

А.В. Мамченко, И.М. Косыгина

ПСЕВДООЖИЖЕНИЕ ИОНИТОВ РЕГЕНЕРИРУЮЩИМИ АГЕНТАМИ

Определены зависимости расширения слоя ионитов (слабоосновного – Amberlite IRA 67, слабокислотного – Lewatit CNP 80 и сильнокислотного – КУ 2-8) от скорости, температуры и концентрации регенерирующих агентов (для анионита – раствора гидроксида натрия, для катионитов – раствора серной кислоты). Найдены уравнения зависимостей расширения слоя ионитов от скорости, температуры и концентрации регенерирующих агентов, что позволяет априори определять режим регенерации ионитов в псевдооживленном слое.

При регенерации ионитов в плотном слое путём пропускания регенерационного раствора в том же направлении, что и во время выработки воды (прямоток), применяют значительное количество реагентов, которое превышает теоретически рассчитанное по стехиометрии химических реакций в 1,7 – 5 раз [1 – 6].

Снизить затраты реагентов на восстановление рабочей обменной емкости ионитов можно при помощи пропускания раствора в направлении противоположном направлению выработки воды (противоток) [1, 2, 7, 8]. При этом чистым раствором реагента в первую очередь обрабатывают нижние наименее загрязненные слои ионита. В результате они не только не загрязняются удаляемыми солями, как, например, при прямотоке, но и полностью восстанавливаются, что приводит к повышению экономических показателей работы ионообменных установок и улучшению качества получаемой воды [9].

Однако использование такой технологии сопряжено с рядом трудностей, обусловленных в основном тем, что ионит как на стадии выработки воды, так и в процессе регенерации находится в неподвижном слое, что исключает возможность его качественной очистки при отмывке [1, 2, 7, 8]. В связи с этим к воде, обработанной по принципу противотока, предъявляются повышенные требования по содержанию в ней взвешенных веществ, выполнение которых при предварительном известковании или содоизвестковании сырой воды достаточно затруднительно.

Технология противоточной регенерации в фиксированном слое чрезвычайно чувствительна как к наличию механических примесей в обрабатываемой воде, так и к образующимся в процессе ее обработки [7, 8]. Например, при регенерации сильнокислотных, а особенно слабокислотных катионитов, есть большая вероятность выпадения сульфата кальция

в осадок – гипсования фильтрующего материала, а при регенерации слабоосновных анионитов отработанным регенерационным раствором ОН-фильтров второй ступени не исключается возможность загрязнения слоя кремниевой кислотой.

Все указанные трудности могут быть устранены регенерацией материала в псевдооживленном слое [9 – 11], так как при этом снижается опасность образования и отложения на зернах загрязняющих примесей. Достигается это тем, что в процессе регенерации совмещаются две технологические операции, а именно: взрыхление материала и регенерация. Такой подход приводит не только к уменьшению затрат воды на собственные нужды, но и к гарантированному восстановлению рабочей ёмкости ионита, однако важно не допустить перемешивания слоев ионита.

Для соблюдения этих условий необходимо получить сведения о зависимости расширения слоя ионита от скорости пропускания раствора, температуры и концентрации раствора регенерирующего агента. В литературе такая информация отсутствует. В связи с этим целью нашей работы было изучение указанной зависимости, с помощью которой можно получить аналитические уравнения, позволяющие заведомо определять условия, обеспечивающие проведение регенерации ионообменников при заданном его расширении в отсутствие перемешивания слоев.

В качестве объектов исследования выбраны слабоосновной анионит Amberlite IRA 67, слабокислотный катионит Lewatit CNP 80 и сильнокислотный катионит КУ 2-8. Анионит взрыхляли раствором гидроксида натрия, а катиониты – раствором серной кислоты.

