

Л. Л. НЕГОДА
С. А. МИНКИНА
С. Э. АНГАЛЫШЕВ
В. А. ЦЕЙЗЕР

ПОДГОТОВКА ВОДЫ КОМПЛЕКСНЫМ МЕТОДОМ ДЛЯ РАБОТЫ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ И РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

WATER TREATMENT BY AN INTEGRATED METHOD FOR OPERATION
OF WATER BOILERS AND HEATING NETWORKS

Впервые предложено использование комплексного фильтра для водоподготовки. Комплексный фильтр включает в себя два слоя. Первым слоем по ходу воды должна быть загрузка для механической очистки, вторым – для умягчения (ионный обмен). Очистка может быть одно- или двухступенчатой. Для проведения исследований была использована вода из трех скважин в Самарской области. В ходе работы были проведены два этапа лабораторных исследований, на основании которых определена лучшая фильтрующая загрузка. Сделан расчет полной и рабочей обменной емкости. Проведено технико-экономическое сравнение методов очистки. Подведены итоги выполненной работы, выдвинуты предложения по рациональному использованию установок и определены перспективы развития работы в дальнейшем.

Ключевые слова: водоподготовка, комплексный фильтр, механическая очистка воды, умягчение, метод катионного обмена, жесткость воды, водородный показатель, фильтрующая загрузка, обменная способность комплекса, скважина

The use of a complex filter for water treatment is proposed for the first time. The complex filter includes two layers. The first layer along the course of the water should be loading for mechanical cleaning, the second - for softening (ion exchange). Cleaning can be one- or two-stage. For research, water was used from three wells in the Samara region. In the course of the work, two stages of laboratory research were carried out, on the basis of which the best filtering load was determined. The calculation of the total and working exchange capacity has been made. A technical and economic comparison of cleaning methods was carried out. The results of the work performed were summed up, proposals were made for the rational use of installations and the prospects for the development of the work in the future were determined.

Keywords: water treatment, complex filter, mechanical water purification, softening, cation exchange method, water hardness, pH value, filter media, exchange capacity of the complex, well

Введение

Водоподготовка является одним из важнейших процессов в работе промышленных предприятий. Очищенная вода участвует во многих технологических процессах от металлургической до фармацевтической промышленности.

Обработка воды включает в себя комплекс химических, физических и биологических методов изменения ее первоначального состава. Технологические схемы улучшения качества воды зависят от целей использования и исходных показателей качества, которые нормируются по СанПиНам и ГОСТам.

В настоящее время для котельных наибольшее распространение получили следующие технологические схемы:

– одноступенчатое фильтрование с помощью скорых фильтров;

– двухступенчатое фильтрование с помощью контактных префильтров и скорых фильтров.

Предварительная очистка воды выполняется путем механической фильтрации в фильтрах, наполненных песком, дробленным антрацитом, керамзитом или мраморной крошкой.

Умягчение выполняется методами: термическим, реагентным, ионообменным, диализом.

Наибольшее применение получил ионообменный метод (метод катионного обмена), так как по сравнению с термическим и реагентным он требует меньших затрат на электроэнергию, приобретение и установку оборудования и является наиболее компактным.

В современном мире подготовка технической и оборотной воды для промышленных предприятий является актуальной проблемой.

Многие инженеры и ученые продолжают искать новые способы очистки воды и совершенствуют старые.

Цель работы – переосмысление и исследование возможностей использования комплексного метода очистки воды, который позволит осветлить воду и выполнить ее умягчение.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить эффективную загрузку;
- произвести компоновку комплексного фильтра;
- изучить химический состав исследуемой воды;
- проанализировать полученные данные;
- рассчитать экономический эффект.

Оценка современного состояния проблемы

В классической и современной литературе по водоподготовке отсутствуют данные о том, как фильтры для механической очистки влияют на содержание растворенных солей в фильтрате, помимо этого отсутствуют сведения об эффекте умягчения. Это можно считать серьезным допущением, так как стоимость загрузки для механических фильтров в десятки раз меньше, чем стоимость загрузки для ионообменных фильтров.

Своевременная замена загрузки фильтров первой ступени может привести к частичному снижению нагрузки на дорогостоящие ионообменные смолы, что позволит увеличить длительность использования фильтров второй ступени. Такой подход к водоподготовке на промышленных предприятиях малой и средней мощности позволит сократить затраты на водоподготовку.

Исследования загрузки фильтров для механической очистки были основаны на концептуальных положениях теории о том, что аморфные структуры в кварцевом песке, микро- и нанопоры в дробленном керамзите, антраците и активированном угле способны задерживать не только тонкодисперсные примеси, но и некоторый процент солей жесткости, содержащихся в природной воде.

