

УДК 628.182.12

В.И. Ковальчук, канд. техн. наук, доц.

О.А. Дорож, канд. техн. наук, доц.,

В.В. Чиченин, канд. техн. наук,

Одес. нац. политехн. ун-т

ФАКТОРНЫЕ ФУНКЦИИ РАБОЧЕЙ ОБМЕННОЙ ЕМКОСТИ КАТИОНИТОВ

В.И. Ковальчук, О.А. Дорож. Факторні функції робочої обмінної ємності катіонітів. Отримано розрахункові співвідношення для оцінки впливу різних чинників на робочу обмінну ємність катіонітів, що застосовують на водопідготовчих установках енергетичних підприємств.

В.И. Ковальчук, О.А. Дорож. Факторные функции рабочей обменной емкости катионитов. Получены расчетные соотношения для оценки влияния различных факторов на рабочую обменную емкость катионитов, применяемых на водоподготовительных установках энергетических предприятий.

V.I. Kovalchuk, O.A. Dorozh. Factor functions of mutual capacitance of cationites. The calculation correlations for estimating the influence of different factors on the mutual exchange capacitance of cationites applied at water treatment plants of power enterprises are obtained.

Рабочая обменная емкость (РОЕ) ионитов является одной из основных технологических характеристик, необходимых для расчета режимных параметров фильтроцикла аппаратов в системах обработки теплоносителей энергетических предприятий [1].

В разной степени изучено влияние на РОЕ ионного состава обрабатываемых вод, скорости фильтрования, температуры, способа регенерации и т.п. Ее зависимость от указанных факторов представляют традиционно в виде графических зависимостей или номограмм [2].

В технических условиях на иониты производства отечественных и зарубежных компаний для определения РОЕ получила распространение система поправочных коэффициентов, учитывающих влияние перечисленных факторов [1]. Каждый из поправочных коэффициентов является функцией одного и более факторов в различных комбинациях.

Рабочая обменная емкость при этом определяется в форме произведения 3...5 сомножителей, вычисляемых из их функциональных зависимостей в форме таблиц и номограмм [1],

$$E_p = E_0 K_t K_{щ} K_{ис} K_{\tau} K_h,$$

где E_0 — полная или базовая обменная емкость ионита,

K_t — функция температурного влияния,

$K_{щ}$ — функция щелочности,

$K_{ис}$ — функция исходного состава воды,

K_{τ} — функция продолжительности фильтроцикла,

K_h — функция высоты фильтрующего слоя.

Такая методика затрудняет использование этих материалов для решения задач оптимизации технологических режимов. Расчеты усложняются необходимостью учета многих факторов, выполнением интерполирования или экстраполирования.

Для устранения этих сложностей предлагается представить таблично-графические зависимости в форме аппроксимирующих функций, что позволит их использовать в равной степени в задачах проектирования и управления.

Далее приведены расчетные соотношения для поправочных коэффициентов сильнокислотных катионитов Амберлайт IR120 Na с коэффициентом однородности 1,9 и

Амберджет 1200 Na с коэффициентом однородности 1,2 в условиях проточной и противоточной регенерации, соответственно [1].

В основе определения РОЕ лежит полная или базовая обменная емкость:

— для прямотока

$$E_6 = 0,1549 \left(\frac{\text{Na}}{\Sigma Kt} \right)^2 \ln \beta + 0,2432 \left(\frac{\text{Na}}{\Sigma Kt} \right) \ln \beta + \\ + 0,1857 \ln \beta - 0,4359 \left(\frac{\text{Na}}{\Sigma Kt} \right)^2 - 0,8855 \left(\frac{\text{Na}}{\Sigma Kt} \right) - 0,2167, \quad (1)$$

— для противотока

$$E_6 = 0,4474\beta - 1,0302, \quad (2)$$

где E_6 — полная обменная емкость катионита, г-экв/дм³;

$\left(\frac{\text{Na}}{\Sigma Kt} \right)$ — относительная концентрация натрия (отношение концентрации натрия к сумме катионов) в воде;

β — удельный расход регенерационного раствора, г-экв/г-экв.

Сравнение выражений (1) и (2) для базовой емкости позволяет отметить, что в проточном режиме для полидисперсного катионита она является сложной функцией допустимого проскока натрия и удельного расхода регенерационного вещества, а в противоточном режиме для монодисперсного ионита имеет место простая линейная зависимость от удельного расхода регенерационного раствора. Последний, в свою очередь, также является линейной функцией допустимого проскока натрия

$$\beta = 10C_{\text{Na}^+} + 30. \quad (3)$$

Подстановка (3) в (2) дает линейную зависимость базового значения емкости от допустимого проскока натрия вида

$$E_6 = 4,474C_{\text{Na}^+} + 12,3918,$$

где C_{Na} — допустимый проскок натрия, г-экв/дм³.