Методика эксперимента. Испытуемый ионит объемом 200 см³ загружали в термостатируемую колонку. Температуру регенерационного раствора варьировали в пределах 20 – 60°С, что значительно перекрывает температурный интервал регенерации материала в производственных условиях [12 – 14]. Приготовленный регенерационный раствор заданной концентрации подавали снизу вверх с помощью перистальтического насоса. Скорость подачи указанного раствора регулировали таким образом, чтобы расширение слоя материала находилось в интервале от 10 до 100% от первоначальной высоты. Насосом регулировали скорость подачи раствора через колонку до стабилизации расширения слоя, после чего измеряли скорость подаваемого раствора.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 в качестве примера приведены зависимости степени расширения слоя ионита Amberlite IRA 67 (P) от линейной скорости подачи раствора регенерирующего агента при постоянной его концентрации и разных температурах. Видно, что степень расширения слоя ионита зависит от скорости подачи регенерационного раствора и эта зависимость линейная.

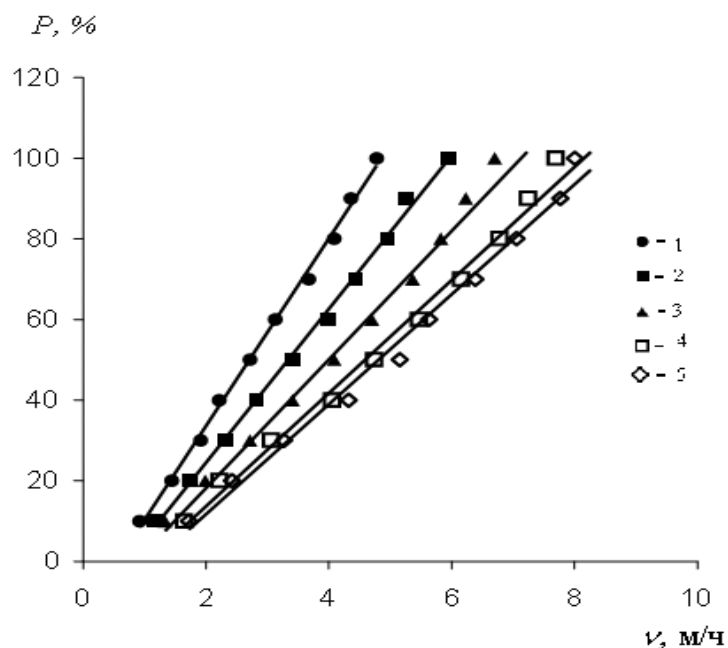


Рис. 1. Зависимость степени расширения слоя ионита Amberlite IRA 67(P) от скорости подачи регенерационного раствора при постоянной концентрации гидроксида натрия (1,97%) и температурах (°C): 20 (1), 30 (2), 40 (3), 50 (4), 60 (5).

При разных температурах она удовлетворительно описывается уравнением

$$P = a_0 + q_0 v, \quad (1)$$

где v – линейная скорость подачи раствора регенерирующего агента, м/ч; a_0 и q_0 – постоянные, не зависящие при заданных концентрации и температуре от линейной скорости подачи раствора регенерирующего агента.

Уравнение (1) удовлетворительно описывает все полученные экспериментальные данные независимо от химической природы ионита и регенерирующего агента. Параметр q_0 существенно изменяется при варьировании температуры, о чем свидетельствуют данные рис. 2, на котором представлены зависимости изменения константы уравнения (1) для ионита Amberlite IRA 67 от температуры. Статистический анализ этих данных свидетельствует, что достоверной зависимости постоянной a_0 от температуры не выявлено. Аналогичные результаты получены и для катионитов.