Исходные данные для исследования

При проведении ряда лабораторных исследований и экспериментов была использована природная вода из трех подземных источников в Самарской области: одна из скважины глубиной 21 м в поселке Кряж (г. Самара) (табл.1) и две из скважин глубиной 10 и 15 м в селе Яблоновы овраг (Волжский р-н) (табл. 2, 3).

Для исследования были доступны три вида загрузки механических фильтров:

Таблица 1
Данные анализа воды
в поселке Кряж

Наименование	Концентрация, мг/л	
	норма ПДК	исследуемая вода
Водородный показатель рН	6–9	6,8
Жесткость воды	7–10	18,4

Таблица 2
Данные анализа воды
в селе Яблоновы овраг, скважина 10 м

Наименование	Концентрация, мг/л	
	норма ПДК	исследуемая вода
Водородный показатель рН	6–9	6,62
Жесткость воды	7–10	19,4

Таблица 3
Данные анализа воды
в селе Яблоновы овраг, скважина 15 м

Наименование	Концентрация, мг/л	
	норма ПДК	исследуемая вода
Водородный показатель рН	6–9	6,6
Хром	0,05	н.м.ч.
Железо (общее)	0,3	0,42
Ион-аммония	1,5	0,76
Нитрит-ион	3,3	0,21
Сульфаты	500	>1000
Полифосфаты	3,5	>3,5
Жесткость воды	7–10	10,0
Медь	1,0	0,021
Нитраты	≤ 45	>45
Кадмий	0,00014	0,04
Хлориды	350	–

- кварцевый вольский песок с модулем крупности 1,5;
- керамзит дробленый фракции 0,63–1,25 мм;
- уголь кокосовый активированный БАУ-А (ГОСТ 6217-74. Уголь активированный древесный дробленый. Технические условия).

И три вида ионообменных смол:

- анионит АВ-17-8;
- Н-катионит КУ-2-8;
- Na-катионит Lewatit (Леватит) Mono Plus S108.

Фильтрующая загрузка была помещена в делительные воронки, которые закреплены на штативе, соотношение загрузок было выбрано 1:1, объем материала составил по 100 мл каждый. Замер общей жесткости проводился с помощью титрования на двух бюретках с ценой деления 0,1 и 0,02 мл.

Исходя из поставленных условий, природную воду из подземных источников необходимо очистить до содержания в ней 0,1 мг-экв/л солей жесткости для водогрейных котлов или до 0,02 мг-экв/л для паро-водогрейных котлов (СП 89.13330.2016. Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76).

Первый этап лабораторных исследований

Первым этапом исследования являлось определение эффективной загрузки и ее эффекта умягчения. На первом этапе было проведено порядка 86 измерений, которые охватывали общую и карбонатную жесткость химочищенной воды, а также значение показателя среды pH.

Работа началась с последовательного изучения эффекта умягчения, который оказывают различные загрузки, как механической очистки, так и ионного обмена. В первом приближении было принято решение о совместной послойной загрузке в одну делительную воронку загрузки

механических фильтров и ионообменных смол (рис. 1). Результаты замеров приведены в табл. 4.

Полученные результаты измерений в первом приближении говорят о необходимости дальнейшего изучения данной темы: эффект умягчения механической загрузки составил от 45 % (для дробленого керамзита) до 75 % (для кварцевого песка). Для сравнения эффект умягчения для **анионита** АВ-17-8, **Н-катионита** КУ-2-8 составил 25 и 78,3 % соответственно.

Дальнейшие рассуждения о способах повышения эффективности очистки воды привели к тому, что в список исследуемых ионообменных смол был добавлен Na-катионит, так как анионит и Н-катионит не приносили требуемого результата: низкий эффект умягчения.

Подробный анализ измерений второго приближения доказал нецелесообразность использования **анионита** АВ-17-8, **Н-катионита** КУ-2-8 в дальнейших исследованиях, так как изменение показателя кислотности среды pH до 1,69 (табл. 5) не удовлетворяет требованиям. Помимо этого, совместное размещение загрузки в одной емкости фильтра усложняет эксплуатацию.

В третьем приближении было принято решение о том, что необходимо определить влияние последовательности фильтрования на эффект очистки. Другими словами, следовало экспериментально определить последовательность прохождения водой слоев загрузки в фильтре (механической очистки и умягчения) [1]. Результаты определения эффекта умягчения приведены в табл. 6.



