

О ПОВЫШЕНИИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ВОДОПРИГОТОВЛЕНИЯ

Докт. техн. наук, проф. ДЖАЛИЛОВ М. Ф., инж. БАДАЛОВ Б. Ш.

Азербайджанский архитектурно-строительный университет

Значительная доля загрязнений окружающей среды тепловыми электрическими станциями (ТЭС) приходится на сбросные стоки водоподготовительных установок по выработке различного качества вод. Эти воды на современных ТЭС готовятся в основном химическими методами. Как правило, применяются ионитные способы химобессоливания и умягчения воды. Образуемые при регенерации ионитов соленые сточные воды, содержащие смесь солей кальция, магния, натрия и иногда кислоты или щелочи, перед сбросом в водоемы должны подвергаться специальной обработке. Поэтому сегодня повышение эффективности технологий водоприготовления представляет большой интерес как в научном, так и практическом плане.

По своей оригинальности и эффективности особое место занимают выполненные в Азербайджанском архитектурно-строительном университете работы по химическому обессоливанию воды с сокращенными реагентами и сокращенными стоками, бессточному умягчению и комбинированной выработке химически или термически обессоленной и умягченной воды [1–4]. Исследования, проведенные по комбинированию процессов выработки различного качества вод, доказали возможность утилизации реагентов и отработанных регенерационных растворов, например, от химобессоливающей части на умягчительной части установки, что позволяет существенно повысить эффективность как химобессоливания, так и умягчения воды. Характерным для катионитов, находящихся перед регенерацией раствором кислоты в Na-форме, является то, что незначительное увеличение удельного расхода кислоты на их регенерацию способствует резкому повышению его обменной емкости [1]. Избыток кислоты, содержащейся в отработанном растворе, можно использовать для подкисления подпиточной воды теплотрассы, добавочной воды оборотного охлаждения и регенерации катионитных фильтров умягчающей воды для различных потребителей. Несмотря на это, до сих пор в достаточной степени не изучены составы и удельные количества отработанных регенерационных растворов (ОРР) H-катионитных фильтров, регенерируемых из Na-формы.

ОРР H-катионитных фильтров, находящиеся в Na-форме, перед регенерацией, например раствором серной кислоты, в зависимости от ее удельного расхода на регенерацию, могут содержать Na_2SO_4 или же смесь Na_2SO_4 и H_2SO_4 . ОРР целесообразно делить на нейтральные и кислые части. Нейтральную часть ОРР, содержащую практически только Na_2SO_4 , целесообразно использовать при регенерации Na-катионитных фильтров. Кислую же часть ОРР, содержащую смесь Na_2SO_4 и H_2SO_4 , можно применять для регенерации H-Na-катионитных и H-катионитных фильтров, работающих в «голодном» режиме регенерации, для подкисления подпиточной воды

тепловой сети или обратного охлаждения. Современный уровень автоматизации водоподготовительных установок обеспечивает разделение ОРР на нейтральные и кислые порции. Однако для использования частей ОРР необходимо иметь информацию об их количестве и качестве в зависимости от конкретных условий работы водоподготовительной установки.

Для определения удельного объема (объем, приходящийся на 1 м³ Н-катионированной воды) нейтральной v_n и кислой v_k частей ОРР Н-катионитного фильтра выведены выражения, м³/м³:

$$v_n = \frac{e_{ст}}{C_p} + \alpha; \quad (1)$$

$$v_k = \frac{me - e_{ст}}{C_p} + g_o - \alpha, \quad (2)$$

где $e_{ст}$, e – обменная емкость катионита при стехиометрическом и m -кратном (г·экв/(г·экв)) расходе кислоты на его регенерацию, г·экв/м³; C_p – концентрация регенерационного раствора кислоты, мг·экв/л; α – водяная часть фильтра; g_o – удельный расход воды на отмывку катионита, м³/м³. Учитывая, что при этом используется двухпоточно-противоточная конструкция фильтров, для них удельный расход воды на отмывку катионита составляет 3 м³/м³ [3], а значение α можно принимать равным 0,7 [2].

