

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 628.164

С. П. Высоцкий, д-р техн. наук, Д. В. Мачикина

ГОУВПО «Донбасская национальная академия строительства
и архитектуры», г. Макеевка

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕАГЕНТНЫХ МЕТОДОВ ОСАЖДЕНИЯ ТВЕРДЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В СИСТЕМАХ УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ

Проведен анализ достоинств и недостатков использования различных реагентов для умягчения воды методом осаждения катионов кальция и магния в отстойниках или осветлителях. Показано, что известь обладает рядом преимуществ перед другими реагентами, заключающихся в экологической безопасности твердых продуктов реакции и возможности их утилизации, меньшей стоимости и меньшем расходе реагента, а также технологических преимуществ – при известковании уменьшается карбонатный индекс, от которого зависит интенсивность накипеобразования.

***Ключевые слова:** накипь, умягчение, осаждение, известь, продукт реакции, дозирование реагентов*

Введение

В практике получения тепловой и электрической энергии используется вода. Ее особые свойства позволяют использовать это вещество в качестве теплоносителя на тепловых и атомных электростанциях, а также на многочисленных котельных в тепловых сетях и для обогрева наших помещений [1]. Если сравнивать удельную теплоемкость воды, ртути и углеродистой стали, что составляет 4182, 130 и 468 Дж/кг, то этот показатель воды выше в 32,2 и 8,9 раза.

Существует еще одно особенное свойство воды – ее большая растворяющая способность при контакте с любым веществом. При контакте с почвой и металлом трубопроводов, по которым она транспортируется, она растворяет многие элементы, входящие в их состав. При использовании воды в качестве теплоносителя в котельных установках эти элементы или их соединения переходят в накипь, создавая сопротивление для переноса тепла, что приводит к большой потере энергии.

Цель работы

Определение преимуществ использования различных реагентов для умягчения воды и обоснование преимуществ использования извести.

Основная часть

В мировой практике существует большое разнообразие технологий обработки воды для предотвращения накипеобразования на теплопередающих поверхностях в оборотных циклах в котельных установках промышленных предприятий [2, 3]. Широкое применение получило известкование воды [4, 5]. Популярность данного метода обусловлена следующими причинами: малый удельный расход извести на единицу обрабатываемой воды, возможность снижения показателя карбонатного индекса обрабатываемой воды, большое содержание активного вещества в товарном продукте (до 35,7 кг-экв/т реагента) [2, 3].

Качество воды, используемой в виде энергоносителя, отдающего или принимающего тепло, влияет на загрязнение теплопередающей поверхности. Это может существенно изменить производительность или технологические параметры работы оборудования.

Загрязнение поверхности нагрева в результате образования отложений влияет на эксплуатационные показатели работы оборудования следующим образом:

- слой отложений обладает низкой теплопроводностью, это увеличивает сопротивление теплопередаче и уменьшает эффективность теплообмена;
- при генерации тепла или электрической энергии происходит увеличение удельных расходов топлива, что увеличивает количество выбросов загрязнений в окружающую среду;
- увеличение толщины отложений уменьшает сечение для прохода питательной среды, что вызывает повышение перепада давления и перерасход энергии.

Наличие отложений создает опасность образования электрохимических пар дифференциальной аэрации, увеличивающих интенсивность и избирательность коррозионных процессов.

Различные загрязняющие вещества, присутствующие в питательной воде котлов, оказывают существенно отличающееся влияние на основной показатель – расход топлива. Данные, приведенные на рисунке 1, показывают более сильное влияние толщины силикатных накипей по сравнению с карбонатом кальция на степень увеличения расхода топлива.

