

как концентрация ионов Ni^{2+} остаётся на уровне исходной. Также показана большая эффективность мембраны Ralex AF по сравнению с Ralex AMHPES. Так, время полного извлечения кислоты из исходного раствора при использовании Ralex AF практически в 2 раза меньше, чем у аналога.

ЛИТЕРАТУРА

1. MXenes as emerging nanomaterials in water purification and environmental remediation / S. Yu, H. Tang b, D. Zhang [et al.]. – Science of The Total Environment. – 2022. – Vol. 811 (10).
2. Recent advances in membrane filtration for heavy metal removal from wastewater: A mini review / H. Xiang, X. Min, C.-J. Tang [et al.]. – Journal of Water Process Engineering. – 2022. – Vol. 49.
3. Experimental investigation and modeling of diffusion dialysis for HCl recovery from waste pickling solution / R. Gueccia, S. Randazzo, D. Chillura Martino [et al.]. - Journal of Environmental Management. – 2019. – Vol. 235. – P. 202-212.

УДК 66.011; 544.4.032.7

¹М.М. Козлова, ^{1,2}В.Ф. Марков, ^{1,2}Л.Н. Маскаева

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
(г. Екатеринбург, Россия);

²Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России
(г. Екатеринбург, Россия)

ОКИСЛИТЕЛЬНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕССА ФЕНТОНА

Ионообменные смолы (ИОС) применяют в системах спецводоочистки для обработки промывных и сточных вод на объектах атомной энергетики. В качестве ионообменных смол на атомных электростанциях наиболее распространены сульфокислотный катионит КУ-2×8 и сильноосновный анионит АВ-17×8. В результате исчерпания обменной емкости ИОС образуются пульпы отработанных ионообменных смол, которые представляют собой малоактивные гетерогенные отходы. Такие смолы не могут быть регенерированы и должны быть утилизированы, так как при хранении отработанных смол происходит деградация структуры ионита и радиолиз воды. В настоящее время для переработки отработанных ионообменных смол предлагаются такие традиционные методы, как иммобилизация, сжигание, пиролиз, суш-

ка, окисление в сверхкритических условиях. Однако указанные способы являются высокочрезвычайно затратными, приводят к образованию вторичных радиоактивных отходов и к увеличению объема отходов [1].

Перспективным способом переработки отработанных ионообменных смол может быть окислительная деструкция с использованием процесса Фентона, который основан на окислении органических соединений при действии на них пероксида водорода. Каталитическими добавками служат соли переходных металлов, в том числе железа (II, III) и меди(II). Отличительной особенностью процесса Фентона является образование свободных гидроксильных радикалов, которые характеризуются повышенной окислительной способностью. Процесс Фентона зависит от температуры процесса, концентрации окислителя и катализатора, значения рН среды [2].

В настоящей работе проведены кинетические исследования окислительной деструкции катионита КУ-2×8 и анионита АВ-17×8 с использованием процесса Фентона.

Окислительное разложение катионита КУ-2×8 водным раствором пероксидом водорода концентрации 20 об% с добавлением 0.001–0.005 моль/л катализатора сульфата железа(II) проводили в диапазоне температур от 323 до 353 К.

