

Сравнительный анализ метода расчета катионитового фильтра

И.Н. Чуб, Харьковская национальная академия городского хозяйства

Одним из важнейших аспектов совершенствования эксплуатации водоподготовительного оборудования предприятий теплоэнергетики, является разработка специального программного обеспечения и оснащение эксплуатирующихся ионообменных установок средствами управляющей вычислительной техники. Для этого необходимо иметь соответствующую теоретическую базу, а именно – инженерные методы расчета.

Выполнен анализ существующих методов расчета Na-катионитовых фильтров. Изучены основные закономерности умягчения в аппаратах с неподвижным плотным слоем. Было установлено, что основной процесс умягчения идет в рабочей зоне аппарата. Для выявления факторов, влияющих на работу катионитового фильтра, были проведены лабораторные исследования. В ходе лабораторных исследований изучалось влияние скорости фильтрования на неиспользованную емкость загруженного катионита. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Объем воды ΔV эквивалентен неиспользованной емкости катионита. Рост неиспользованного катионита при повышении скорости фильтрования объясняется разной высотой рабочей зоны, которая определяется по соотношению:

$$h_{p.z.} = 4 \cdot 10^{-2} v \cdot d_3^2 \cdot 2.3 \lg C_0, \quad (1)$$

и зависит от исходной концентрации катионов жесткости умягчаемой воды. Эта зона имеет свои характеристики (высоту и скорость перемещения), которые определяются по известным соотношениям. Сложнее всего определить характер распределения концентраций и отработку катионита в рабочей зоне фильтра при наступлении проскока.

Таблица 1 - Результаты экспериментальных исследований

Скорость м/ч	Определяемые параметры				
	Время про- скока, $\tau_{пр}$, ч	Время насы- щения, τ_n , ч	Объем во- ды $V_n - V_в$ ΔV , м ³	Средняя жест- кость фильтра $J_{ср}$, мг-экв/дм ³	Высота рабочей зоны $h_{p.z.}$, м
3	6,43	9,2	0,017	2,3	0,15
5	3,2	5,7	0,025	3	0,24
7	1,7	4,03	0,031	2,1	0,33

Известно, что на распределение концентраций оказывает влияние вид изотермы и неравновесные (динамические) условия. В динамических условиях, в которых протекают все процессы умягчения, добиться фазового равновесия сложно. С учетом перечисленных условий был разработан метод определения неиспользованной емкости катионита в рабочей части фильтра и получены формулы (2), (3) для вычисления рабочего периода фильтра и динамической обменной емкости.

$$\tau_{np} = \frac{\bar{C}_0}{(C_0 - C_{np}) \cdot v \cdot f} \cdot (V_k - V_{н.з}), \text{ ч.} \quad (2)$$

где \bar{C}_0 – емкость катионита с учетом условий регенерации и частичного задержания катионов Na^+ , г-экв/м³; V_k – объем загруженного в фильтр катионита, $h_k \cdot f$, м³; $V_{н.з}$ – объем неиспользованной зоны фильтра, эквивалентный (хвостовой) неиспользованной емкости катионита; h_k – высота загруженного катионита.

$$e_p = \frac{\bar{C}_0 \cdot (V_k - V_{н.з})}{f \cdot h}, \text{ Г-ЭКВ/М}^3. \quad (3)$$

Период работы фильтра является важной технологической характеристикой. Полученное выражение (2) сравнивали с другими известными формулами для определения рабочего периода фильтра, которыми пользуются в водоподготовке. Для сравнения было выбрано уравнение Громогласова, как наиболее распространенное и другие формулы. Расчет выполняли для следующих условий: фильтр диаметром 3,4 м., загрузка катионит КУ-2-8; высота загрузки – 1,6 м; диаметр зерна катионита, $d_3 = 0,8$ мм. Производительность фильтра 137 м³/ч, соответственно скорость фильтрования $v = 15$ м/ч. Исходная концентрация катионов жесткости в воде $C_0 = 7$ г-экв/м³. Концентрация в фильтрате $C_{np} = 0,1$ г-экв/м³, обменная емкость катионита КУ-2-8 в процессе эксплуатации (по известной полной обменной емкости $E_n = 1500$) $E_p^{Na} = \bar{C}_0 = 1048$ Г-ЭКВ/М³.

По формуле Громогласова:

$$\tau = \frac{h_{сл}}{v \cdot \beta} - \frac{-\ln \varphi - 1}{0,92 \cdot v^{0,5} \cdot d_3^{-1,5} \cdot \beta^{0,5}}, \quad (4)$$

где τ – время фильтрования до заданного значения проскока, ч; v – скорость фильтрования, м/ч; d_3 – диаметр зерна катионита, мм; $h_{сл}$ – высота слоя катионита, м; $\varphi = C_\phi / C_0$; $\beta = C_0 / q_0$; C_0 и C_ϕ – концентрации ионов соответственно исходная и в фильтрате; q_0 – концентрация ионов, сорбированных единицей объема катионита.

$$\tau_{np} = \frac{1,6 \cdot 1048}{15 \cdot 7} - \frac{-\ln \frac{0,1}{7} - 1}{0,92 \cdot 15^{0,5} \cdot 0,8^{-1,5} \cdot 0,007^{0,5}} = 8,1 \text{ ч.}$$

По предложенной зависимости (2):

$$\tau_{np} = \frac{\bar{C}_0 \cdot (V_k - V_{н.з})}{(C_0 - C_{np}) \cdot f \cdot v} = \frac{1048 \cdot (14,56 - 4,12)}{(7 - 0,1) \cdot 9,1 \cdot 15} = 11,5 \text{ ч.}$$

Другие формулы:

$$\tau_{np} = \frac{E_{раб} \cdot h_k}{v \cdot C_0} - \frac{0,02 \cdot E_{раб} d_3^2 \ln C_0}{C_0}, \text{ ч} \quad (5)$$

$$\tau_{np} = \frac{1048 \cdot 1,6}{15 \cdot 7} - \frac{0,02 \cdot 1048 \cdot 0,8^2 \ln 7}{7} = 12,32, \text{ ч.}$$

$$\tau = \frac{e_p \cdot h_k}{v \cdot \mathcal{Ж}_{у.в}} = \frac{1048 \cdot 1,6}{15 \cdot 7} = 15,9 \text{ ч} \quad (6)$$

Полученные по трем уравнениям τ_{np} были проанализированы. Установлено, что на расхождение результатов влияет второй элемент правой части уравнений (4) и (5). Уравнение (4), практически не учитывает рабочую зону аппарата. Это объясняет полученный результат, т.е. самый короткий период работы фильтра – 8,1 ч. Авторы уравнения (5) предлагают условно считать использованным только половину катионита в рабочей зоне (коэффициент $0,02=0,5 \cdot 0,04$).

Формула (6) широко используется для практических расчетов. Однако расчеты, выполненные по ней, являются недостаточно точными и требуют корректировки в процессе эксплуатации.

Предлагаемая формула (2) учитывает влияние концентрационного фронта и степень использования емкости катионита в рабочей части аппарата в зависимости от скорости фильтрования и исходной концентрации воды. Следовательно, применение формулы (2) для определения периода работы фильтра в процессе эксплуатации позволяет получить адекватные результаты