Такой характер зависимости в первом случае обусловлен, скорее всего, сложным волновым характером распространения сорбционного фронта при параллельноточной регенерации.

Влияние температуры раствора в обоих случаях имеет одинаковый характер:

— для прямотока

$$K_t = 0,0997 \frac{\text{Na}}{\Sigma Kt} \ln t + 0,0508 \ln t - 0,2716 \frac{\text{Na}}{\Sigma Kt} + 0,8652, \quad (4)$$

— для противотока

$$K_t = 0,0502 \frac{\text{Na}^+}{\Sigma Kt} \ln t + 0,026 \ln t - 0,134 \frac{\text{Na}^+}{\Sigma Kt} + 0,9298, \quad (5)$$

где t — температура раствора.

В случае противотока (5) значения угловых коэффициентов меньше по абсолютной величине, чем при прямотоке (4). Это свидетельствует о заметно меньшем влиянии температуры на эффективность моноразмерных материалов.

Влияние относительной щелочности на РОЕ представлено выражениями:

— для прямотока

$$K_{\text{щ}} = 0,1533 \frac{\text{Щ}}{\Sigma \text{An}} + 0,9217, \quad (6)$$

— для противотока

$$K_{\text{ш}} = -0,0682 \left(\frac{\text{Щ}}{\Sigma \text{An}} \right)^2 + 0,1564 \frac{\text{Щ}}{\Sigma \text{An}} + 0,9414, \quad (7)$$

где $\frac{\text{Щ}}{\Sigma \text{An}}$ — относительная щелочность (отношение щелочности воды к сумме анионов).

Линейная часть выражений (6) и (7) в обоих случаях практически одинакова. В моноразмерном ионите имеет место превышение на 1...2 % начального значения и углового коэффициента. Однако наличие квадратичного члена с отрицательным коэффициентом несколько компенсирует более интенсивное влияние относительной щелочности по сравнению с прямотоком.

Неоднозначное влияние оказывает на РОЕ структура ионного состава обрабатываемой воды:

— для прямотока

$$K_{\text{ис}} = 0,2027 \frac{\text{Na}}{\Sigma \text{Kt}} \frac{\text{Щ}}{\Sigma \text{An}} \frac{\text{Mg}}{\text{Жо}} - 0,2021 \frac{\text{Щ}}{\Sigma \text{An}} \frac{\text{Mg}}{\text{Жо}} - 0,5493 \frac{\text{Na}}{\Sigma \text{Kt}} \frac{\text{Mg}}{\text{Жо}} + 0,5496 \frac{\text{Mg}}{\text{Жо}} + 1, \quad (8)$$

— для противотока

$$K_{\text{ис}} = -0,1981 \left(\frac{\text{Na}}{\Sigma \text{Kt}} \right)^2 + 0,6072 \frac{\text{Na}}{\Sigma \text{Kt}} + 0,7457, \quad (9)$$

где $\frac{\text{Mg}}{\text{Жо}}$ — доля магниевой жесткости.

Прямоток характеризуется совместным влиянием относительных значений магниевой жесткости и щелочности, содержания натрия. Функция имеет нелинейный характер вследствие наличия произведений аргументов (8).

При противотоке (9) усматривается влияние только относительного содержания натрия в форме квадратичной функции.

Такой характер зависимости в первом случае, как и для значений базовой емкости, обусловлен, скорее всего, сложным волновым характером распространения сорбционного фронта при параллельноточной регенерации.

Влияние продолжительности фильтроцикла на РОЕ представлено следующими выражениями:

— для прямотока

$$K_{\tau} = 0,0421 e^{-0,7002 \frac{\text{Щ}}{\Sigma \text{An}}} - 0,0238 \tau^2 + 0,1069 \tau + 0,8541, \quad (10)$$

— для противотока

$$K_{\tau} = -0,0203 \frac{\text{Щ}}{\Sigma \text{An}} \ln \tau + 0,0304 \ln \tau + 0,0712 \frac{\text{Щ}}{\Sigma \text{An}} + 0,9157, \quad (11)$$

где τ — продолжительность фильтроцикла.

