

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богомолов М.В., Коверга А.В., Волков С.В. и др. Международный конгресс озоновых и ультрафиолетовых технологий в Лос-Анжелесе // Водоснабжение и санитарная техника. – 2008. – № 4. – С. 47–53.
2. Годымчук А.Ю. Технология изготовления силикатно-карбонатных сорбентов для очистки воды от катионов тяжелых металлов: дис. ... к.т.н. – Томск, 2003. – 141 с.
3. Милушкин В.М. Физико-химические процессы в кипящем слое доломита под действием ультразвука и разработка установки для доочистки питьевой воды: автореф. дис. ... к.т.н. – Томск, 2009. – 22 с.
4. ГОСТ Р 52407-2005. «Вода питьевая. Методы определения жесткости».
5. Милушкин В.М., Ильин А.П. Интенсификация процессов извлечения примесей тяжелых металлов из воды при действии ультразвука в кипящем слое доломита // Известия вузов. Сер. Химия и химическая технология. – 2009. – Т. 52. – № 8. – С. 103–105.

Поступила 06.09.2010 г.

УДК 628.1:658.265

МАЛОГАБАРИТНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

М.В. Куликова, В.И. Косинцев, А.И. Сечин, С.В. Бордунов, И.А. Прокудин, О.А. Кудрин*

Томский политехнический университет

E-mail: auct-68@Yandex.ru

*ЗАО «НПФ «НОРД», г. Кемерово

Выполнен цикл экспериментов по обезжелезиванию воды на волокнистых сорбентах из полипропилена и изучению антимикробных свойств посеребренных цеолитов. Спроектированы, испытаны и сертифицированы установки хозяйственно-питьевого водоснабжения с производительностью 200...1000 л/ч, которые позволяют довести качество воды до показателей СанПиН 2.1.4.1074-01.

Ключевые слова:

Фильтрация, волокнистые сорбенты, цеолит, очистка воды.

Key words:

Filtration, fibrous sorbents, zeolite, water treatment.

Вода является определяющим фактором состояния природной среды, определяет как состояние здоровья человека, так и надежность работы малотоннажных водонагревательных установок.

Главный загрязнитель воды, используемой для хозяйственно-питьевого водоснабжения по всей территории Западной Сибири – железо, а концентрация его соединений в воде превышает ПДК в 3...20 раз.

В подземных водах при отсутствии растворенного кислорода железо обычно находится в виде двухвалентных ионов. Для удаления из воды железа применяют безреагентные и реагентные методы. Известно [1], что при фильтровании воды после аэрирования через зернистые загрузки на поверхности зерен образуется каталитическая пленка, состоящая в основном из гидроксида железа(III), которая активно влияет на процесс окисления и выделения ионов железа из воды и в значительной степени его интенсифицирует. Удаление ионов железа из воды в загрузке представляет собой гетерогенный автокаталитический процесс, в результате которого пленка, выполняющая функцию катализатора, непрерывно обновляется при работе фильтра. Пленка образуется и действует только при наличии в воде кислорода. Для обеспечения окисления железа(II) необходимо, чтобы содержание кислорода в воде в 4...6 раз превышало его теоретиче-

ский расход. В начале работы фильтра одновременно с образованием пленки происходит зарядка загрузки. Продолжительность зарядки зависит от качества воды и скорости фильтрации, определяется экспериментально и составляет от 30...40 ч до нескольких суток. Только после зарядки загрузки достигается полный и стабильный эффект обезжелезивания.

Целью данной работы стояло создание типовой серии малогабаритных автоматизированных установок обезжелезивания и обеззараживания воды, позволяющие довести качество воды, поступающей потребителям до требуемых нормативных показателей.

