2.4.5 Энергетические системы и комплексы (технические науки)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ НАТРИЙ-КАТИОНОВЫХ ФИЛЬТРОВ НА ЭТАПЕ ОТМЫВКИ

А.Н. ТОКАРЕВА, канд. техн. наук, доцент
tanna_ing@mail.ru
С.В. ПАНЧЕНКО, канд. техн. наук
М.С. ДЕМЧЕНКО, канд. техн. наук

A.N. TOKAREVA, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor
S.V. PANCHENKO, Cand. Sci. (Tech.)
M.S. DEMCHENKO, Cand. Sci. (Tech.)

***Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета**, Россия, Зерноград*
***Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of Don State Agrarian University**, Russia, Zernograd*

Аннотация. *Рассмотрена двухэтапная схема отмывки натрий-катионового фильтра после регенерации для двух вариантов компоновки водоподготовительной установки и для двух видов фильтрующих материалов. Используемая на втором этапе отмывки вода смешивается с водой из водопроводной сети. Установлены зависимости изменения жесткости смешанной воды от расхода жидкости на втором этапе отмывки. Для полученных зависимостей проведены исследования на экстремум, в результате которых установлено оптимальное распределение потоков отмывочной воды по этапам. На основе технико-экономической оценки определен эффективный вариант компоновки водоподготовительной установки и снижение эксплуатационных затрат при использовании рассматриваемой технологической схемы регенерации натрий-катионовых фильтров.*

Ключевые слова: *расход, фильтр, катионит, жесткость, отмывочная вода*

Для получения требуемого качества питательной воды в котельных малой мощности используются в большинстве случаев системы водоподготовки на базе натрий-катионовых фильтров. Применение данной водоподготовительной установки обосновано многолетним положительным опытом использования технологии ионного обмена [1,2] и низкой стоимостью, что является одним из приоритетных критериев выбора данного способа водоподготовки для котельных, относящихся к области так называемой «малой» энергетики.

Однако рассматриваемому оборудованию присущи такие недостатки, как большой расход регенерирующих материалов и, как следствие, сброс сточных вод, содержание состава которых не соответствует природоохранным требованиям. Для устранения данной проблемы предлагаются такие решения, как использование противоточной схемы регенерации [3], химическая и электрохимическая обработка сточных вод [4,5], применение комбинированных схем водоподготовки [6], использование более совершенных ионообменных материалов [7] и изменение режима отмывки [8,9]. Именно последнее из вышеперечисленных мероприятий представляет наибольший интерес, так как не требует существенных капитальных вложений.

Сущность данного технологического решения [9] состоит в том, что процесс отмывки фильтра после регенерации делится на два этапа (рис. 1).

На первом этапе сточные воды с высоким содержанием солей жесткости по традиционной схеме сбрасываются в канализационную сеть, на втором этапе сточные воды с минимальной жесткостью направляются в резервуар для смешивания с исходной водой из водопроводной сети. Предложение такой системы отмывки связано с тем, что интенсивность увеличения жесткости отмывочной воды в начале процесса отмывки выше, чем при завершении данной операции.

Проанализировав результаты исследований [9], было решено рассмотреть использование предлагаемого технологического решения для котельной, расположенной на территории южной части Ростовской области.

Жесткость исходной воды в рассматриваемой котельной изменялась от $Ж_0 = 8\frac{мг-экв}{дм^3}$ до $Ж_0 = 24\frac{мг-экв}{дм^3}$.

Расход подпиточной воды в зависимости от характера тепловой нагрузки увеличивался от $Q_{под} = 10\frac{м^3}{ч}$ до $Q_{под} = 14\frac{м^3}{ч}$.