В противоточном режиме наблюдается положительное влияние высоты фильтрующего слоя на рабочую емкость по линейному соотношению

$$K_h = 0,1021h + 0,8482, \quad (12)$$

а при параллельноточной регенерации влияние этого фактора не проявляется и $K_h = 1$.

При использовании рассматриваемых катионитов для решения задач умягчения рабочую обменную емкость определяют соотношением, аналогичным (1), однако факторные функции имеют иные аргументы.

$$E_p = E_6 K_q K_{\text{Na}^+} K_{\text{NaCl}} K_{\text{ж}} K_h, \quad (13)$$

где E_6 — полная или базовая обменная емкость ионита;

K_q — функция относительной производительности слоя;

K_h — функция высоты фильтрующего слоя;

K_{Na^+} — функция концентрации натрия в растворе;

K_{NaCl} — функция концентрации регенерационного раствора;

$K_{ж}$ — функция общей жесткости обрабатываемой воды.

Базовое значения емкости является функцией расхода NaCl на регенерацию β (40...160 г/дм³)

$$E_6 = 0,6433 \ln \beta - 1,7355. \quad (14)$$

Расход NaCl на регенерацию, в свою очередь, может быть представлен функцией допустимого проскока жесткости и факторных функций, учитывающих влияние общего солесодержания и относительной концентрации натрия в обрабатываемой воде

$$\beta = \beta_6 K_{CC} K_{Na/\Sigma Kt}. \quad (15)$$

Базовое значения расхода соли на регенерацию определяется из выражения

$$\beta_6 = -7 \cdot 10^{10} Ж_{пр}^4 + 2 \cdot 10^9 Ж_{пр}^3 - 3 \cdot 10^7 Ж_{пр}^2 + 150548 Ж_{пр} - 45,556. \quad (16)$$

Факторная функция солесодержания выражена соотношением 15...45 мг-экв/дм³

$$K_{CC} = 40,241 C C^{-1,6012}. \quad (17)$$

Факторная функция относительной концентрации натрия выражена соотношением 0...100 %

$$K_{Na/\Sigma Kt} = -0,247 \ln \left(\frac{Na}{\Sigma Kt} \right) + 1,3695. \quad (18)$$

Влияние высоты загрузки на емкость определяется функцией K_h вида

$$K_h = 0,2508 \ln h - 0,8156,$$

которая справедлива при интервале высот 1000...2600 мм.

Общая жесткость Жо в прямоточном и противоточном режимах умягчения с учетом уравнений (12)...(18) по-разному сказывается на рабочей емкости:

— в прямоточном режиме

$$K_{ж} = 9 \cdot 10^{-7} Ж^3 - 7 \cdot 10^{-5} Ж^2 - 3,4 \cdot 10^{-3} Ж + 1,0189,$$

— в противоточном режиме

$$K_{ж} = 2,5 \cdot 10^{-3} Ж^3 - 2,68 \cdot 10^{-2} Ж^2 + 0,0407 Ж + 0,984.$$

Зависимости получены для интервала начальной жесткости 5...40 мг-экв/дм³. Структура выражений идентична, однако абсолютные значения коэффициентов во втором случае отличаются в большую сторону.

Концентрация Na в обрабатываемой воде в интервале 0,45...40 мг-экв/дм³ по мере возрастания уменьшает значение емкости в соответствии с линейной зависимостью

$$K_{Na^+} = -3,1 \cdot 10^{-3} C_{Na^+} + 1,013.$$

Содержание NaCl в регенерационном растворе для интервала концентрации 2...11 % с нелинейно влияет на величину емкости

$$K_{NaCl} = -6 \cdot 10^{-4} C_{NaCl}^2 + 1,46 \cdot 10^{-2} C_{NaCl} + 0,9114.$$

Функция K_q относительной производительности аппарата q в интервале 0...40 ОЗ/час по структуре подобна функции влияния высоты слоя

$$K_q = -0,0437 \ln q - 1,1201.$$

Сопоставление полученных выражений для условий обессоливания и умягчения позволяет отметить в первом случае более существенное влияние природы удаляемых катионов и присутствие анионов слабых кислот.

Полученные уравнения удобны для решения задач управления и оптимизации процесса очистки воды в эксплуатационных условиях и при проектировании.

Литература

1. Кишневский, В.А. Технологии подготовки воды в энергетике / В.А. Кишневский. — Одесса: Феникс, 2008. — 400 с.
2. Кишневский В.А. Системы обработки воды в энергетике: учеб. пособие / В.А. Кишневский. — Одесса: ОГПУ, 2003. — 200 с.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Эрайзер Л.Н.

Поступила в редакцию 15 ноября 2010 г.