Для обеспечения требований СанПиН 2.1.4.1074-01 к потребляемой воде, нами в качестве фильтрующих загрузок на первой стадии водоподготовки предлагается использовать волокнистые сорбенты из полипропилена по ТУ 9081-001-46632946-00 (Санитарно-эпидемиологическое заключение 70ТС03.515.П.000316.03.05) [2], которые являются хорошими сорбентами для углеводов, взвешенных веществ, применяются для обезжелезивания, имеют плотность в 3 раза меньшую, чем песчано-гравийные загрузки и высокую химическую стойкость. На второй стадии водоподготовки для доочистки и обеззараживания предлагается использовать модифицированные серебром цеоли-

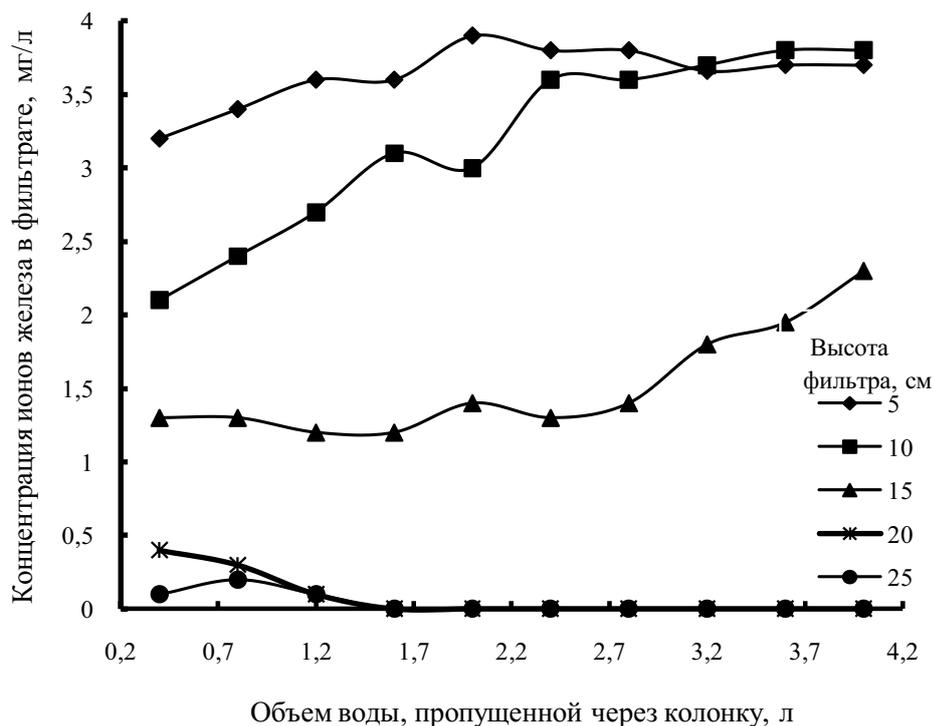


Рис. 1. Влияние высоты слоя фильтра на степень очистки воды от ионов железа(II)

ты, которые гарантированно обеспечивают обеззараживание воды при скорости фильтрации свыше 5 м/ч и высоте фильтра 0,1 м.

Для определения оптимальной высоты слоя фильтрующей волокнистой загрузки в пять колонок диаметром 5 см укладывался волокнистый сорбент на высоту 5, 10, 15, 20 и 25 см. В экспериментах применяли волокна диаметром 100 мкм, плотность упаковки волокон 250 кг/м³, что обусловлено расчетным размером пор такой набивки равным примерно 250 мкм, который близок к размеру пор песчаной загрузки с крупностью частиц 0,8...2,0 мм. Во всех колонках верхний слой волокна на 2 см модифицировался свежеполученной, из раствора с концентрацией 10 мг/л по железу, суспензией гидроксида железа(III). После модифицирования волокна через колонку пропускали модельный раствор сульфата железа(II) с концентрацией по железу 3,7 мг/л. Модельный раствор перед фильтрованием подвергался аэрации с подачей воздуха от компрессора с производительностью 30 л/мин и с использованием микропористой керамической насадки для распределения пузырьков воздуха в модельном растворе. Скорость безнапорного фильтрования составляла 1,41 м/ч. Определение массовой концентрации ионов железа в растворах проводили по ГОСТ 4011–72. Результаты экспериментов приведены на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что на фильтрах высотой 5 и 10 см в начальной стадии процесса фильтрации происходит снижение концентрации ионов железа в фильтрате по сравнению с концентрацией ионов железа в фильтруемой воде, но, начиная с фильтро-

вания второго литра воды, концентрация ионов железа в фильтрате становится равной концентрации ионов железа в исходной воде. При высоте слоя волокна 15 см заметный рост концентрации ионов железа в фильтрате начинается после фильтрования 3,2 л исходного модельного раствора, очевидно, за счет вымывания ранее накопленного осадка гидроксида железа (III). Начиная с высоты фильтра 20 см, концентрация железа в фильтрате становится меньше ПДК.