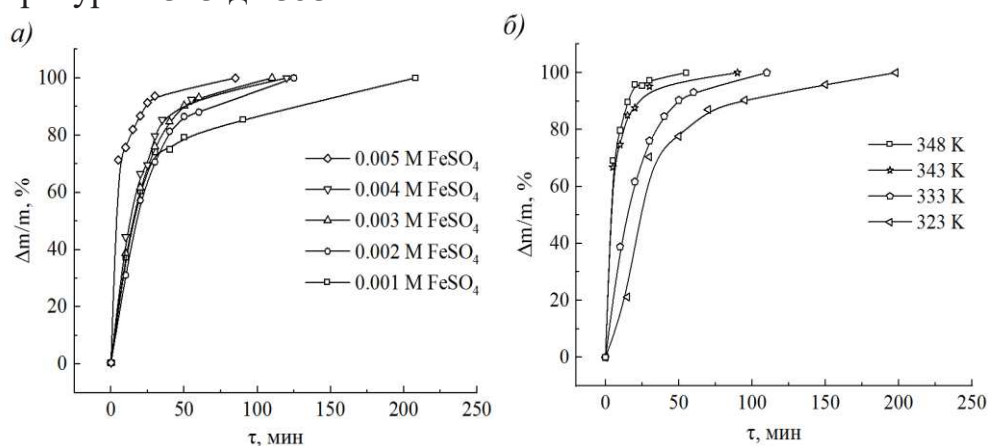


Рисунок 1 – Кинетические кривые относительной потери массы катионита КУ-2×8 в 20 % перексиде водорода с добавлением 0.001–0.005 моль/л FeSO_4 при температуре 333 К (а) и с добавлением 0.003 моль/л FeSO_4 при 323–348 К (б)

Установлено, что увеличение концентрации сульфата железа(II) значительно не ускоряет процесс разложения смолы (рис. 1а), тогда как существенное влияние на скорость окисления катионита оказывает повышение температуры процесса (рис. 1б). При этом при 323 К скорость процесса постепенно возрастает и для полного разложения смолы необходимо около 200 мин. Повышение температуры до 333 К приводит к заметному повышению скорости процесса, катионит рас-

творяется за 110 мин. При температурах 343 и 348 К время разложения смолы сокращается до 90 и 50 мин соответственно.

Окислительная деструкция катионита 20 об% водным раствором пероксида водорода проведено с добавлением каталитических добавок хлорида железа(III) (рис. 2а) и нитрата железа(III) (рис. 2б) концентрации 0.001 – 0.005 моль/л. На рис.2 видно, что при 323 К с первых минут скорость процесса повышается, а затем наблюдается относительно продолжительный индукционный период, катионит растворяется в течение 240 и 300 мин с добавлением FeCl_3 и $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ соответственно. Повышение температуры до 333 К значительно увеличивает скорость процесса, полное разложение смолы возможно за 135 и 164 мин соответственно. При температуре 343 К катионообменная смола растворяется в течение 75 и 85 мин с добавлением FeCl_3 и $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ соответственно, тогда как повышение температуры до 353 К сокращает время разложения до 30 и 35 мин.

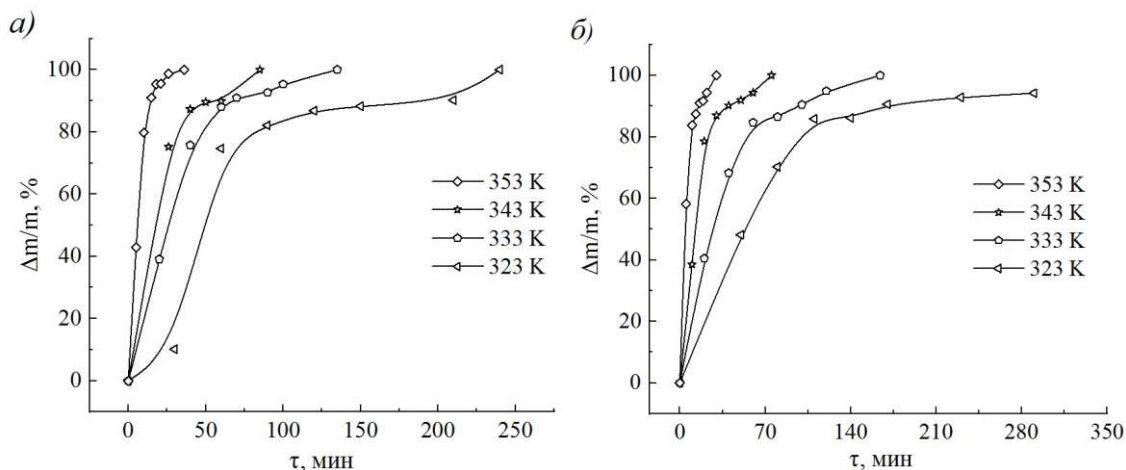


Рисунок 2 – Кинетические кривые относительной потери массы катионита КУ-2×8 в 20 % перексиде водорода с добавлением 0.003 моль/л FeCl_3 (а) и $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ (б)