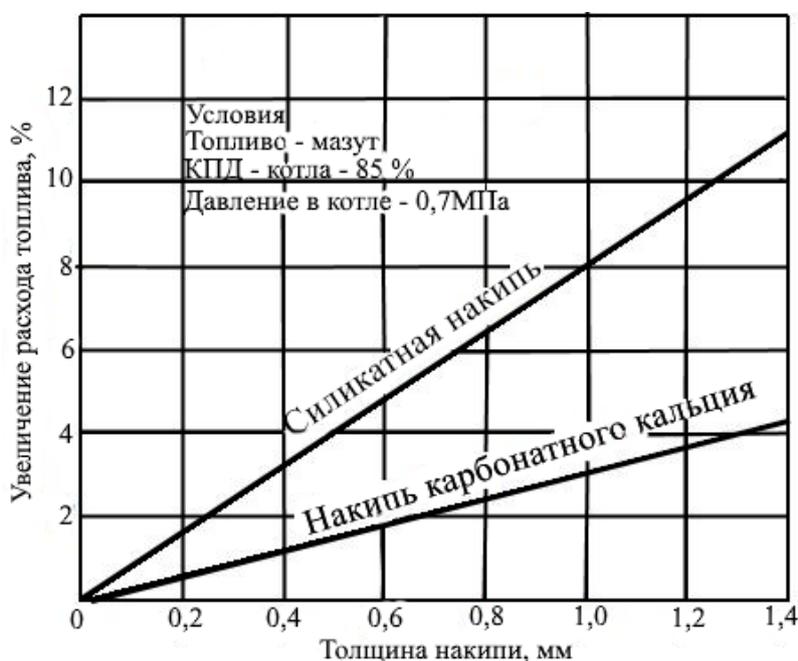


Рисунок 1 – Изменение энергетических показателей котла в зависимости от толщины накипи и типа накипеобразователей

Для уменьшения содержания силикатов в подпиточной воде котлов увеличивается количество подаваемой извести с целью осаждения магния. Гидроксид магния является хорошим сорбентом для SiO_2 .

При относительно малом содержании катионов магниевой жесткости в образовавшейся воде используют магниезальное обескремнивание за счет дозирования магнезиата в камеру реакции осветлителей или отстойников. При относительно малом содержании катионов магниевой жесткости в воде используют магниезальное обескремнивание за счет дозирования магнезиата в камеру реакции осветлителей или отстойников.

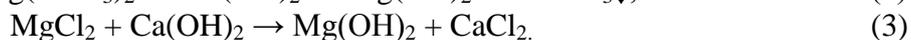
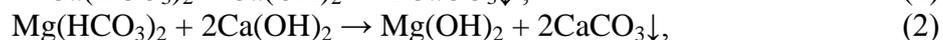
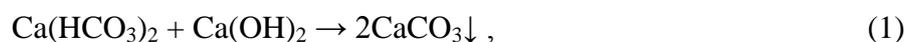
Авторами выполнено исследование на котельной промышленной шахты Калиновская-Восточная ГП «Макеевуголь», г. Макеевка, и оценены затраты на топливо в зависимости от толщины отложений (таблица 1).

Таблица 1 – Затраты на топливо в зависимости от толщины отложений

Толщина отложений, мм	Увеличение энергозатрат, %	Увеличение энергозатрат на кВт/ч, руб/ч	Увеличение энергозатрат на мВт/ч, руб/ч	Затраты по котельной, руб/ч	Затраты за год, млн руб/год
0,12	4	1,72	1716	6864	29,65
0,34	12	1,85	1848	7392	31,93
0,60	21,5	2,0	2004,75	8019	34,64
1,70	61,8	2,67	2669,70	10679	46,13

При отсутствии отложений накипи годовая экономия расходов на топливо составит 28,51 млн руб., а при наличии отложений толщиной 0,6 мм расход топлива увеличивается в 1,2 раза.

Реагентом, который при обработке воды обеспечивает удаление катионов накипеобразователей – кальция и щелочности воды, является известь. Реакции проходят по схеме:



Следующим преимуществом использования извести для умягчения воды является то, что продукты реакций (1), (2) получаются в твердом виде и не загрязняют окружающую среду, так как могут быть использованы в строительной индустрии и других отраслях промышленности и сельского хозяйства для предотвращения загрязнения окружающей среды. А при наличии газовых или жидких отходов необходимы существенные материальные затраты реагентов, тепловой энергии, сложного и громоздкого оборудования [5, 6].

Еще одним преимуществом использования извести является ее малая эквивалентная масса 28 эк. В результате этого в 1 т товарного продукта (при 100 % содержании CaO) находится 35,7 кг-экв активного вещества, способного реагировать и удалять из воды нежелательные примеси. Для сравнения: такие реагенты, которые могут использоваться для предотвращения накипеобразования, как кальцинированная сода (Na_2CO_3), серная кислота (H_2SO_4) и едкий натр (NaOH), имеют этот показатель, соответственно, 18,9, 22,4 и 25 кг-экв/т. Для едкого натра, учитывая то, что он выступает потребителем в жидком виде (42 % концентрация), указанный показатель уменьшается до 10,5 кг-экв/т.