Рис. 1. Комплексные установки с послойной загрузкой в одной делительной воронке. Первое приближение. (Слева направо: уголь акт. + Н-кат, керамзит + Н-кат, кварц. песок + Н-кат, Н-кат+ анионит)

Таблица 4

Определение лучшей фильтрующей загрузки. Первое приближение

Номер установки	Название установки	$J_{\text{хим.очищ'}}$ мг-экв/л	Эффект умягчения, %
1	Анионит АВ-17-8	13,8	25,0
2	Н-катионит КУ-2-8	4,0	78,3
3	Кокосовый активированный уголь	6,6	64,1
4	Керамзит дробленый	10,2	44,6
5	Вольский кварцевый песок	4,6	75,0
6	Кокосовый активированный уголь + Н-катионит КУ-2-8	1,6	91,0
7	Керамзит дробленый + Н-катионит КУ-2-8	7,0	62,0
8	Вольский кварцевый песок + Н-катионит КУ-2-8	3,0	84,0
9	Анионит АВ-17-8 + Н-катионит КУ-2-8	1,0	95,0

Примечание. Исходная проба воды поселка Кряж. $J_0 = 18,4$ мг-экв/л

Таблица 5

Определение лучшей фильтрующей загрузки. Второе приближение

Номер установки	Название установки	pH	$J_{\text{хим.очищ'}}$ мг-экв/л	Эффект умягчения, %	$J_{\text{карб'}}$ мг-экв/л
10	Na-катионит Lewatit (Леватит) Mono Plus S108	7,93	0,4	97,9	3,4
1	Анионит АВ-17-8	5,05	12,2	37,1	0,4
2	Н-катионит КУ-2-8	4,06	1,2	93,8	0,6
3	Кокосовый активированный уголь	5,67	6,2	68,0	1,4
4	Керамзит дробленый	7,11	12,0	38,0	3,6
5	Вольский кварцевый песок	6,75	5,8	70,1	2,8
6	Кокосовый активированный уголь + Н-катионит КУ-2-8	1,96	2,2	88,7	0
7	Керамзит дробленый + Н-катионит КУ-2-8	2,15	6,4	67,0	0
8	Вольский кварцевый песок + Н-катионит КУ-2-8	1,91	1,6	91,7	0
9	Анионит АВ-17-8 + Н-катионит КУ-2-8	1,69	1,2	93,8	0

Примечание. Исходная проба воды в селе Яблоновыи овраг, 10 м. $J_0 = 19,4$ мг-экв/л

Таблица 6

Определение лучшего фильтра первой ступени

Номер установки	Название установки	pH	$J_{\text{хим.очищ'}}$ мг-экв/л	Эффект умягчения, %
1	Na-катионит Lewatit (Леватит) Mono Plus S108	7,28	1,2	92,5
4a	Кокосовый активированный уголь	5,65	1,4	91,3
4	Кокосовый активированный уголь + Na-катионит	7,18	0,2	98,8
4*	Na-катионит + кокосовый активированный уголь	6,28	1,4	91,3
5a	Керамзит дробленый	7,53	6,2	61,3
5	Керамзит дробленый + Na-катионит	7,18	1,0	93,8
5*	Na-катионит + керамзит дробленый	7,56	3,4	78,8
6a	Вольский кварцевый песок	6,49	1,4	91,3
6	Вольский кварцевый песок + Na-катионит	7,50	0,6	96,3
6*	Na-катионит + вольский кварцевый песок	7,27	2,6	83,8

Примечание. Исходная проба воды в селе Яблоновыи овраг, 10 м. $J_0 = 16,0$ мг-экв/л

После проведенных измерений можно сделать вывод о том, что эффект умягчения повышается во всех трех случаях на 7,5–15 %, если загрузкой первой ступени является загрузка для механической очистки, а не наоборот. Также было замечено, что на установке №4 Кокосовый активированный уголь + Na-катионит эффект умягчения достиг 98,8 %, а жесткость химочищенной воды составила 0,2 мг-экв/л. Данное значение жесткости не является допустимым для работы водогрейных котлов и работы тепловых сетей. Объяснить это можно двумя предположениями: не хватает точности измерительного прибора (бюретка с ценой деления 0,1 мл) и необходима комплексная двухступенчатая очистка исходной природной воды.

На основании данных предположений и анализа ряда исследований в четвертом приближении было принято решение о проведении замеров жесткости химочищенной воды после одно- и двухступенчатого фильтрования на комплексных установках [2]. Результаты измерений приведены в табл. 7.

По окончании эксперимента в четвертом приближении был получен внушительный результат, удалось достигнуть 99,9 % эффекта умягчения на первой ступени очистки для угольно-катионитового фильтра и на второй ступени керамзит-катионитового фильтра; к сожалению, песчано-катионитовый фильтр не принес требуемого результата очистки. Отсутствие требуемого результата для песчано-катионитового фильтра можно объяснить несколькими причинами:

- за время проведения ряда экспериментов загрузка в комплексном фильтре могла исчерпать запас обменной емкости;
- титрование на микробюретке (с ценой деления 0,02) требует особой осторожности и внимательности.