Тогда концентрация Na⁺-ионов в составе нейтральных порций (в мг·экв/л) составит

$$C_{Na,n} = \frac{1}{\frac{1}{C_p} + \frac{\alpha}{e_{ст}}}. \quad (3)$$

Отсюда следует, что концентрация Na⁺-ионов в составе ОРР зависит от значения концентрации регенерационного раствора и обменной емкости катионита при стехиометрическом расходе кислоты на его регенерацию. Значение $e_{ст}$ зависит также от концентрации регенерационного раствора кислоты [1]. Расчеты показывают, что величина удельного объема нейтральной части ОРР Н-катионитного фильтра при концентрациях регенерационного раствора от 100 до 2000 мг·экв/л меняется в пределах от 7,4 до 1 м³/м³. Концентрация Na⁺-ионов в этом растворе колеблется от 90 до 600 мг·экв/л. Расход нейтральной части ОРР определяется выражением

$$W_{o,n} = \left(\frac{e_{ст}}{C_p} + \alpha \right) \frac{C_{пр.х.о}}{e} \left(1 + \frac{q_{с.н.н}}{100} \right) \left(1 + \frac{q_{с.н.а}}{100} \right) W_{х.о}, \quad \text{м}^3/\text{ч}, \quad (4)$$

где $q_{с.н.н}$, $q_{с.н.а}$ – удельный расход воды на собственные нужды Н-катионитных и анионитных фильтров, %; $C_{пр.х.о}$ – солесодержание обессоливаемой воды после предварительной очистки, мг·экв/л; $W_{х.о}$ – (нетто) производительность химвобессоливающей установки, м³/ч.

Максимально возможный расход умягченной воды W_y^m , получаемой на установке с использованием нейтральной части ОРР для регенерации Na-катионитных фильтров, определяется по выражению

$$W_y^m \leq W_{x.o} \frac{\left(1 + \frac{q_{c.n.a}}{100}\right) \left(1 + \frac{q_{c.n.h}}{100}\right) C_{пр.х.о} \frac{e_{ст}}{e}}{\left(1 + \frac{q_{c.n.y}}{100}\right) m_{Na} Ж_{пр.y}}, \quad \text{М}^3/\text{ч}, \quad (5)$$

где $q_{c.n.h}$, $q_{c.n.a}$ – жесткость умягчаемой воды после предварительной очистки, мг-экв/л; m_{Na} – удельный расход соли на регенерацию Na-катионитных фильтров, г-экв/(г-экв); $q_{c.n.y}$ – удельный расход воды на собственные нужды Na-катионитных фильтров.

Учитывая, что с увеличением удельного расхода соли на регенерацию катионитных фильтров возможное количество умягчаемой воды уменьшается, для ее увеличения требуется применение прогрессивных технологий регенерации катионитов и конструкции ионитных фильтров. В качестве таковой можно использовать двухпоточно-противоточную конструкцию ионитных фильтров и технологию двухпоточной регенерации ионитов [1]. С их помощью удельный расход соли на регенерацию катионитных фильтров можно уменьшить до 1,3–1,5 г-экв/(г-экв) [5].

Большой практический интерес представляет также кислая часть ОРР H-катионитных фильтров, где кроме натриевой соли содержится избыток поданной на регенерацию кислоты. Концентрация натриевой соли и избытка кислоты в кислой части ОРР H-катионитного фильтра (мг-экв/л), определяется следующим образом:

$$C_{H,k} = \frac{(m-1)e}{\frac{me - e_{ст}}{C_p} + g_o - \alpha}; \quad (6)$$

$$C_{Na,k} = \frac{e - e_{ст}}{\frac{me - e_{ст}}{C_p} + g_o - \alpha}. \quad (7)$$

С помощью этих выражений определены концентрации натриевой соли и кислоты в кислой части ОРР H-катионитных фильтров в зависимости от удельного расхода и концентрации кислоты, подаваемой на регенерацию. Результаты расчетов графически показаны на рис. 1 и 2.

Как следует из рис. 1, с увеличением концентрации и удельного расхода кислоты на регенерацию концентрация Na^+ -ионов в кислой части ОРР повышается. Однако при постоянной концентрации регенерационного раствора концентрация Na^+ -ионов в кислой части ОРР сначала увеличивается и после достижения максимального значения постепенно уменьшается. Это объясняется тем, что при относительно малых избытках кислоты на регенерацию происходит значительный прирост обменной емкости катионита. Поэтому концентрация Na^+ -ионов в составе ОРР с увеличением удельного расхода кислоты при относительно малых его значениях растет. После определенного значения удельного расхода кислоты на регенерацию прирост обменной емкости катионита замедляется. Поэтому увеличение концентрации Na^+ -ионов отстает от повышения концентрации в растворе H^+ -ионов, в результате чего концентрация первых уменьшается. Изменение

концентрации Na^+ -ионов в составе ОРР при больших значениях концентрации регенерационного раствора происходит более существенно, чем при низких. Это связано с тем, что объем регенерационного раствора при больших концентрациях меньше, чем при малых.