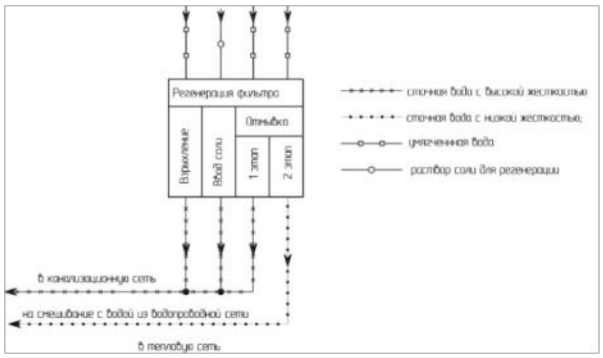


Рисунок 1. Схема регенерации фильтра с двухэтапным процессом отмывки

Рассматривалось использование катионитов с минимальной обменной

$$E_{p\min}^{Na} = 500\frac{г-экв}{м^3}$$

способностью (сульфоуголь) и максимальной обменной

$$E_{p\min}^{Na} = 1700\frac{г-экв}{м^3}$$

способностью (катионит КУ-2-8).

Проведенный многофакторный машинный эксперимент [10] позволил определить для вышеуказанных уровней варьирования параметров два оптимальных варианта компоновки водоподготовительной системы, схемы которых представлены на рисунке 2.

В первом варианте используются натрий-катионовые фильтры типа ФИПа I-0,7-0,6Na с площадью поперечного сечения f = 0,385 $м^2$. В работе находятся два фильтра данного типоразмера. Два других фильтра в период работы первых двух фильтров регенерируются.

Второй вариант рассматривает применение двух фильтров типа ФИПа I-1,0-0,6 Na с площадью поперечного сечения f = 0,785 $м^2$. Один фильтр работает, второй фильтр восстанавливается.

Вариант компоновки с четырьмя фильтрами типа ФИПа I-0,7-0,6Na в дальнейшем будем называть 1 вариант компоновки водоподготовительной установки.

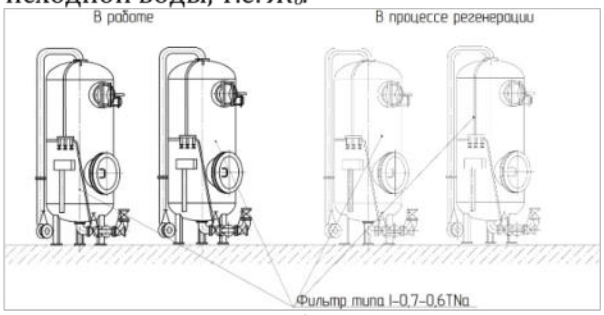
Вариант компоновки с двумя фильтрами типа ФИПа I-1,0-0,6 Na соответственно будем называть 2 вариант компоновки.

Изучив материалы [9,11] были приняты следующие допущения:

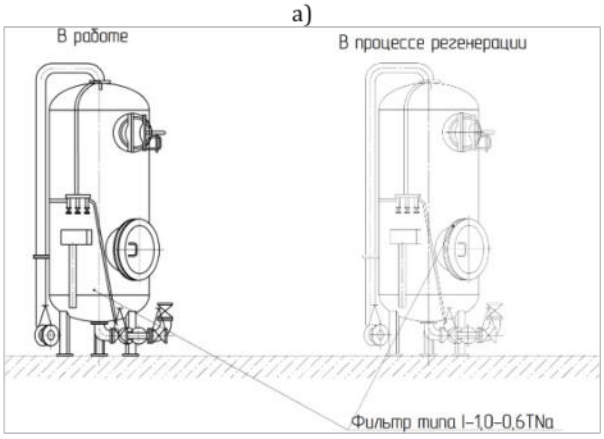
– так как большая часть отмываемых солей переходит в воду на первом этапе, то характер изменения расхода воды на отмывку аналогичен характеру кривой изменения удельного расхода соли [11] в процессе регенерации фильтра (рис. 3);

– расход воды на отмывку прямо пропорционален расходу соли на регенерацию;

– жесткость отмывочной воды в конце процесса отмывки фильтра при традиционной схеме равняется жесткости исходной воды. Таким образом, конечную жесткость отмывочной воды при проведении исследований можно обозначить как начальную жесткость исходной воды, т.е. $Ж_о$.