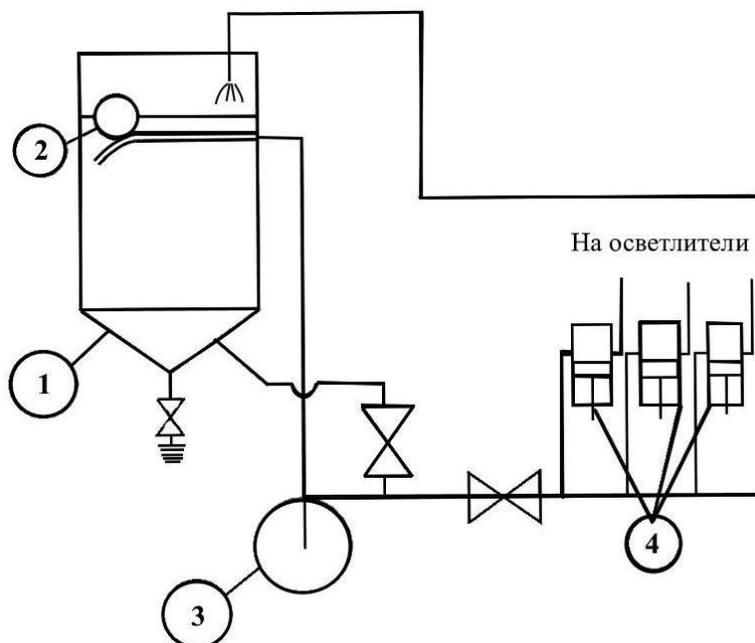
Еще одним преимуществом использования извести является расход реагента на обработку воды. Для расхода обрабатываемой воды 100 т/ч при карбонатной жесткости воды 5 мг-экв/дм³ расход реагентов составит: CaO – 14 кг/ч, Na_2CO_3 – 26,4 кг/ч, H_2SO_4 – 23 кг/ч, NaOH – 47,6 кг/ч. Учитывая стоимость реагентов, приоритет использования извести для обработки воды является несомненным.

Но растворимость извести в воде составляет 1,6 г/дм³ при 20 °С и 1,48 г/дм³ при 30 °С [7]. Таким образом, при дозировании раствора извести в осветлитель или отстойник, работающий с нагрузкой 1000 т/ч и умягчающий воду с карбонатной жесткостью 6 мг-экв/дм³, при производительности насоса-дозатора извести 2500 дм³ в дозируемом растворе 95–96 % извести находится в виде суспензии, способной к расслаиванию. Дозируемый раствор диссоциирует в осветлителе по мере вступления в реакцию растворенного реагента. Нарушение равномерности приводит к ухудшению показателя в результате перехода аппаратов-осадителей на гидрокарбонатный режим работы. При этом увеличивается дисперсность шлама и, соответственно, его вынос в осветленную воду.

Для обеспечения равномерности дозирования суспензии извести необходимо обеспечить эффективное перемешивание раствора в расходной мешалке и циркуляцию раствора по

трубопроводу на всасе насосов-дозаторов. Естественно, при этом исключается возможность перемешивания раствора с применением сжатого воздуха.

На рисунке 2 показана рекомендуемая схема дозирования извести с учетом указанных выше положений.



1 – циркуляционная мешалка; 2 – плавающий всас;
3 – циркуляционный насос; 4 – насосы-дозаторы

Рисунок 2 – Схема подачи известкового молока на осветлители

Практический интерес представляет изменение покомпонентного состава обрабатываемой воды и ее электропроводности в зависимости от дозирования извести.

В таблице 2 показано изменение содержания в обрабатываемой воде гидрокарбонатов, карбонатов, гидратов, а также электропроводности при увеличении дозы извести.