Таким образом, основываясь на данных предположениях, нельзя сделать вывод о том, что в ходе работы удалось раскрыть полный потенциал комплексного метода очистки воды и требуется дальнейшее проведение ряда экспериментов. Однако на этом этапе удалось достичь требуемого эффекта умягчения, и вода соответствует требованиям для водогрейных котлов (СП 89.13330.2016).

Второй этап лабораторных исследований

На втором этапе лабораторных исследований в четвертом приближении была использована вода из второй скважины в селе Яблонный овраг (15 м), исходная общая жесткость которой составила 29,0 мг-экв/л. Вода из данной скважины имела переменный минеральный состав, поэтому на втором этапе исследований ее общая жесткость составила 10,0 мг-экв/л.

Для расчета экономического эффекта и прогнозирования работы комплексных фильтров требовалось произвести измерение Обменной Емкости комплексного фильтра (ОЕ). Для этого необходимо пролить через фильтр некоторое количество воды, после которого эффект умягчения установки начнет снижаться до тех пор, пока очищенная вода не перестанет удовлетворять нашим требованиям и потребуется регенерация.

Методика определения была такова, что через каждый фильтр было необходимо пропустить пробы воды по 50/100/200 мл и титрованием определить жесткость химочищенной воды и содержание ионов Ca^{2+} .

В ходе определения обменной емкости за весь цикл было проведено более 249 анализов фильтра, 129 из них на общую жесткость и 120 анализов на содержание ионов кальция.

Таблица 7

Результаты двухступенчатого фильтрования

Номер установки	Название установки	$J_{\text{общ}}'$ мг-экв/л	Эффект умягчения, %
1-я ступень умягчения			
1	Кокосовый активированный уголь + Na-катионит	0,04	99,9
2	Керамзит дробленый + Na-катионит	0,40	98,6
3	Вольский кварцевый песок + Na-катионит	0,60	97,9
2-я ступень умягчения			
4	Кокосовый активированный уголь + Na-катионит	Умягчение не требуется	
5	Керамзит дробленый + Na-катионит	0,04	99,9
6	Вольский кварцевый песок + Na-катионит	0,12	99,6

Примечание. Исходная проба воды в селе Яблонный овраг, 15 м. $J_0 = 29,0$ мг-экв/л

Через каждый фильтр с комплексной загрузкой было пропущено 6700 мл исходной воды. Пробы фильтрата отбирались по 50 мл и производилось измерение общей жесткости. Однако такой способ анализа дал неудовлетворительный результат, так как для титрования приходилось делить пробу на 25 мл, что *снижало точность измерений*, поэтому в дальнейшем отбирались пробы по 200 мл и делились на две части, и при титровании 100 мл фильтрата *требуемая точность была достигнута*.

Данные измерений занесены в сводную таблицу, на основании которой были построены графики (рис. 2–7). Серым цветом на графике обозначены данные из области построения. Черной линией – аппроксимирующая функция от данной кривой.

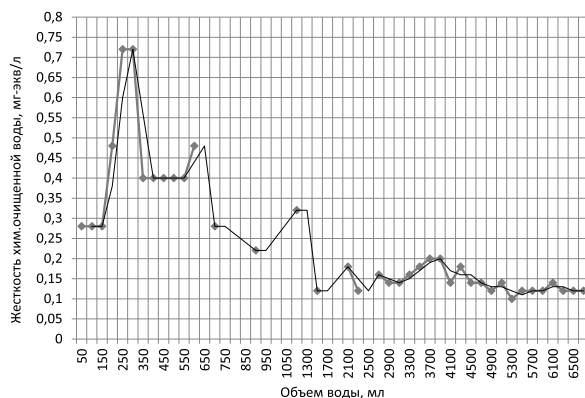


Рис. 2. График зависимости жесткости химочищенной воды от объема пропускаемой воды через угольно-катионитовый фильтр

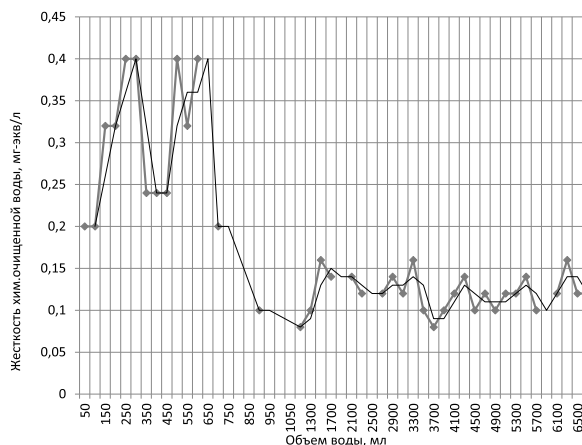


Рис. 3. График зависимости жесткости химочищенной воды от объема пропускаемой воды через керамзитово-катионитовый фильтр