а)



б)

Рисунок 2. Схемы компоновки водоподготовительной установки: а – первый вариант; б – второй вариант

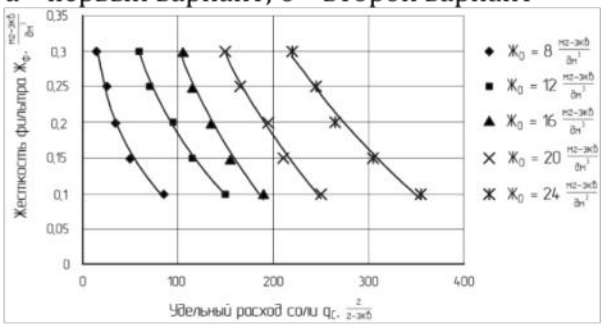


Рисунок 3. Изменение жесткости фильтрата ($Ж_ф$) от удельного расхода соли (q_c)

С учетом данных допущений были определены зависимости изменения расхода отмывочной воды $Q_{отм}$ от жесткости воды $Ж_о$. Графическая интерпретация

полученных зависимостей приведена на рисунке 4.

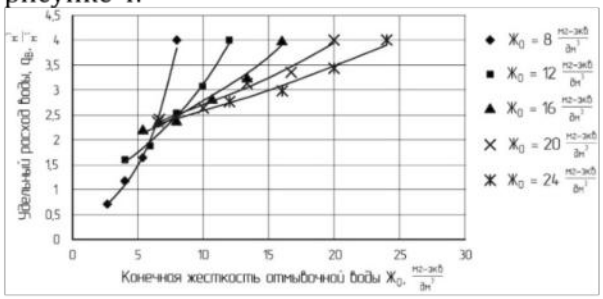


Рисунок 4. Изменение расхода отмывочной воды ($Q_{от}$) от жесткости ($Ж_о$)

Все представленные на рисунке 4 графики позволяют определить удельный расход воды по экспоненциальной зависимости с коэффициентом аппроксимации R^2=0,98.

Жесткость воды на втором этапе отмывки $Ж_{к2}$ находилась как разность жесткости воды в конце процесса отмывки $Ж_0$ и жесткости воды $Ж_ф$ при определенном расходе $Q_{отм}$.

$$Ж_{к2} = Ж_0 - Ж_ф. \quad (1)$$

Расход воды на втором этапе отмывки определялся как:

$$Q_{отм2} = O_{отм\,о} - Q_{отм1} \quad (2)$$

где $Q_{отм2}$ – расход воды на втором этапе отмывки, м³/ч;

$Q_{отм\,о}$ – общий расход отмывочной воды, м³/ч;

$Q_{отм1}$ – расход отмывочной воды на первом этапе, м³/ч

Далее из уравнения баланса материальных потоков была рассчитана жесткость жидкости после смешения водопроводной воды и отмывочной воды на втором этапе процесса отмывки фильтра.

$$Ж_{см} = \frac{Q_{отм2} Ж_{к2} + \left(Q_р - Q_{отм2}\right) Ж_0}{Q_р} \quad (3)$$

где $Ж_{см}$ – жесткость смешиваемой воды, $\frac{мг \cdot экв}{дм^3}$;

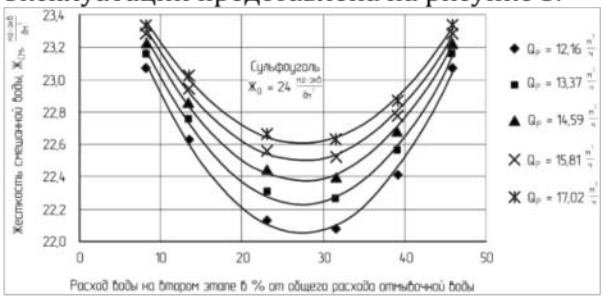
$Q_р$ – производительность водоподготовительной установки, м³/ч.