Продолжительность зарядки фильтра определяли на 2-х колонках с диаметром 5 см, высотой фильтрующего слоя 20 см и плотностью набивки 250 кг/м³. Одна колонка набивалась чистым волокном, а на волокно второй, как и в первой серии опытов, сверху на высоту 2 см наносилась свежеприготовленная из раствора с концентрацией 10 мг/л по железу суспензия гидроксида железа (III). Модельный раствор без предварительного аэрирования подавался в колонку порциями равными объемам, занимаемому в колонке волокном — колоночными объемами по 400 мл. Такой опыт позволил определить продолжительность зарядки волокнистого фильтра по скорости фильтрования и пропущенному объему воды с известной концентрацией железа. На рис. 2 приведены результаты экспериментов по определению продолжительности зарядки волокнистого фильтра из полипропиленового волокна диаметром 100 мкм, с концентрацией модельного раствора по железу 3,7 мг/л.

Результаты экспериментов, на рис. 2 показывают, что при скорости фильтрования 1,41 м/ч волокнистая насадка с предварительным модифициро-

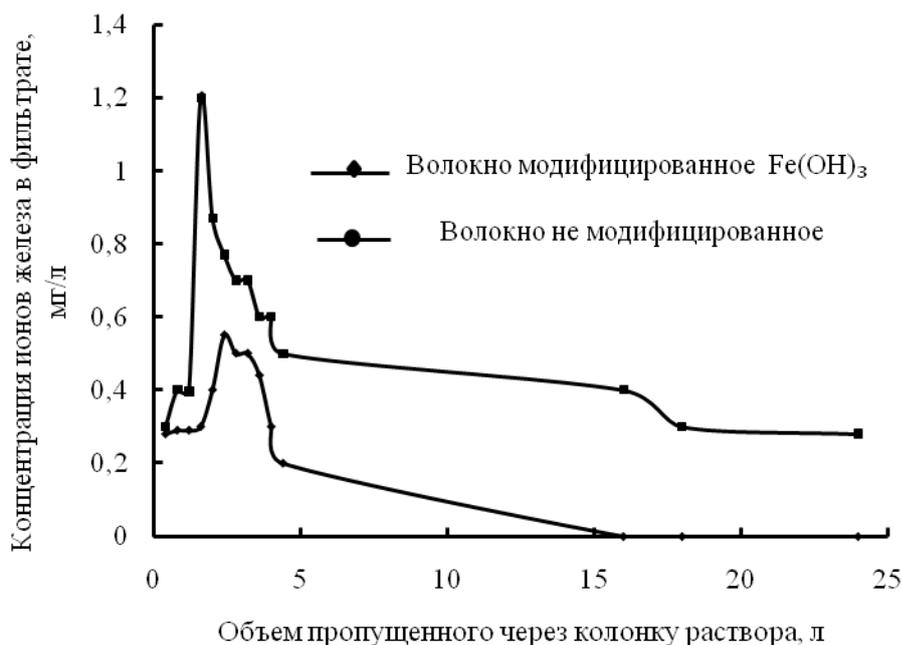


Рис. 2. Зависимость концентрации ионов железа(II) от объема раствора, пропущенного через волоконный фильтр

ванием гидроксидом железа(III) заряжается после пропускания через нее 4 л модельного раствора за 1,5 ч, а не модифицированная волоконная насадка заряжалась в течение 7,5 ч после пропуска 15 л модельного раствора. По истечении этого времени фильтр готов к эксплуатации. Снижение концентрации железа в течение фильтрования первого колоночного объема воды связано с наличием на поверхности волокон ионообменных гидроксильно-карбонильных групп, наличие которых обусловле-

но частичным окислением полипропилена в процессе производства из него волокон по способу [2].

На рис. 3 представлены результаты определения емкости фильтра по полученному осадку гидроксида железа (III), которая определялась по росту концентрации железа в фильтрате после прохождения через колонку модельного раствора со скоростью фильтрации 1,41 м/ч и концентрацией по железу 3,7 мг/л. Высота модифицированного волокна в колонке с диаметром 5 см составляла 20 см.