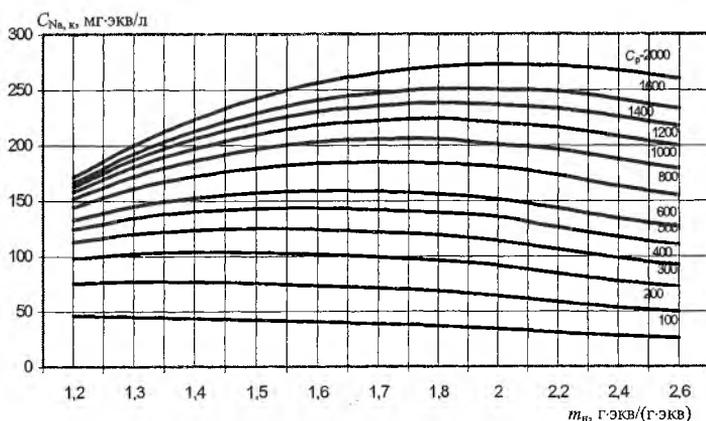


Рис. 1. Изменение концентрации натрия в кислой части ОРР Н-катионитного фильтра в зависимости от удельного расхода и концентрации кислоты, подаваемой на регенерацию

Из рис. 2 видно, что с повышением удельного расхода кислоты концентрация H^+ -ионов в ОРР все время увеличивается, причем интенсивность ее выше при больших значениях концентрации регенерационного раствора. Это связано с уменьшением удельного объема ОРР.

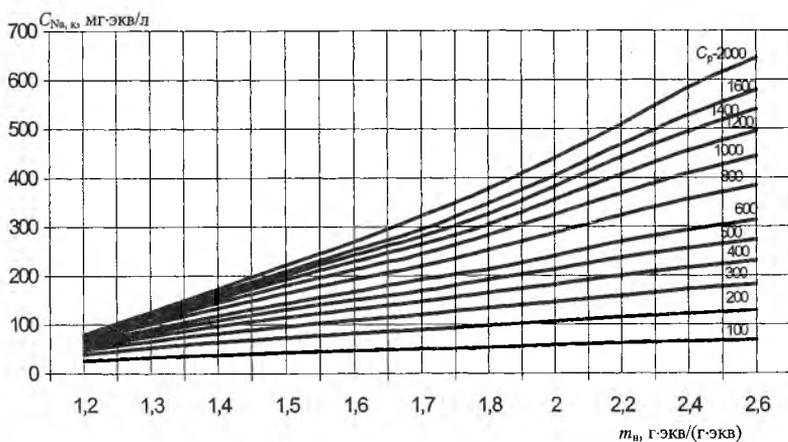


Рис. 2. Изменение концентрации кислоты в кислой части ОРР Н-катионитного фильтра в зависимости от удельного расхода и концентрации кислоты, подаваемой на регенерацию

В качестве одного из вариантов утилизации кислой части ОРР предлагается ее использование для подкисления известковой воды, подаваемой в теплосеть в качестве подпиточной. При этом кислота, содержащаяся в кислой части ОРР, используется для корректировки pH известковой воды. При регенерации катионитных фильтров раствором H_2SO_4 происходит также увеличение концентраций SO_4^{2-} -ионов в подпиточной воде в количестве

$$\Delta SO_{4, \text{изв.п}} = \Delta \Pi_{\text{изв}} \frac{m - \frac{e_{\text{ст}}}{e}}{m - 1}, \text{ мг} \cdot \text{ЭКВ/л.} \quad (8)$$

Тогда концентрация SO_4^{2-} -ионов в подкисленной известкованной воде составит

$$SO_{4, \text{изв.п}}^{2-} = SO_{4, \text{исх}}^{2-} + D_k + \Delta \Pi_{\text{изв}} \frac{m - \frac{e_{\text{ст}}}{e}}{m - 1}, \text{ мг} \cdot \text{ЭКВ/л,} \quad (9)$$

где $SO_{4, \text{исх}}^{2-}$ – концентрация сульфат ионов в исходной воде; D_k – доза коагулянта $FeSO_4$; $\Delta \Pi_{\text{изв}}$ – уменьшение щелочности известкованной воды в процессе подкисления, мг·ЭКВ/л.

Солесодержание в подкисленной известкованной воде $C_{\text{изв.п}}$ определяется следующим образом:

$$C_{\text{изв.п}} = C_{\text{исх}} - \Pi_{\text{исх}} + D_k + \Pi_{\text{изв}} \frac{m - \frac{e_{\text{ст}}}{e}}{m - 1} - \Pi_{\text{п}} \frac{1 - \frac{e_{\text{ст}}}{e}}{m - 1}, \text{ мг} \cdot \text{ЭКВ/л,} \quad (10)$$

где $\Pi_{\text{исх}}$, $\Pi_{\text{изв}}$, $\Pi_{\text{п}}$ – щелочность в исходной, известкованной и подпиточной воде, мг·ЭКВ/л.