Величина $Q_р$ определяется следующим образом

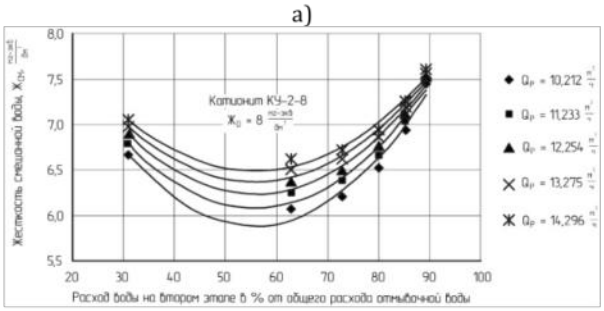
$$Q_р = Q_{под} + \frac{4{,}5 \cdot Q_{под} \cdot H_0}{E_p^{Na}} \quad (4)$$

где H_0 – высота слоя катионита в фильтре, м.

По результатам расчетов были получены зависимости изменения жесткости смешанной воды $Ж_{см}$ от расхода жидкости $Q_{отм2}$ на втором этапе отмывки в процентах от общего расхода отмывочной воды. Графическая интерпретация данных зависимостей для различных условий эксплуатации представлена на рисунке 5.



а)



б)

Рисунок 5. Изменение жесткости смешанной воды ($Ж_{см}$) от процентного расхода отмывочной воды ($Q_{от}$): а – первый вариант компоновки водоподготовительной установки; б – второй вариант компоновки водоподготовительной установки

Представлены графики изменения жесткости смешанной $Ж_{см}$ от расхода отмывочной воды $Q_{от}$ только для двух вариантов определенных условий эксплуатации (жесткость исходной воды, используемый фильтрующий материал, вариант компоновки). Характер кривых данных зависимостей для других возможных вариантов условий эксплуатации сходственен характеру кривых, представленных на рисунке 5. Все зависимости представляют собой полиномы второй степени с коэффициентами аппроксимации R^2=0,96 и выше. Для всех полученных квадратичных функций были проведены исследования на экстремум. В результате исследований были установлены значения процентных расходов отмывочной воды $Q_{отм2}$, при которых достигается наименьшая жесткость смешанной воды $Ж_{см}$.

Полученные числовые массивы были обработаны при помощи корреляционно-регрессионного анализа. Полученная зависимость оптимального расхода отмывочной воды на втором этапе в процентах от общего расхода отмывочной жидкости представлена в виде графика на рисунке 6.

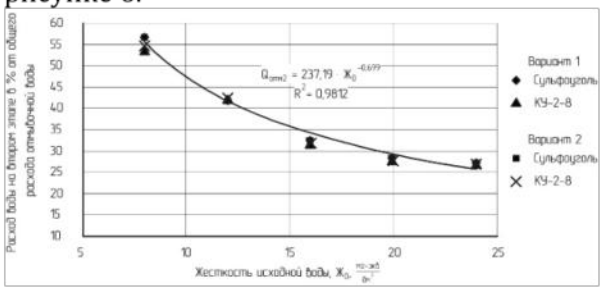


Рисунок 6. Изменение оптимального расхода отмывочной воды ($Q_{отм2}$) на втором этапе в процентах от жесткости исходной воды ($Ж_0$)

Из рисунка 6 видно, что оптимальный расход воды на втором этапе отмывки зависит только от жесткости исходной воды $Ж_0$. Производительность водоподготовительной установки и вариант компоновки влияния на величину расхода отмывочной жидкости на втором этапе не оказывают.

Таким образом, при использовании двухэтапного процесса отмывки, на первом этапе от 45 до 75% жидкости от общего расхода отмывочной воды необходимо отправлять в канализационную сеть, а оставшиеся на втором этапе 25…55% подавать в бак для смешивания отработанной отмывочной воды с водой из водопровода.