Таблица 2 – Изменение покомпонентного состава и электропроводности воды при различных дозах реагента (извести)

Доза извести, мг/кг	Доза извести мг-экв/кг	Общая жесткость, мг-экв/кг	Электропроводность, мСм/Ом	Щелочность ф.ф, мг-экв/дм ³	Общая щелочность м.о, мг-экв/дм ³	Количество образовавшегося осадка, мг/ дм ³	Щелочность НСО ₃ ⁻ , мг-экв/дм ³	Щелочность СО ₃ ²⁻ , мг-экв/дм ³
0	0	2,6	370	0	2,80	0	2,80	–
30	0,6	2,2	328	0	2,54	75	2,54	–
50	1,0	1,84	291	0	2,12	125	2,12	–
80	1,6	1,30	260	0	1,56	191	1,56	–
100	2,0	1,04	245	0,02	1,22	244	1,18	0,04
150	3,0	0,70	220	0,20	0,80	351	0,40	0,40
200	4,0	0,72	289	0,46	0,90	400	0	0,80
250	5,0	0,086	387	0,72	1,3	440	0	0,86
300	6,0	1,34	560	1,22	1,64	491	0	0,80
350	7,0	1,88	720	1,42	2,14	530	0	0,70

Для наглядности на рисунке 3 данные представлены в графической интерпретации.

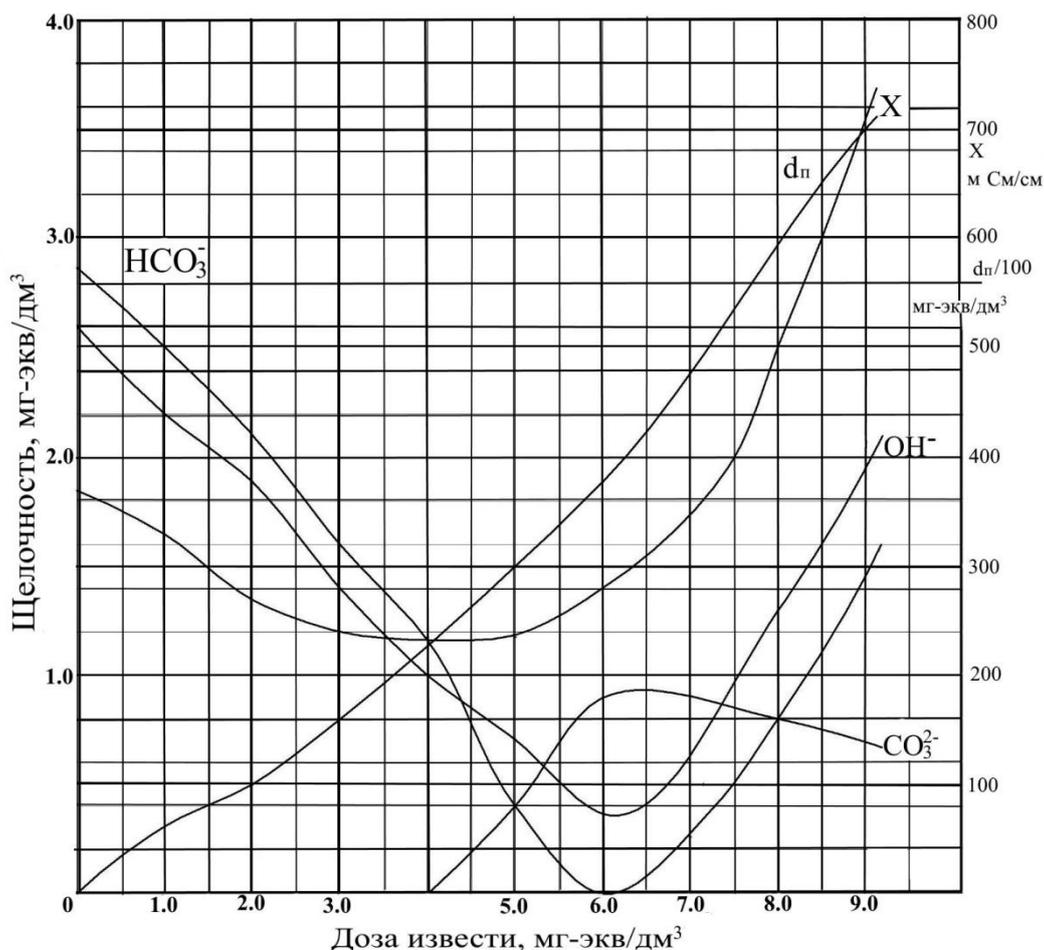


Рисунок 3 – Изменение ионного состава и электропроводности воды при ее обработке известью

Как видно из представленных данных, показатель минимума электропроводности раствора не совпадает с показателем минимума содержания гидратов и несколько опережает его. Стремительный рост электропроводности происходит симбатно с изменением содержания гидратов. Наряду с этим показатель минимума содержания катионов жесткости несколько отстает от показателя минимума содержания гидратов, что свидетельствует о целесообразности гидратного режима работы осветлителей или отстойников. Это согласуется с рассмотренным выше положением о целесообразности гидрокарбонатного режима работы. Интересно отметить, что после достижения минимума содержания гидратов происходит некоторое снижение содержания в обрабатываемой воде карбонатов. Зависимость электропроводности обрабатываемой воды показывает целесообразность применения систем регулирования дозировки извести.

