{Na} f e_p^{Na} \sigma + h_{Ca} f e_p^{Ca}}{C_{Na} + C_{Ca}},$$

где  $h_{Na}$ ,  $h_{Ca}$  — высота слоя катионита, истощенного натрием и (условно) кальцием, м;  $e_p^{Na}$ ,  $e_p^{Ca}$  — обменная емкость катионита по натрию и кальцию, г-экв/м<sup>3</sup>;  $f$  — площадь сечения фильтра, м<sup>2</sup>;  $\sigma$  — доля слоя  $h_{Na}$ , истощенного натрием (0,5—0,6). Из уравнения (6-23) можно получить:

$$\frac{h_{Na} e_p^{Na} f \sigma}{h_{Ca} e_p^{Ca} f} = \frac{C_{Na}}{C_{Ca}}$$

или

$$h_{Na} = \frac{C_{Na}}{C_{Ca} \beta \sigma} h_{Ca} = \frac{B}{\beta \sigma} h_{Ca}$$

где

$$B = C_{Na}/C_{Ca}; \beta = e_p^{Na}/e_p^{Ca}; h_0 = h_{Na} + h_{Ca}.$$

Заменив  $h_{Na}$  в уравнении (6-24) этим выражением, а также подставив

$$q_k = \frac{\beta(B+1)\sigma}{B+\beta\sigma} \frac{e^{\frac{C_{Ca}}{p} h_0}}{(C_{Na} + C_{Ca})}$$