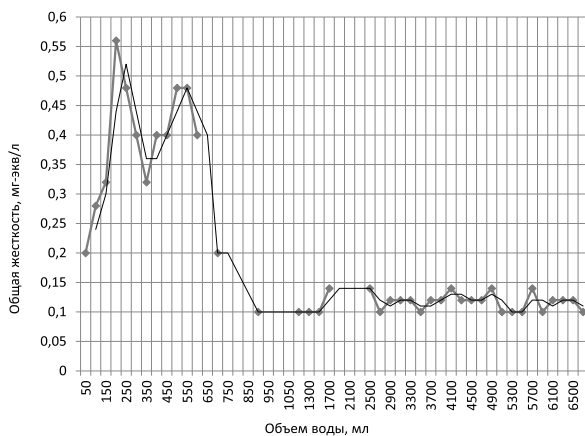


Рис. 4. График зависимости жесткости химочищенной воды от объема пропускаемой воды через песчано-катионитовый фильтр

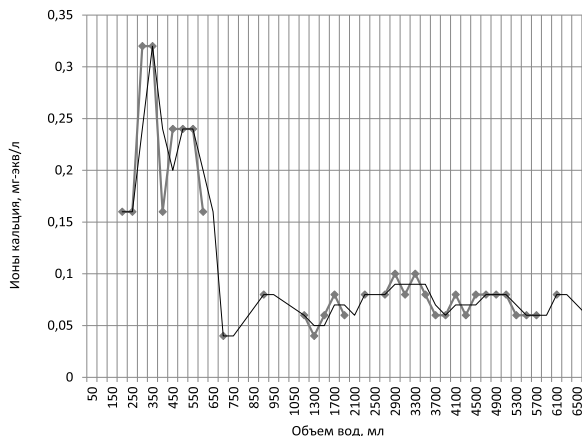


Рис. 5. График зависимости содержания ионов Ca^{2+} в фильтрате от объема пропускаемой воды через угольно-катионитовый фильтр

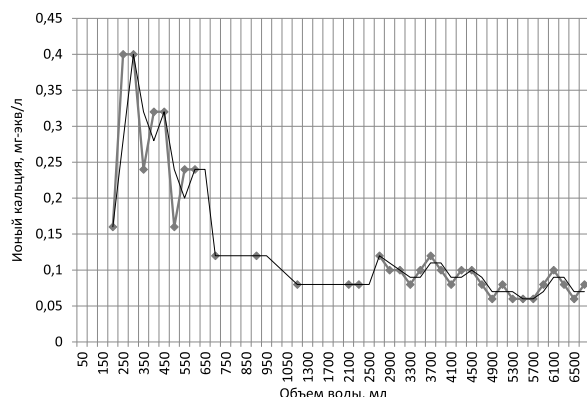


Рис. 6. График зависимости содержания ионов Ca^{2+} в фильтрате от объема пропускаемой воды через керамзит-катионитовый фильтр

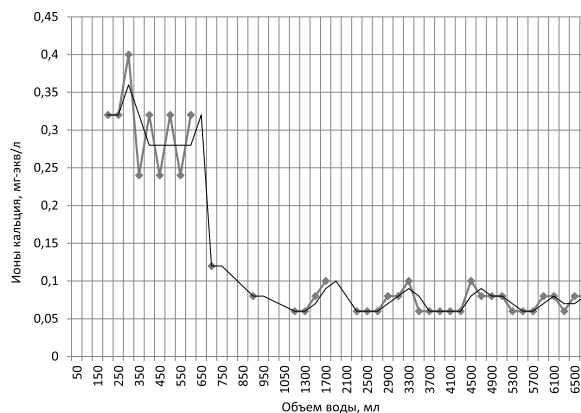


Рис. 7. График зависимости содержания ионов Ca^{2+} в фильтрате от объема пропускаемой воды через песчано-катионитовый фильтр

рабочей обменной емкости производили по формуле [3–6]:

$$E_p^{Na} = \frac{24 \cdot J_0 \cdot G_{CB}}{V_\phi \cdot n_\phi \cdot n_p},$$

где J_0 – общая жесткость исходной воды, г-экв/м³;
 G_{CB} – расход воды, пропускаемый через фильтр, м³;

24 – число часов работы за сутки;

V_ϕ – объем фильтрующей загрузки, м³ (0,0002 м³);

n_ϕ – количество фильтров (1);

n_p – количество регенераций в сутки (1).

$$E_p^{Na} = \frac{24 \cdot 10 \cdot 0,0067}{0,002 \cdot 1 \cdot 1} = 8040 \text{ (мг-экв/л)}.$$