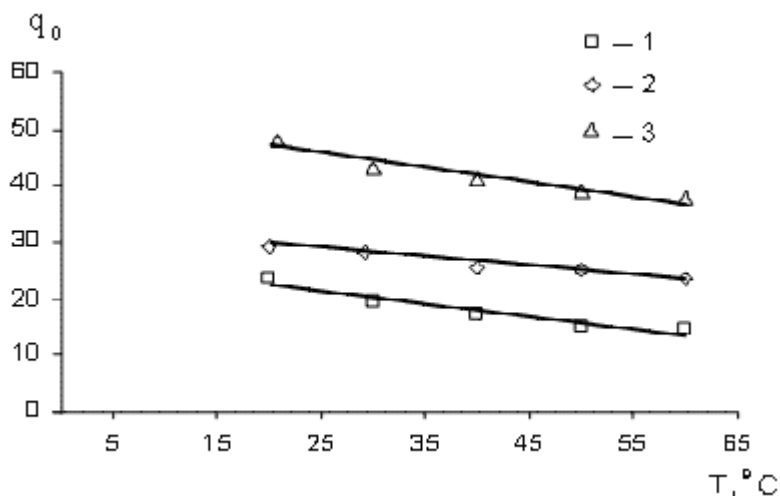


Рис. 2. Зависимости изменения константы q_0 (1) от температуры регенерационного раствора (гидроксида натрия) для ионита Amberlite IRA 67. Концентрация гидроксония натрия, %: 1,97 (1), 3,81 (2), 5,94 (3)

Все экспериментально найденные зависимости можно описать в виде

$$P = a_0 + b_0 v + c_0 v T, \quad (2)$$

где T – температура регенерирующего агента, °C; b_0 и c_0 – постоянные, не зависящие от линейной скорости подачи раствора и температуры.

В табл. 1 представлены константы уравнения (2) для всех ионитов при разных концентрациях регенерирующих агентов. Как видно, для двух катионитов параметры a_0 и c_0 в пределах погрешностей определения, характеризующихся величинами стандартных отклонений $S(a_0)$ и $S(c_0)$, совпадают и не зависят от концентрации регенерирующего агента. Константы b_0 , напротив, существенно изменяются при повышении концентрации серной кислоты в растворе. Зависимость этой константы от концентрации серной кислоты линейная.

Таким образом, зависимость степени расширения слоя любого из катионитов от параметров регенерационного раствора может быть описана следующим образом:

$$P = a_0 + b_1 v + b_2 v C + c_0 v T, \quad (3)$$

где C – концентрация серной кислоты в растворе, масс. %; b_1 и b_2 – постоянные, не зависящие от температуры, концентрации раствора и скорости его подачи и связанные с параметром b_0 (2) зависимостью $b_0 = b_1 + b_2 C$.

Таблица 1. Константы уравнения (2) при псевдооживлении слоев ионитов регенерирующими агентами разных концентраций

Ионит	Концентрация регенерирующего агента, масс. %	a_0	$S(a_0)$	b_0	$S(b_0)$	c_0	$S(c_0)$
Lewatit CNP 80	0	-7,2	1,2	7,3	0,1	-0,05	0,02
	0,21	-8,1	1,7	7,9	0,1	-0,05	0,02
	0,39	-6,4	0,9	8,3	0,1	-0,05	0,02
	0,59	-6,8	0,9	9,9	0,1	-0,06	0,02
	0,81	-6,9	0,9	11,6	0,1	-0,06	0,02
КУ 2-8	0	-6,2	1,7	7,1	0,1	-0,04	0,02
	2,06	-5,8	1,7	9,2	0,1	-0,06	0,02
	4,04	-5,7	0,9	10,2	0,1	-0,06	0,03
	5,93	-4,4	1,7	11,6	0,1	-0,07	0,03
	8,26	-3,1	2,6	13,0	0,2	-0,06	0,03
Amberlite IRA 67	0	-11,6	1,7	13,0	0,2	-0,12	0,04
	1,97	-12,4	1,8	26,0	0,4	-0,17	0,04
	3,81	-10,6	2,5	35,1	0,3	-0,23	0,06
	5,94	-5,5	3,4	54,9	0,4	-0,32	0,04

В табл. 2 приведены постоянные уравнения (3). Знание этих величин позволяет заведомо рассчитать степень расширения слоя при произвольных линейных скоростях подачи растворов серной кислоты, их концентрации и температуре. Абсолютные ошибки таких расчётов величины P не превышают 5%.

