

Лекция 9

Расчет ионитных фильтров

Расчет Na-катионитных фильтров

Полная рабочая динамическая обменная емкость (ДОЕ) всего слоя катионита

$$E_p = q_1 \mathcal{K}_{и.в} = f v_k T \mathcal{K}_{и.в}.$$

Если E_p разделить на объем катионита в фильтре $w_k = h_k f$, получим рабочую удельную динамическую обменную емкость e_p , г-экв/м³:

$$e_p = \frac{E_p}{f h_k} = \frac{v_k T \mathcal{K}_{и.в}}{h_k}.$$

Из этого равенства можно определить межрегенерационный период работы фильтра T , ч:

$$T = \frac{e_p h_k}{v_k \mathcal{K}_{и.в}},$$

где $\mathcal{K}_{и.в}$ — жесткость исходной воды, мг-экв/л; f — площадь сечения фильтра, м²; v_k — скорость фильтрования воды, м/ч; h_k — высота слоя катионита в фильтре, м.

На практике по разным причинам работающая зона в большей или меньшей мере может искривляться. Неиспользованная ДОЕ Δe равна примерно:

$$\Delta e = \frac{1}{2} \mathcal{K}_{и.в} \Delta q_1,$$

и, следовательно, степень использования ДОЕ катионита, находящегося в фильтре, η будет равна:

$$\eta = \frac{E_p}{E_p + \Delta e}.$$

Таким образом, ухудшение гидродинамической характеристики слоя катионита (местные уплотнения, комкование ионита, засорение распре-

стройства и т. п.) обуславливает снижение степени использования ДОЕ. В нормально работающем фильтре $n \geq 85\%$.

Высота работающей зоны $h_{p,з}$ м, существенно влияет на значение n . Для сульфогля она может быть определена по формуле:

$$h_{p,з} = 4 \cdot 10^{-2} v_k d_k^2 \cdot 2,31g Ж_{и.в},$$

где d_k — диаметр зерна катионита, мм; v_k — скорость фильтрования, м/ч; $Ж_{и.в}$ — жесткость исходной воды, мг-экв/л.

Если в катионитный фильтр загружено $h_k f$ ионита с обменной емкостью e_p , то фильтр может умягчить воды, м³/ч:

$$q_k = \frac{h_k f e_p}{T Ж_{и.в}}.$$

Необходимая площадь фильтрования катионитных фильтров, м, определяется выражением

$$F_k = \frac{24 Q_{б.к}}{v_k (24 - n_k t_k)},$$

где $Q_{б.к}$ — производительность установки по исходной воде (брутто), м³/ч; n_k — количество регенераций в сутки; t_k — время простоя фильтров в регенерации, ч; v_k — скорость фильтрования, м/ч. В свою очередь

$$\left. \begin{aligned} Q_{б.к} &= Q_{н.к.} + q_{с.н.} \\ n_k &= \frac{24}{T + t_k} \end{aligned} \right\}$$

где $Q_{н.к}$ — производительность установки по обработанной воде (нетто), $м^3/ч$; $q_{с.н}$ — расход воды на регенерацию фильтров, $м^3/ч$.

Количество регенераций может быть определено и другим способом, а именно:

$$n_k = \frac{24 K_{н.в} Q_{б.к}}{w_k v_p},$$

где w_k — количество загруженного в фильтры катионита, $м^3$.

Необходимое количество работающих фильтров m_k зная F_k можно найти по формуле

$$m_k = \frac{F_k}{0,785d^2} = \frac{Q_{б.к} K_{н.в}}{v_k \cdot 0,785d^2} = \frac{Q_{б.к} K}{q_k},$$

где q_k — производительность одного фильтра, $м^3/ч$;

$$K = \frac{24}{24 - n_k t_k}.$$

Устанавливаемое количество фильтров $m_{к.у}$ будет больше m_k (при $K > 1$):

$$m_{к.у} = m_k + x + 1,$$

где x — количество фильтров, равное числу регенерируемых; 1 — дополнительный фильтр, устанавливаемый для замены выводимого в ремонт.

Значение x может быть определено по формуле (5-8).

Диаметр устанавливаемых фильтров следует принимать с учетом единичной производительности выбранного типоразмера и из условия $x=0$, при котором количество фильтров, находящихся в одновременной ре-

генерации, равно одному. Это условие для практики весьма удобно и желательно. Поэтому, положив его в основу определяем диаметр фильтров по формуле:

$$d_k = \sqrt{\frac{F_k t_k}{0,785 (T + t_k)}}$$

В этом случае возможное количество устанавливаемых фильтров будет равно:

$$m_{k,y} = m_k + 1, \tag{6.14}$$

где

$$m_k \leq (T + t_k) / t_k. \tag{6.15}$$

Расход соли g_c , кг, на регенерацию одного фильтра определяется по формуле

$$g_c = e_p h_k Y_c f \cdot 10^{-3}, \tag{6.16}$$

где Y_c — удельный расход соли, г/г-экв.

Для вод с солесодержанием, не более 800 мг/л $Y_c \leq 180$ г/г-экв. Однако, используя противоточный способ регенераций, можно существенно снизить Y_c .