Заключение

1. Установлен ряд преимуществ использования извести в качестве реагента для уменьшения содержания катионов жесткости в оборотных системах охлаждения и питательной воды котлов:

- экологические преимущества, вследствие получения твердых отходов практически не загрязняющих поверхностные водные источники и легко утилизируемых;
- экономические преимущества, из-за самой низкой стоимости реагента, вследствие наибольшего количества активного вещества, содержащегося в 1 т товарного продукта;

– эксплуатационные преимущества, вследствие самых низких удельных расходов реагента на объем обрабатываемой воды.

2. Определен главный недостаток использования раствора извести для умягчения воды, а именно: сложность организации технологического процесса дозирования реагента из-за его низкой растворимости и нахождения до 96 % раствора в виде суспензии.

3. Предложена система дозирования извести с использованием рециркуляции раствора в расходном баке и по линии всаса насосов-дозаторов, что позволяет устранить недостатки, отмеченные в предыдущем пункте.

4. Установлено изменение покомпонентного состава обрабатываемой воды.

5. Предложена система регулирования или корректировки дозы извести по электропроводности обрабатываемой воды. Установлена целесообразность поддержания показателя электропроводности примерно на 25 % выше минимального значения указанного параметра.

Список литературы

1. Высоцкий, С. П. Перспективы использования энергоносителей для получения тепловой и энергетической энергии / С. П. Высоцкий, А. В. Кондрыкинская / Вестник Луганского Национального университета им. Даля. – 2019. – № 10(28). – С. 94–204.
2. Душкин, С. С. Современные методы очистки воды и пути их интенсификации / С. С. Душкин // Коммунальное хозяйство городов. Серия «Технические науки и архитектура». – 2002. – Вып. 45. – С. 3–7.
3. Water Handbook Chapter 02. Environmental Considerations - Precipitation Softening / 2021 – P. 17.
4. Hardness Removal of Groundwater by using Optimum Lime-Soda Process/ Vaniya Darshak, C. D. Solanki, Parthiv Bhikadiya [et al.] // International Research Journal of Engineering and Technology. – 2018, Mar. – Vol. 05 Issue 03. – P. 3748 – 3751.
5. Высоцкий, С. П. Очистка, кондиционирование и использование вод повышенной минерализации / С. П. Высоцкий, С. Е. Гулько. – Донецк : Каштан, 2014 – 318 с.
6. Обработка воды на тепловых электростанциях / А. И. Булина, С. М. Гурвич, В. М. Квятковский [и др.] ; под общей редакцией В. А. Голубцова. – Москва : Ленинград ; Энергия, 1966. – 448 с.
7. Sheppard, T. Powell Water Conditioning for Industry / T. Sheppard. – New York ; Toronto ; London ; Tokyo : Mc Grow – Hill Book Company, 1954. – 548 p.

С. П. Высоцкий, Д. В. Мачикина

ГОУВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

**Оптимизация реагентных методов осаждения твердых образований
в системах умягчения воды**

Выполнен анализ преимуществ и недостатков использования различных реагентов для умягчения воды методом осаждения катионов жесткости в отстойниках или осветлителях.

Показано, что известь как реагент обладает рядом преимуществ перед другими реагентами. Преимущества состоят в следующем: при умягчении воды известью уменьшается карбонатный индекс обрабатываемой воды (произведение кальциевой жесткости на щелочность), продукт реакции получается в твердом виде и может быть использован в строительной индустрии или других отраслях промышленности и сельского хозяйства, в товарном продукте содержится самое большое (по сравнению с другими реагентами) содержание активного вещества (до 35,7 кг-экв/т реагента), за счет малой эквивалентной массы реагента, малого удельного расхода извести на единицу объема обрабатываемой воды.