Таблица 2. Константы уравнения (3) зависимости расширения псевдооживленного слоя ионита от параметров регенерирующих агентов

Параметры	Amberlite IRA 67	КУ 2-8	Lewatit CNP 80
a_0	-6,98	-4,50	-6,38
$S(a_0)$	0,63	0,33	0,33
b_1	15,13	7,82	7,04
$S(b_1)$	0,22	0,06	0,05
b_2	5,19	0,60	4,46
$S(b_2)$	0,06	0,01	0,05
c_0	-0,22	-0,06	-0,06
$S(c_0)$	0,01	0,01	0,01

При взрыхлении слоя слабоосновного анионита Amberlite IRA 67 растворами гидроксида натрия от концентрации регенерационного раствора зависит не только постоянная b_0 , но и параметр c_0 уравнения (2). Как следует из рис. 3, зависимости указанных коэффициентов от концентрации удовлетворительно аппроксимируются линейными функциями. Это позволяет преобразовать уравнение (2) к виду, включающему только коэффициенты, не зависящие от скорости подачи, температуры и концентрации регенерационного раствора гидроксида натрия:

$$P = a_0 + b_1 v + b_2 v C' + c_1 v T + c_2 v T C', \quad (4)$$

где C' – концентрация гидроксида натрия в растворе, масс. %; c_1 и c_2 – постоянные, не зависящие от температуры, концентрации раствора и скорости его подачи и связанные с параметром c_0 уравнения (2) зависимостью $c_0 = c_1 + c_2 C'$.

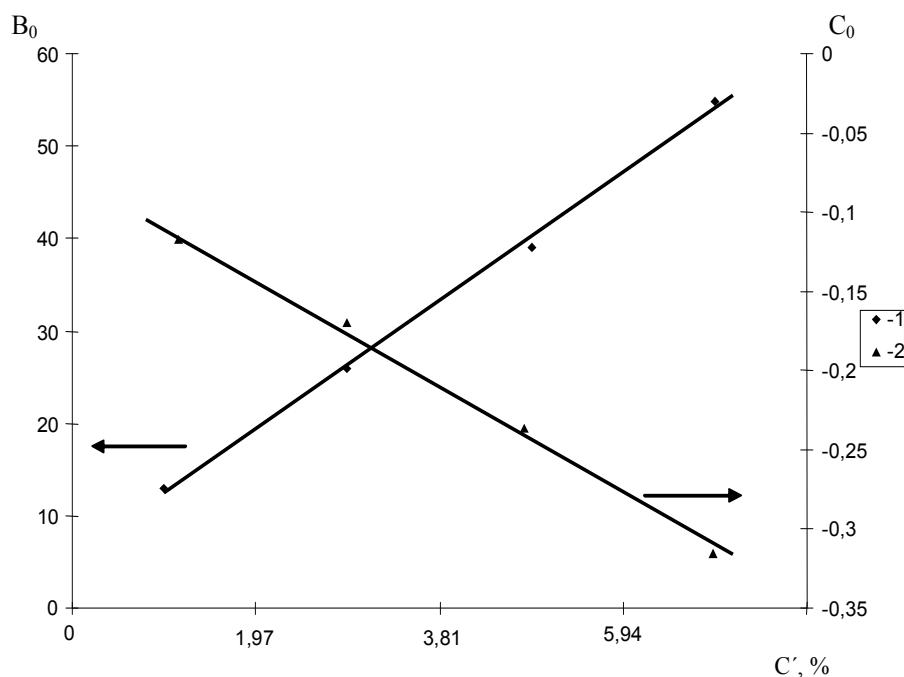


Рис. 3. Зависимости изменения констант уравнения (2) от концентрации регенерирующего агента для Amberlite IRA 67: 1 – значения константы b_0 ; 2 – значения константы c_0

Значения величин P , рассчитанные по (3), (4), удовлетворительно совпадают с экспериментальными данными. Средние относительные от-

клонения полученных расчетных данных от экспериментальных для ионита Amberlite IRA 67 составляют 11, для ионита КУ 2-8 – 10, а для ионита Lewatit CNP 80 – 7%. Наибольшее отклонение наблюдается при малых расширениях слоя ионитов. Это связано с невысокой точностью определения параметра a_0 (см.табл.1), вклад которого при вычислениях по уравнениям (3), (4) в области малых значений P достаточно велик.