Снижение жесткости воды, поступающей в систему водоподготовки, позволит сократить затраты расходных материалов и энергетических ресурсов. Об этом свидетельствуют результаты проведенной технико-экономической оценки. Расчет эксплуатационных затрат для обоих вариантов позволил выявить несущественное преимущество второго варианта компоновки перед первым. Результаты технико-экономической оценки для второго варианта компоновки водоподготовительной установки представлены на рисунке 7 в виде гистограммы. Эксплуатационные затраты как при использовании катионита КУ-2-8, так и при использовании сульфоугля снижаются на 23%. Это еще раз подтверждает, что для рассматриваемой технологии регенерации вид фильтрующего материала значения не имеет. Эксплуатационные затраты в процентном отношении снижаются одинаково.



Рисунок 7. Изменение годовых эксплуатационных затрат в исходном и проектируемом варианте отмывки фильтра

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что применение двухэтапного процесса отмывки при оптимальном расходе отмывочной воды на втором этапе существенно повышает эффективность процесса регенерации натрий-катионовых фильтров.

Использование рассмотренной технологии отмывки фильтров при этом также снижает содержание жестких солей в сточных водах. Этот вопрос требует дальнейшего изучения с точки зрения экологической безопасности.

Список источников

1. Волков, В.Н. Современные технологии обратного осмоса и ионного обмена в системах водоподготовки теплоснабжения: эффективность и экологичность / В.Н. Волков, С.А. Горбунов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. – № 4 (66). – С. 13-15.

2. Пантелеев, А. А. К вопросу о выборе оптимальных схем промышленных ВПУ на основе ионного обмена / А.А. Пантелеев и [др.] // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2013. – № 4. – С. 26-30.

3. Балаев, И.С. Десятилетний опыт внедрения технологии АПКОРЕ / И.С. Балаев, О.Б. Яковенко, И.И. Боровкова // Энергосбережение и водоподготовка. -2005. – № 4. – С. 6-7.

4. Долгополов, П. И., Обработка и утилизация сточных вод водоподготовительных установок / П.И. Долгополов и [др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006.– № 2.– С. 33-39.

5. Ушаков, Г.В. Повышение эффективности работы Na-катионитовых фильтров путем обработки воды

электрическим полем / Г.В. Ушаков // Энергосбережение и водоподготовка. –2007. – № 4 (48). – С.30-31.

6. Савочкин, А.Ю. Водоподготовка для котельных / А.Ю. Савочкин // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2011. – № 1 (109). – С. 68–71.

7. Солодянникова, Ю.В. Снижение отходов при производстве химически очищенной и обессоленной воды/ Ю.В. Солодянникова и [др.] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. – № 4 (66). – С. 8-12.

8. Каменецкий, Б.Я. Оптимальный режим работы ионообменных фильтров в системах водоподготовки котельных / Б.Я. Каменецкий // Энергосбережение и водоподготовка. – 2008. – № 5 (55). – С. 32.

9. Асонов, А. М. Оптимизация системы водоподготовки котельной с применением Na-катионитных фильтров / А. М. Асонов, В. А. Жуков // Инновационный транспорт - 2016: специализация железных дорог. Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию основания Уральского государственного университета путей сообщения. – 2017. – С. 419-425.

10. Юдаев, И.В. Обоснование параметров водоподготовительной установки в котельной / И.В. Юдаев и [др.] // Сельский механизатор. – 2022. – № 5. – С. 22-23.

11. Лифшиц, О.В. Справочник по водоподготовке котельных установок / О.В. Лифшиц. – М.: Транспортная компания, 2019. – 288с.

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE REGENERATION PROCESS OF SODIUM-CATION FILTERS AT THE WASHING STAGE

Abstract. *A two-stage scheme for washing a sodium-cation filter after regeneration is considered for two layout options for a water treatment plant and for two types of filter materials. The water used in the second stage of washing is mixed with water from the water supply network. The dependences of changes in the hardness of mixed water on the liquid flow rate at the second stage of washing have been established. For the obtained dependencies, extreme studies were carried out, as a result of which the optimal distribution of washing water flows by stages was established. Based on the technical and economic assessment, an effective layout option for the water treatment plant and a reduction in operating costs have been determined when using the considered technological scheme for the regeneration of sodium-cation filters*

Keywords: *flow rate, filter, cationite, hardness, washing water*

References

1. Volkov, V.N. Sovremennye tehnologii obratnogo osmosa i ionnogo obmena v sistemah vodopodgotovki teplosnabzheniia: effektivnost' i ekologichnost' / V.N. Volkov, S.A. Gorbunov // Energosberezhenie i vodopodgotovka. – 2010. – № 4 (66). – S. 13-15.