Путем графического решения уравнения Аррениуса рассчитана энергия активации каталитического окисления катионита КУ-2×8. С добавлением $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ энергия активации находится в диапазоне 81.0–68.9 кДж/моль, в присутствии FeCl_3 и FeSO_4 ее значения снижаются до 73.1–55.3 и 67.1–40.9 кДж/моль соответственно. Вычисленные значения энергии активации характерны для процесса, протекающего в кинетической области.

Окислительное разложение анионита АВ-17×8 20 об% раствором пероксида водорода с добавлением 0.001–0.005 моль/л сульфата меди(II) (рис. 3а), хлорида меди(II) (рис. 3б) или нитрата меди(II) (рис. 3в) проводили в диапазоне температур 323–353 К. При 323 К растворение протекает относительно медленно, в течение 270 мин растворя-

ется около 70 % анионита с добавлением $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, тогда как введение CuCl_2 или CuSO_4 обеспечивает разложение смолы на 90 %. Повышение температуры до 333 К значительно ускоряет процесс, анионообменная смола растворяется в течение 140–110 мин. При 343 и 348 К полное окислительное разложение анионита возможно за 25–45 мин.

Рассматривая влияние анионной составляющей на основе солей меди(II), можно отметить, что активность солей уменьшается в ряду $\text{CuSO}_4 > \text{CuCl}_2 > \text{Cu}(\text{NO}_3)_2$.

Определены значения энергии активации реакции каталитического окисления анионита АВ-17×8 с добавлением нитрата меди(II) $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, которые находятся в диапазоне 141.5–120.6 кДж/моль. В присутствии хлорида меди(II) CuCl_2 и сульфата меди(II) CuSO_4 значения энергии активации снижаются до 100.0–91.0 и 124.3–115.7 кДж/моль соответственно.