Значения полной обменной емкости определяются в процессе эксплуатации и зависят от удельного расхода соли на регенерацию g и коэффициента эффективности регенерации α_3 . Расчет произведен по формуле [3–6]:

$$E_n = \frac{E_p^{Na} + 0,5 \cdot g \cdot J_0}{\alpha_3 \cdot \beta_{Na}},$$

где g – удельный расход воды на отмывку катионита, м³/м³;

α_3 – коэффициент эффективности регенерации,

$$\alpha_3 = f(J_0, q_c);$$

q_c – удельный расход соли на регенерацию;

β_{Na} – коэффициент снижения обменной способности катионита по катионам Ca^{2+} , Mg^{2+} (максимальное значение 0,93, минимальное значение 0,5),

$$\beta_{Na} = f\left(\frac{C_{Na}^2}{J_0}\right),$$

C_{Na}^2 – концентрация катионов натрия в воде.

Наглядное представление границ полной обменной емкости комплексной загрузки можно увидеть на графике (рис. 8). Графики построены для источников водоснабжения с общей жесткостью $J_0 = 10,0$ мг-экв/л.

Из анализа кривых графика можно сделать следующие выводы:

1. С ростом значения коэффициента регенерации (α_3) до максимальных по общей жесткости воды значений полная обменная способность катионита падает.

2. Чем выше коэффициент снижения обменной способности по Ca^{2+} , Mg^{2+} (β_{Na}) при тех же значениях α_3 , тем ниже значение полной обменной способности катионита.

3. Значение полной обменной способности катионита определяет число регенерации фильтра в сутки (в расчете было условно принято $n_p = 1$ раз в сутки).

4. Значение полной обменной способности комплексной установки зависит также от расхода воды, пропускаемой через фильтр. Расчет был привязан к конкретному расходу воды и типу фильтра.

Вопрос исследований полной обменной способности катионита применительно к различным расходам воды, составу воды и типам фильтров планируется на перспективу работы.

Технико-экономическое сравнение

Заключительным этапом научной работы является технико-экономическое сравнение выбранных методов очистки. В связи с тем, что не удалось определить точное значение обменной емкости, то расчет затрат на эксплуатацию сооружения невозможен, тем не менее расчет капитальных затрат на установку и приобретение фильтров удалось выполнить.