Учитывая, что солесодержание подпиточной воды теплосети не должно превышать солесодержания в исходной воде, в качестве условия применения кислой части ОРР Н-катионитного фильтра для подкисления известкованной воды, можно записать:

$$\Pi_{\text{исх.пр.мин}} \geq D_k + \Pi_{\text{изв}} \frac{m - \frac{e_{\text{ст}}}{e}}{m - 1} - \Pi_{\text{п}} \frac{1 - \frac{e_{\text{ст}}}{e}}{m - 1}, \text{ мг} \cdot \text{ЭКВ/л.} \quad (11)$$

Принимая $\Pi_{\text{изв}} = 1,0$; $\Pi_{\text{п}} = 0,4$ и $D_k = 0,4$ мг·ЭКВ/л и используя данные [1] по изменению обменной емкости катионита КУ-2-8 из Na-формы в зависимости от удельного расхода регенерационного раствора серной кислоты концентрацией 500 мг·ЭКВ/л для минимально возможного значения щелочности исходной воды, обрабатываемой для подпитки теплосети, получим данные, представленные в табл. 1.

Таблица 1

m , Г·ЭКВ/(Г·ЭКВ)	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,6
$\Pi_{\text{исх.пр.мин}}$	2,69	2,18	1,97	1,85	1,77	1,72	1,64

Как видим, с повышением удельного расхода кислоты на регенерацию Н-катионитного фильтра минимально возможное значение щелочности исходной воды, обрабатываемой для подпитки теплосети известкованием и последующим подкислением кислыми порциями ОРР этого фильтра, уменьшается. Это связано с тем, что с повышением удельного расхода кислоты на регенерацию количество кислоты в составе ОРР Н-катионитного фильтра увеличивается. Отсюда также следует, что даже при минимальном значении избытка кислоты на регенерацию минимально возможное значе-

ние щелочности исходной воды получается около 2,7 мг-экв/л, что характерно для большинства пресных вод.

Для определения предела возможного применения подкисления известкованной воды кислыми порциями ОРР выведено выражение

$$\frac{W_p}{W_{x.o}} \leq (m - 1) \left(1 + \frac{q_{c.n.a}}{100} \right) \left(1 + \frac{q_{c.n.n}}{100} \right) \frac{C_{пр.х.о}}{\Delta \Pi_{чизв}}, \quad (12)$$

где W_p – расход подпиточной воды теплосети, м³/ч.

Однако при этом необходима проверка условия по выражению (11). Для вод щелочностью меньше 1,6 мг-экв/л солесодержание подпиточной воды может незначительно превышать солесодержание в исходной воде. Если это допускается, то проверка условия по выражению (11) не обязательна.

ВЫВОД

Таким образом, утилизация ОРР Н-катионитных фильтров химобессоливающей части установки в процессе подготовки подпиточной воды теплосети или же при получении умягченной воды позволяет улучшить технико-экономические и экологические показатели всей водоподготовительной установки и тем самым обеспечить защиту окружающих водоемов от сбросных сточных вод, а также удешевить процессы очистки различного качества вод. Рассмотренные в предлагаемой статье разрешенные вопросы, связанные с ОРР Н-катионитных фильтров, могут быть приняты за основу применения предложенных вариантов технологий их утилизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фейзи ев Г. К. Высокоэффективные методы умягчения, опреснения и обессоливания воды. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.
2. Джалилов М. Ф. Химическое обессоливание воды на ТЭС с сокращенными количествами реагентов и стоков. – Баку: ЭЛИМ, 1996. – 150 с.
3. М У-34-70-126–85. Методические указания по проектированию обессоливающих установок с сокращенными стоками / Э. Н. Гоуфман, Т. Ф. Быстрова, В. А. Образцова и др. – М.: М-во энерг. и электрифик. СССР, СПО «Союзтехэнерго», 1987. – 63 с.
4. Методические указания по проектированию ТЭС с максимально сокращенными стоками / Ю. Ф. Боднарь, Т. Ф. Быстрова, Р. К. Гронский и др. – М.: ВТИ, ВНИПИэнергопром, АЗИСИ, 1991. – 152 с.
5. Опыт эксплуатации установки подготовки подпиточной воды теплосети на Минской ТЭЦ-3 / М. Ф. Джалилов, А. М. Кулиев, Л. С. Прибыльский и др. // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений СНГ). – 1997. – № 1–2. – С. 71–75.

Представлена кафедрой газоснабжения
и обеспечения микроклимата

Поступила 24.06.2005