Недостатком применения извести как реагента для умягчения воды методом осаждения накипеобразователей является ее малая растворимость, вследствие чего до 96 % активного вещества в дозируемом растворе находится в виде суспензии. Дозируемый раствор диссоциирует в реакторах сепараторов-осадителей по мере вступления в реакцию дозируемого реагента. Возникают особые требования обеспечения равномерности дозирования реагента. Нарушение требований приводит к ухудшению стабильности показателей качества обработанной воды в результате перехода аппаратов-осадителей в гидрокарбонатный режим работы. При этом увеличивается дисперсность шлама и, соответственно, его вынос в осветленную воду. Достижение равномерности дозирования известковой суспензии обеспечивается за счет повышения эффективности перемешивания раствора в расходной мешалке и применения циркуляции раствора по трубопроводу на всасе насосов-дозаторов.

Приведен анализ изменения покомпонентного состава обрабатываемой воды: гидрокарбонатов, карбонатов и гидратов, а также ее электропроводности при увеличении дозы извести. Показатель минимума электро-

проводности воды происходит симбатно с изменением содержания гидратов. Показатель минимума содержания катионов жесткости несколько отстает от показателя минимума содержания гидратов, что свидетельствует о целесообразности применения гидратного режима работы. Экстремальная зависимость показателя электропроводности обрабатываемой воды с учетом изменения ее покомпонентного состава показывает целесообразность применения систем коррекции или регулирования дозировки извести по значению электропроводности, что позволяет превышать показатель ее минимального значения.

НАКИПЬ, УМЯГЧЕНИЕ, ОСАЖДЕНИЕ, ИЗВЕСТИ, ПРОДУКТ РЕАКЦИИ, ДОЗИРОВАНИЕ РЕАГЕНТОВ

S. P. Vysotskiy, D. V. Machikina

**Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeevka
Optimization of Reagent Methods for Sedimentation of Solid Formations
in Water Softening Systems**

The article analyzes the advantages and disadvantages of using various reagents for water softening by the sedimentation method of hardness cations in sedimentation tanks or clarifiers.

It is shown that the lime as a reagent has a number of advantages over other reagents. The advantages are as follows: when softening water with lime, the carbonate index of the treated water decreases – the product of calcium hardness and alkalinity, the reaction product is obtained in a solid form and can be used in the construction industry or other industries and agriculture, the commercial product contains the largest (by compared with other reagents) the content of the active substance (up to 35,7 kg-eq/t of the reagent), due to the low equivalent mass of the reagent, low specific consumption of the lime per unit volume of treated water.

The disadvantage of using lime as a reagent for water softening by the sedimentation method of scale-forming agents is its low solubility, as a result of which up to 96 % of the active substance in the dosed solution is in the form of the suspension. The dosed solution dissociates in the reactors of the separators - precipitators as the dosed reagent enters the reaction. There are special requirements to ensure the uniformity of the reagent dosing. The violation of the requirements leads to the deterioration in the stability indicator of the treated water as a result of the apparatus transition - precipitators to the hydrocarbonate mode of operation. This increases the dispersion of the sludge and, accordingly, its removal into the clarified water. Achieving the uniformity of the lime suspension is ensured by increasing the efficiency of mixing the solution in a feed mixer and using the circulation of the solution through the pipeline at the suction of the metering pumps.

The analysis of changes in the component composition of the treated water: hydrocarbonates, carbonates and hydrates, as well as its electrical conductivity with an increase in the dose of lime is presented. The indicator of the minimum electrical conductivity of water occurs symbatically with a change in the content of hydrates. The indicator of the minimum content of hardness cations slightly lags behind the indicator of the minimum content of hydrates, which indicates the advisability of using the hydration mode of operation of reactors - precipitators.

The extreme dependence of the conductivity index of the treated water, taking into account the change in its component composition, shows the advisability of using systems for correcting or regulating the dosage of lime according to the value of conductivity approximately 25 % higher than its minimum value.

SCALE, SOFTENING, SEDIMENTATION, LIME, REACTION PRODUCT, REAGENT DOSING

Сведения об авторах:

С. П. Высоцкий

SPIN-код: 7497-0100
Scopus Author ID: 7004891012
ORCID ID: 0000-00002-2988-7245

Д. В. Мачикина

Телефон: +38 (071) 352-83-27
Эл. почта: dmachikina@mail.ru

Статья поступила 16.04.2021

© **С. П. Высоцкий, Д. В. Мачикина, 2021**

Рецензент: В. В. Лихачева, канд. техн. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»