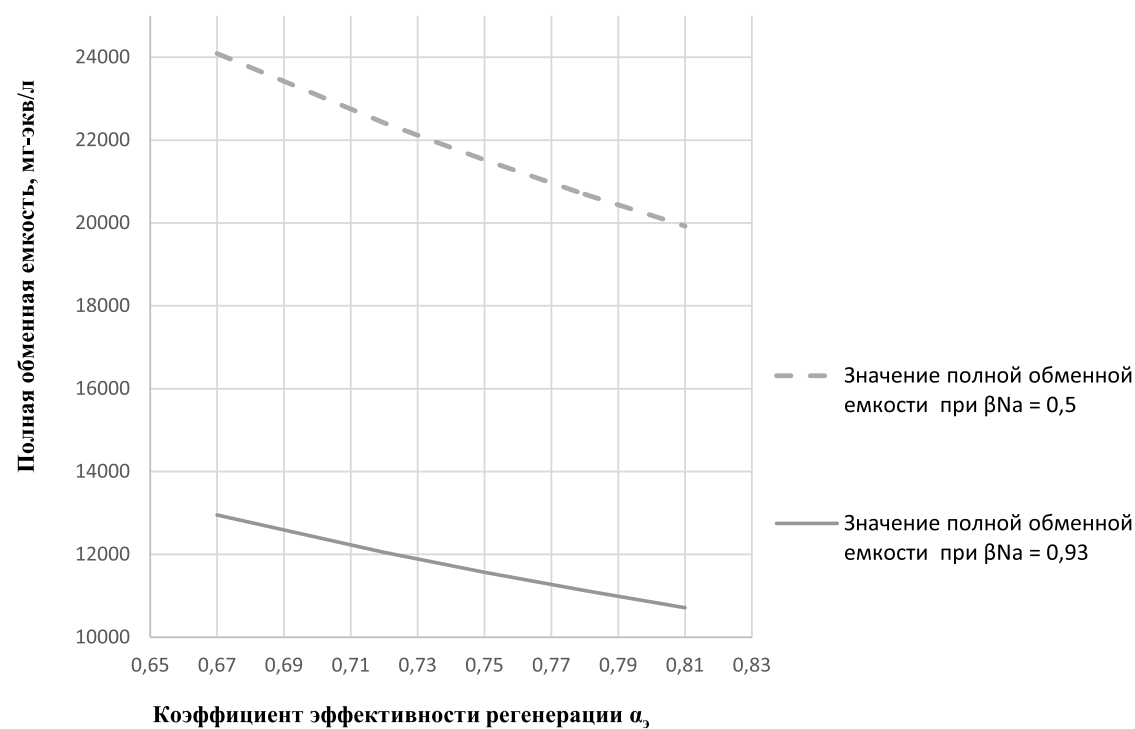


Рис. 8. График зависимости полной обменной емкости от коэффициента регенерации α

Таблица 8

Расчет экономического эффекта

Наименование	Цена, р./кг		Плотность, кг/м³		Стоимость 1 м³, тыс. р.		Стоимость всего фильтра, тыс. р.	Экономический эффект в сравнении с 2-ступенч. катионитом, %	Эффект умягчения, %
	1-я ступ.	2-я ступ.	1-я ступ.	2-я ступ.	1-я ступ.	2-я ступ.			
Уголь активированный	210		450		94,5		94,5	75,65	64,1
Керамзит	10		450		4,5		4,5	98,84	44,6
Песок кварцевый	12		1275		15,3		15,3	96,06	75,0
Уголь акт. + Na-кат.	210	231	450	840	94,5	194,04	288,54	25,65	99,9
Керамзит + Na-кат.	10	231	450	840	4,5	194,04	198,54	48,84	98,6
Песок кварцевый + Na-кат.	12	231	1275	840	15,3	194,04	209,34	46,06	97,9
Катионит 2-я ступ.	231	231	840	840	194,04	194,04	388,08	0,00	99,9
Катионит 1-я ступ.	231		840		194,04		194,04	50,00	97,9

В сводной таблице расчета экономического эффекта (табл. 8) указаны цены по состоянию на март 2020 г. [7, 8]. В сравнении участвовали четыре отдельные установки с нагрузками: активированный уголь, дробленый керамзит, кварцевый песок, Na-катионит и три комплексные установки. Отношения масс комплексных загрузок в фильтре 1:1. Для удобства расчеты

приведены к 1 м³ загрузки. Экономический эффект соотнесен к затратам на приобретение двухступенчатой установки Na-катионирования (как к наиболее конкурентоспособной). Помимо расчета экономического эффекта, было разработано несколько предложений по рациональному использованию отработанной механической загрузки.

Для повышения обменной способности системы рекомендуется заменять фильтрующую механическую загрузку фильтров первой ступени (кварцевый песок, дробленый керамзит) и направлять данную загрузку на повторное использование для производства строительных материалов: растворов, легких и тяжелых бетонов, керамзитобетонных блоков, брусчатки, для отсыпки при строительстве автодорог и иных сооружений, для благоустройства территорий и ландшафтного дизайна.

Добавка-уплотнитель из кварцевого песка обеспечивает прочность бетона со 100 % расходом цемента, а также повышает прочность на 18 % [9].

Для отработанного активированного угля возможна схема размещения со сменными касетами. После завершения цикла работы касеты направляются на регенерацию или подлежат утилизации.

Выводы

1. Согласно приведённым расчетам и графикам, комплексный фильтр является эффективным по всем представленным показателям.
2. При двухступенчатом катионировании использование комплексных фильтров обеспечивает остаточную жесткость воды, необходимую для нормальной работы водогрейных котлов и тепловых сетей.
3. Промышленным предприятиям, использующим при водоподготовке метод ионного обмена как основной, стоит задуматься над своевременной заменой фильтров механической очистки. Это связано с тем, что механический фильтр способен задерживать до 75 % растворенных в воде солей жесткости.
4. Использование комплексного фильтра в сравнении с обычным двухступенчатым натрий катионированием позволяет сэкономить до 49 % капитальных вложений на приобретение фильтров.
5. Повышенная обменная способность комплексных фильтров (в сравнении с двухступенчатой очисткой методом ионного обмена) позволяет снизить расход соли на регенерацию и количество регенераций, что положительно сказывается на характере сточных вод после обратной промывки ионообменного фильтра.
6. Продажа отработанной механической загрузки, как способ утилизации, позволит амортизировать капитальные затраты на эксплуатацию и регенерацию фильтров второй ступени комплексной очистки.