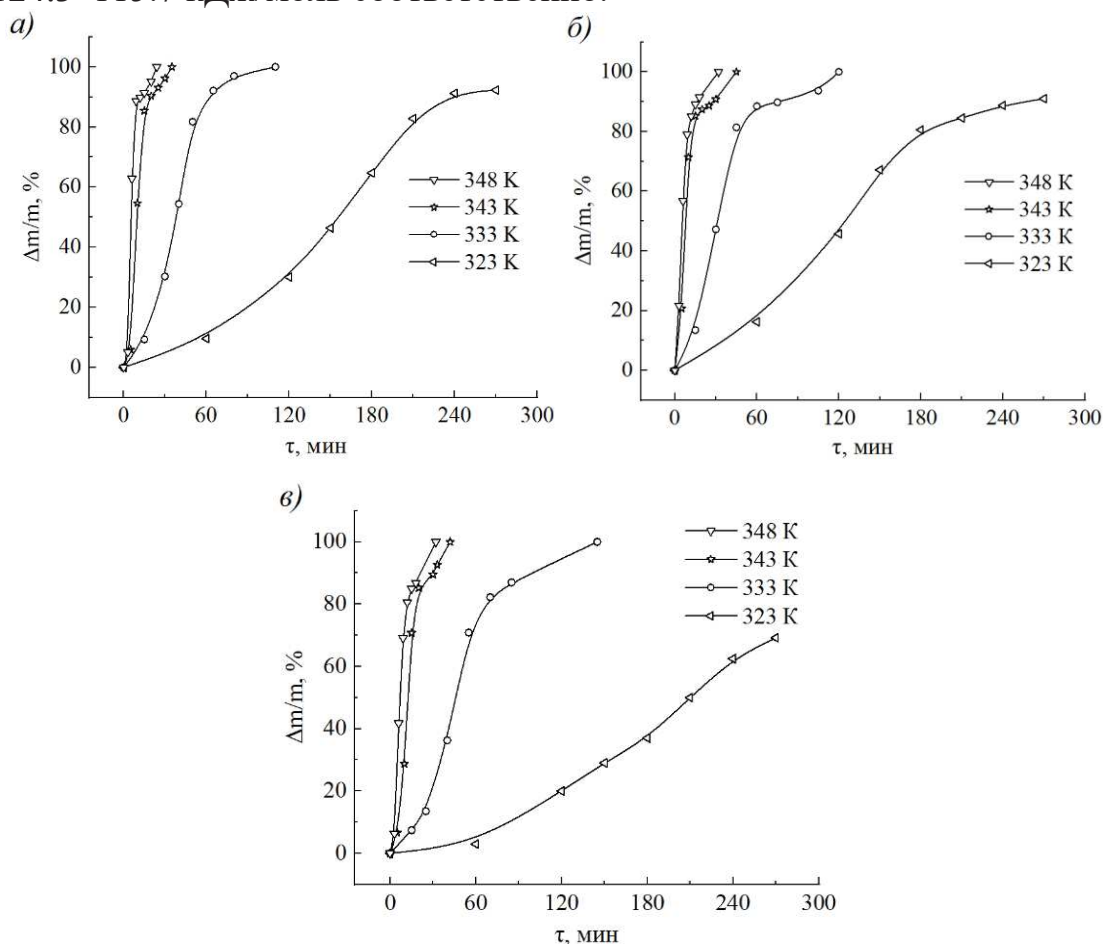


Рисунок 3 – Кинетические кривые относительной потери массы анионита АВ-17×8 в 20 % перексиде водорода с добавлением 0.003 моль/л CuSO_4 (а), CuCl_2 (б), $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (в)

Таким образом, окислительное разложение является эффективным способом уменьшения массы ионообменных смол. Полученный в

ходе окисления водно-органический раствор в дальнейшем упаривается, а остаток отверждается с использованием методов иммобилизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смольников, М.И. Проблемы утилизации отработанных ионообменных смол атомных электростанций (обзор) / М.И. Смольников, В.Ф. Марков, Л.Н. Маскаева, А.Е. Бобылев, О.А. Мокроусова // Бутлеровские сообщения. – 2017. – Т. 49. – В. 3. – С. 119–134.

2. Zhang, M-H. A review on Fenton process for organic wastewater treatment based on optimization perspective / Zhang M-H., Dong H., Zhao L., Wang D-X., Meng D. // Sci. Total Environ. – 2019. V. 670 – P. 110–121.

УДК 66.066

¹М.А. Коржова, ¹Е.Т. Берсенева, ²А.Н. Коржов, ¹Т.В. Гузик

¹Кубанский государственный технологический университет
(г. Краснодар, Россия);

²Кубанский государственный университет" (ФГБОУ ВО «КубГУ»)
(г. Краснодар, Россия)

КРАТКИЙ ОБЗОР: ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ОЧИСТКИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

В настоящее время для получения и очистки водных растворов до требуемого качества применяются различные методы и технологии [1]. По принципу действия способы очистки и обработки водных растворов разделяются на – физические, электрохимические, физико-химические, биологические и комбинированные. В свою очередь физические методы подразделяются на: фильтрацию (например, фильтрация через колонны с песчаной кварцевой засыпкой различных фракций), отстаивание и процеживание.

Химические методы включают в себя: – нейтрализацию водных растворов (с корректировкой рН), окисление (озонация, аэрация и др.), восстановление и другие. Физико-химические методы – флотация (например, для очистки воды от нефтепродуктов), сорбция (для удаления поверхностно активных веществ – шампуни и их производные), ионный обмен (подразделяются на засыпки ионообменных смол: катионит для установок умягчения и обезжелезивания жесткой воды, анионит – для очистки и переработки сточных вод и регенерации промышленных растворов и засыпки смешанного типа).