2. Panteleev, A. A. K voprosu o vybore optimal'nyh shem promyshlennyh VPU na osnove ionnogo obmena / A.A. Panteleev i [dr.] // Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie. – 2013. – № 4. – S. 26-30.

3. Balaev, I.S. Desiatiletnij opyt vnedreniia tehnologii APKORE / I.S. Balaev, O.B. IAkovenko, I.I. Borovkova // Energosberezhenie i vodopodgotovka. -2005. – № 4. – S. 6-7.

4. Dolgopolov, P. I., Obrabotka i utilizaciia stochnyh vod vodopodgotovitel'nyh ustanovok / P.I. Dolgopolov i [dr.] // Vodosnabzhenie i sanitarnaia tehnika. – 2006. – № 2. – S. 33-39.

5. Ushakov, G.V. Povyshenie effektivnosti raboty Ha-kationitovyh fil'trov putem obrabotki vody elektricheskim polem / G.V. Ushakov // Energosberezhenie i vodopodgotovka. –2007. – № 4 (48). – S.30-31.

6. Savochkin, A.YU. Vodopodgotovka dlia kotel'nyh / A.YU. Savochkin // Santehnika, Otoplenie, Kondicionirovanie. – 2011. – № 1 (109). – S. 68–71.

7. Solodiannikova, YU.V. Snizhenie othodov pri proizvodstve himicheski ochischennoj i obessolennoj vody/ YU.V. Solodiannikova i [dr.] // Energosberezhenie i vodopodgotovka. – 2010. – № 4 (66). – S. 8-12.

8. Kameneckij, B.IA. Optimal'nyj rezhim raboty ionoobmennyh fil'trov v sistemah vodopodgotovki kotel'nyh / B.IA. Kameneckij // Energosberezhenie i vodopodgotovka. – 2008. – № 5 (55). – S. 32.

9. Asonov, A. M. Optimizaciia sistemy vodopodgotovki kotel'noj s primeneniem Ha-kationitnyh fil'trov / A. M. Asonov, V. A. Zhukov // Innovacionnyj transport - 2016: specializaciia zheleznyh dorog. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii, posviaschennoj 60-letiyu osnovaniia Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putej soobscheniia. – 2017. – S. 419-425.

10. YUdaev, I.V. Obosnovanie parametrov vodopodgotovitel'noj ustanovki v kotel'noj / I.V. YUdaev i [dr.] // Sel'skij mehanizator. – 2022. – № 5. – S. 22-23.

11. Lifshic, O.V. Spravochnik po vodopodgotovke kotel'nyh ustanovok / O.V. Lifshic. – M.: Transportnaia kompaniia, 2019. – 288s.

© Токарева А.Н., Панченко С.В., Демченко М.С., 2025

2.4.5 Энергетические системы и комплексы (технические науки)

АДСОРБЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕНТОНИТОВОЙ ГЛИНЫ ЛОГОН ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

М.Р. АБДУЛЛАЕВ, докторант (PhD) **M.R. ABDULLAEV**, PhD student
manammqi@gmail.com

Самаркандский государственный архитектурно-строительный университет, Узбекистан, Самарканд
Samarkand State University of Architecture and Civil Engineering, Uzbekistan, Samarkand

Аннотация. *В данной работе рассмотрена сорбция тяжелых металлов из природных вод бентонитовой глиной Логон в зависимости от уровня pH раствора и концентрации различных ионных электролитов и добавляемых ионов металлов при постоянном уровне pH. Равновесные изотермы*