Выводы. На основании вышеизложенного можно прийти к заключению, что, определив скорость, температуру и концентрацию регенерационного раствора, можно заранее рассчитать расширение слоя материала (3). Для ионита Amberlite IRA 67 необходимо использовать уравнение (4). При помощи данных уравнений для расчета расширения слоя ионита можно априорно определять режим регенерации ионитов в псевдооживленном слое.

Резюме. Визначено залежності розширення шару іонітів (слабоосновного – Amberlite IRA 67, слабокислотного – Lewatit CNP 80 та сильнокислотного – КУ 2-8) від швидкості, температури та концентрації регенеруючих агентів (для аніоніта – розчин гідроксиду натрію, для катіонітів – розчин сірчаної кислоти). Знайдені рівняння залежності розширення шару іонітів від швидкості, температури та концентрації регенеруючих агентів, що дозволяє априорно знайти режим регенерації іонітів в псевдозрідженому шарі.

A.V. Mamchenko, I.M. Kosygina

ION EXCHANGERS FLUIDISATION BY REGENERATION AGENTS.

Summary

Dependences of expansion of ion exchangers beds (weak basic ionite – Amberlite IRA 67, weak acid ionite – Lewatit CNP 80 and strongly acid ionite – КУ 2-8) from velocity, temperature and concentration of regeneration agents (for anion exchanger – solution of sodium hydroxide, for cation exchangers – solution of sulfuric acid) have been determined. The equations of dependences of expansion of ion exchangers beds from given parameters of regeneration agents, that allow a priori determination of ion exchangers regeneration mode in fluidized bed, are found.

1. *Гребенюк В.Д., Мазо А.А.* Обессоливание воды ионитами. – М.: Химия, 1980. – 254 с.
2. *Кишиневский В.А.* Современные методы обработки воды в энергетике. – Одесса: ОГПУ. 1999. – 196 с.
3. *Мазо А.А.* // Материалы Межвуз. темат. сб. тр. – Л.: ЛИСИ, 1986. – С. 71 – 78.
4. *Мамченко А.В., Якимова Т.И., Новоженюк М.С., Еременко А.Г.* // Химия и технология воды. – 1989. – **11**, №8. – С.728 – 740.
5. *Аввакумов В.А., Выборнова М.С.* // Водоснабж. и сан. техника. – 1991. – №7. – С. 5.
6. *Высоцкий С.П.* Мембранная и ионитная технология водоподготовки в энергетике. – Киев: Техника, 1989. – 176 с.
7. *Красильников М.Д.* // Вода и экология: проблемы и решения. – 2005. – №2. – С. 39 – 41.
8. *Резник Я.Е.* // Новости теплоснабжения. – 2003. – №12. – С. 47 – 48.
9. *Охотский В.Б.* // Теор. основы хим. технологии. – 2005. – **39**, №5. – С. 573 – 578.
10. *Lettieri P., Saccone G., Cammarata L.* // Chem. Eng. Res. and Des. – 2004. – **82**, №8. – P. 939 – 944.
11. *Мелешко В.П., Мазо А.А.* // Тр. Воронеж. гос. ун-та. – Воронеж, 1959. – Вып. 57. – С. 61 – 67.
12. *СНиП 2.04.02.-84.* Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.– Введ. 01.01.85.
13. *Лапотышкина Н.П., Сазонов Р.П.* Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей. – М.:Энергоиздат, 1982. – 200 с.
14. *Справочник химика-энергетика* /Под ред. С.М.Гурвича: В 3 т. – М.: Энергия, 1972. – Т.1. – 455 с.

Ин-т коллоид. химии и химии воды
им. А.В. Думанского НАН Украины,
г. Киев

Поступила 02.03.2007