Таблица 5-1

Удельный расход воды на собственные нужды ионитов, м³/м³, при обработке природных вод

Наименование ионита	q_1	q_2	Общий, расход Σq
---------------------	-------	-------	-----------------------------

Аниониты типа АВ-17-8	2,5	12	14,5
Сульфоуголь для Н ₂	1,1	10	11,1
КУ-2 для Н ₂	1,0	12	13
Слабоосновные аниониты типа АН-31	1,8	20	21,8
Сульфоуголь для Н ₁	1,5	5	6,5
КУ-2 для Н ₁	4	6,5	10,5
Сульфоуголь для Na ₁	0,7	4,0	4,7
Сульфоуголь для Na ₂	0,5	6	6,5
КУ-2 для Na ₁	1,7	6,0	7,7
КУ-2 для Na ₂	1,1	8	9,1
Сульфоуголь при «голодной» регенерации	0,7	5	5,7

Примечание. Н₁, Н₂, Na₁, Na₂, — соответственно водородно-катионитные и натрий-катионитные фильтры первой и второй ступени.

Расход воды на приготовление регенерационного раствора соли q_1 м³/м³ катионита, и отмывку катионита от продуктов регенерации q_2 определяется по данным табл. 6-1.

Полный расход воды на регенерацию q_0 будет составлять:

$$q_0 = q_1 + q_2 + q_3 = \Sigma q + q_3,$$

где q_3 — расход воды на взрыхление, м³/м³:

$$q_3 = \frac{v_{вз} t_{вз}}{60 h_k},$$

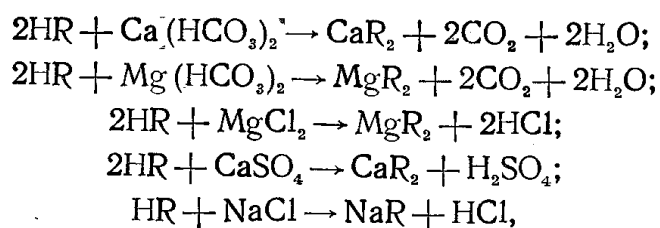
где $v_{вз}$ — скорость взрыхления, м/ч (см. пример 6-6).

Зная q_0 , можно определить и значения собственных нужд натрий-катионитного фильтра в процентах от количества фильтрата

$$q_{с.н} = \frac{q_0 K_{н.к}}{h_{кеф}} \cdot 100. \quad (6.17)$$

Расчет Н-катионитных фильтров

Процесс водород-катионирования занимает весьма важное место в технологии обработки воды. Он позволяет разрушить анион HCO_3^- и удалить из воды значительную часть CO_2 в цикле водообрабатывающей установки. Благодаря ему становится возможным более или менее полно удалять из обрабатываемой воды растворенные ионы и получать обессоленную воду. При водород-катионировании катионит «заряжают» ионом водорода путем регенерации его кислотой. При последующем фильтровании через него воды в слое катионита протекают реакции:



в результате которых катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ обрабатываемой воды заменяются водородом.

Если катионит отрегенировать недостаточным количеством кислоты, то могут произойти только первые две реакции, ведущие к разрушению щелочного иона HCO_3^- . Такой процесс, именуемый «голодной регенерацией» или «щелочным Н-катионированием», в действительности и используется для понижения щелочности исходной воды. При достаточном количестве кислоты все катионы заменяются водородом, вода делается кислой, непригодной для питания паровых котлов. Поэтому водород-катионирование обычно применяется совместно с натрий-катионированием или анионированием в обессоливающих установках.

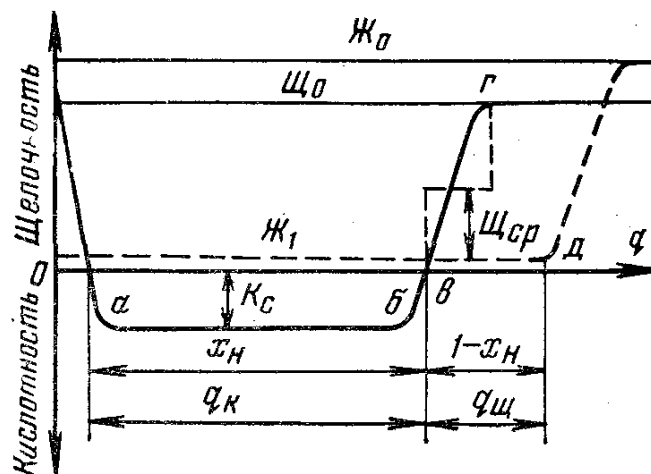


Рис. 4.3. График работы водород-катионитного фильтра

При полной регенерации катионита кислотой работа водородного фильтра первой ступени будет характеризоваться примерным графиком рис. 4.3. В момент включения фильтра в работу в точке *а* кислотность фильтрата становится равной

$$K_c = C_{\text{SO}_4^{2-}} + C_{\text{Cl}^-} + C_{\text{NO}_3^-}$$

В точке *б* значение K_c уменьшается, что свидетельствует о недостатке в катионите иона водорода. В точке *в* $K_c=0$ и начинается вытеснение из фильтра ионов Na^+ . Однако жесткость фильтрата по-прежнему остается в норме и низкой. От точки *в* до *г* происходит увеличение щелочности воды до исходного значения Щ_0 . Выработанное за этот период количество воды характеризуется некоторым значением средней щелочности $\text{Щ}_{\text{ср}}$. Если продолжать эксплуатацию фильтра дальше, то в точке *д* жесткость фильтрата начнет увеличиваться. Это означает, что почти все катионы Na^+ из катионита вытеснены и в фильтрат начинает вытесняться магний. В нормальном случае при полном водород-катионировании фильтр выключают на регенерацию в точке *б*, так как целью работы фильтра в этом случае является полная замена всех катионов обрабатываемой воды ионами