Перспективы развития работы

Проведенные исследования позволили решить поставленные задачи и разработать следующие идеи по развитию данной работы:

1. Окончательное определение обменной емкости комплексного фильтра.
2. Проведение экспериментов с разным отношением загрузки 1-й и 2-й ступеней (например, 1:2, 1:3, 2:1 и т. д.).
3. Определение цикла отработки механической загрузки.
4. Разработка систем утилизации отработанной загрузки.
5. Использование иных видов механической загрузки (мраморной крошки и дробленого антрацита).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Журба М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. Т.2. Вологда–Москва, 2001. 100 с.
2. Сарэнергомаш. Водоподготовительное оборудование: информационно-справочный каталог. Вып. 1. М., 2007. 100 с.
3. Минкина С.А., Евграфов А.В. Водоподготовка котельных установок. Расчет и проектирование оборудования / СГАСУ. Самара, 2009. 158 с.
4. Глинка Н.Л. Общая химия / под ред. А.И. Ермакова. Изд. 28-е, перераб. и доп. М.: Интеграл-Пресс, 2000. 728 с.
5. Николадзе Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение. М.: Стройиздат, 1995. 688 с.: ил.
6. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка. М.: Издательство МГУ, 1996. 680 с; 178 ил.
7. ООО «АКВАХИМ»: сайт. – URL: <https://himkazan.ru/> (дата обращения: 03.03.2020).
8. Керамзитовый завод «СПУТНИК». Прайс-лист: сайт. – URL: <https://sputnik-keramzit.ru/prays-list> (дата обращения: 03.03.2020).
9. Гаврилов А.В. Бетоны на мелком песке и наполненном цементе: дис. ... д.т.н. Ростов-на-Дону, 2013. 200 с.

REFERENCES

1. Zhurba M.G., *Vodosnabzhenie. Proektirovanie sistem i sooruzhenij*. T.2. [Water supply. Design of systems and structures. T.2.] Vologda, Moscow, 2001. (in Russian)
2. *Vodopodgotovitel'noe oborudovanie*. Informationno-spravochny katalog. Moscow, Sarjenergomash Press, 2007.
3. Minkina S.A., Evgrafov A.V. *Vodopodgotovka kotel'nyh ustanovok. Raschet i proektirovanie oborudovanija* [Water treatment of boiler plants. Calculation and design of equipment]. Samara, 2009. 158 p. (in Russian)
4. Glinka N.L. *Obshhaja himija*. [General chemistry] Moscow, Integral-Press, 2000 (in Russian)
5. Nikoladze G.I., Somov M.A. *Vodosnabzhenie*. [Water supply.] Moscow, Strojizdat Publ., 1995. (in Russian)

6. Frog B.N., Levchenko A.P. *Vodosnabzhenie*. [Water supply.] Moscow, Izdatel'stvo MGU, 1996. (in Russian)
7. ООО «АКВАНИМ» Available at : <https://him-kazan.ru/> (Accessed 03 March 2020)
8. Keramzitovyj zavod «SPUTNIK». Price list. Available at : <https://him-kazan.ru/> (Accessed 03 March 2020)
9. Gavrilov A.V. *Betony na melkom peske i napolnenom cemente. tor.* Cand, Diss. [Concretes on fine sand and filled with cement]. Rostov-na-Donu. 2013.

Об авторах:

НЕГОДА Лариса Леонидовна

кандидат технических наук,
доцент кафедры общей неорганической химии
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: negll@yandex.ru

МИНКИНА Светлана Абрамовна

старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: minkina.svetlana2011@yandex.ru

АНГАЛЫШЕВ Сергей Эдуардович

студент 4 курса факультета инженерных систем и природоохранного строительства кафедры водоснабжения и водоотведения
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: 19399@mail.ru

ЦЕЙЗЕР Владислав Алексеевич

студент 4 курса факультета инженерных систем и природоохранного строительства кафедры водоснабжения и водоотведения
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: mr.tceyzer1@mail.ru

NEGODA Larisa L.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the General Inorganic Chemistry Chair
Samara State Technical University,
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: negll@yandex.ru

MINKINA Svetlana A.

Senior Lecturer at the Department of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair
Samara State Technical University,
Academy of Civil Engineering and Architecture
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: minkina.svetlana2011@yandex.ru

ANGALYShEV Sergej Ye.

Student of the Faculty of Engineering Systems and Environmental Construction Samara State Technical University,
Academy of Civil Engineering and Architecture
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: 19399@mail.ru

CEJZER Vladislav Alekseevich

Student of the Faculty of Engineering Systems and Environmental Construction Samara State Technical University,
Academy of Civil Engineering and Architecture
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: mr.tceyzer1@mail.ru

Для цитирования: Негода Л.Л., Минкина С.А., Ангальшев С.Э., Цейзер В.А. Подготовка воды комплексным методом для работы водогрейных котлов и работы тепловых сетей // Градостроительство и архитектура. 2020. Т.10, № 4. С. 50–59. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.04.7.

For citation: Negoda L.L., Minkina S.A., Angalyshev S.Ye., Cejzer V.A. Water Treatment by an Integrated Method for Operation of Water Boilers and Heating Networks. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, vol. 10, no. 4, Pp. 50–59. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.04.7.