водорода. При работе водород-катионитного фильтра в режиме «голодной регенерации» результат катионирования будет иным.

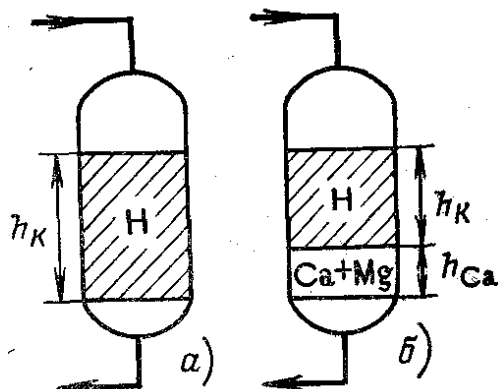


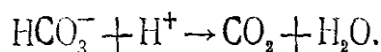
Рис. 4.4. H-катионитный фильтр при нормальной (а) и «голодной» (б) регенерации.

На рис. 4.4 изображены схематично в разрезе два фильтра, один из которых (рис. 4.4,б) отрегенирован недостаточным («голодным») количеством кислоты. Ввиду этого в нем появляются как бы два слоя: водород-катионита высотой h_K и неотрегенированного кальций-магний-катионита высотой h_{Ca} . В водородном слое происходит поглощение всех катионов

$$K_T = \mathcal{J}_{и.в} + C_{Na^+} = K_c + \mathcal{W}_{и.в} = C_{SO_4^{2-}} + C_{Cl^-} + C_{NO_3^-} + C_{HCO_3^-}$$

где K_T — сумма катионов.

Взамен их появляются катионы водорода, но уже в меньшем количестве, чем K_T , так как часть ионов H^+ расходуется на нейтрализацию ионов HCO_3^- :



Количество таких ионов H^+ равно $\Delta \mathcal{W} = \mathcal{W}_{и.в} - \mathcal{W}_{ост}$, мг-экв/л, где

$\Sigma_{\text{ост}}$ — средняя щелочность обработанной воды.

Следовательно, ионов водорода возникает

$$\Sigma \text{H}^+ = K_c + \Sigma_{\text{ост}} = C_{\text{SO}_4^{2-}} + C_{\text{Cl}^-} + C_{\text{NO}_3^-} + \Sigma_{\text{ост}}$$

В слое h_{Ca} они обмениваются на Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и, таким образом,

$$q'_k (K_c + \Sigma_{\text{ост}}) = f h_{\text{Ca}} e_p^{\text{H}},$$

откуда

$$q'_k = \frac{f h_{\text{Ca}} e_p^{\text{H}}}{K_c + \Sigma_{\text{ост}}},$$

где q'_k — количество обработанной за фильтроцикл воды, м^3 ; e_p^{H} — средняя обменная емкость катионита по водороду, г-экв/ м^3 .

С другой стороны, условный водородный слой катионита h_{H} должен также обработать $q'_{\text{к}}$, м^3 , воды, т. е.

и

$$q'_{\text{к}} = \frac{h_{\text{H}} f e_{\text{cp}}}{K_c + \Sigma_{\text{и.в}}},$$

где e_{cp} — средняя обменная емкость по Ca^{2+} , Na^+ .

Приравняв уравнения и решив равенство относительно h_{H} , найдем

$$h_{\text{H}} = \frac{K_c + \Sigma_{\text{и.в}}}{K_c + \Sigma_{\text{ост}}} h_{\text{Ca}} = \frac{\beta_1 (K_c + \Sigma_{\text{и.в}}) h_0}{\beta_1 (K_c + \Sigma_{\text{и.в}}) + (K_c + \Sigma_{\text{ост}})}$$

при подстановке $h_{\text{Ca}} = h_0 - h_{\text{H}}$ и $b_1 = e_p^{\text{H}} / e_{\text{cp}}$. Зная h_{H} , можно найти необходимое для регенерации количество кислоты, кг:

$$q_{\text{кис}} = \alpha h_{\text{H}} f e_p \gamma_{\text{H}} \cdot 10^{-3},$$

где a — корректирующий коэффициент, определяемый экспериментально;
 u_k — удельный расход кислоты, принимается 49 г/г-экв.

Водород-катионирование (не «голодный» режим) применяется обычно в сочетании с натрий-катионированием. В этом случае кислая вода водород-катионитных фильтров нейтрализуется щелочной водой Na-катионитных фильтров.