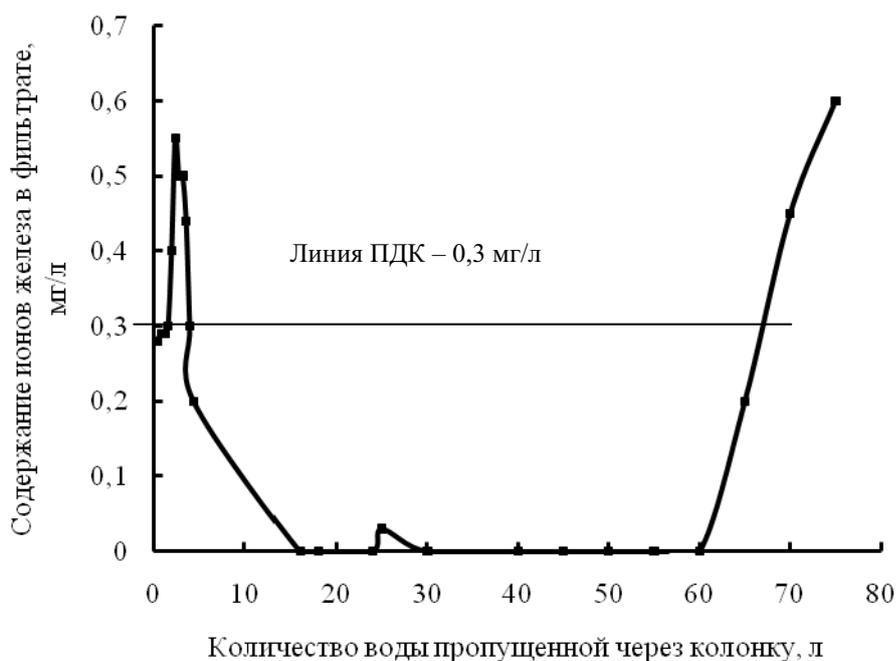


Рис. 3. Зависимость содержания ионов железа(II) от объема воды, пропущенной через колонку

Из рис. 3 видно, что после фильтрования 67 л воды концентрация ионов железа в фильтрате становится выше ПДК, т. е. более 0,3 мг/л. Исходя из массы волокна в фильтре 90 г и концентрации ионов железа в фильтруемой воде, емкость заряженного фильтрующего материала по осадку гидроксида железа(III) составляет ~234 мг по железу или ~2,6 мг Fe^{+3} /1 г волокна.

Установки по очистке воды должны отвечать следующим основным требованиям: производительность установок с приемом воды от водопровода или скважины должна быть в пределах 200...1000 л/ч, а работа установки должна проходить в автоматизированном варианте, обеспечивая водоочистку до показателей требуемых СанПиН 2.1.4.1074-01.

Рассматривая стадию доочистки и обеззараживания воды было предложено использовать природные цеолиты.

В процессах водоподготовки применяются различные фильтрующие материалы [1]. Природный цеолит (клиноптилолит) SiO_2 – 65,7 %, Al_2O_3 – 11,57 % представляет собой щелочные (Na, K) и щелочно-земельные (Ca, Mg) алюмосиликаты, имеющие общую формулу $Me_2O \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot yH_2O$, где Me – ион металла. Он обладает высокой сорбционной способностью и легко периодически регенерируется и успешно заменяет другие песчано-зернистые загрузки, без каких-либо изменений в технологическом процессе очистки воды.

Цеолит принадлежит к микропористым сорбентам с размером пор 1,2...4,0 нм с удельной поверхностью $4 \cdot 10^5$ м²/кг, который на молекулярно-ионном уровне сорбирует и очищает воду от фенола, солей жесткости, ионов тяжелых металлов, ио-

нов аммония, нефтепродуктов, хлоридов, сульфатов, нитратов; существенно улучшает органолептические показатели воды (запах, привкус, мутность), а при модификации ионами серебра и от бактериологических загрязнений. Расход серебра на модифицирование исходного цеолита составляет от 0,06 до 0,14 г/кг.

В соответствии с Дополнением № 1 от 25.12.1998 г. № ДК-285-111 к «Перечню материалов, реагентов и очистных устройств, разрешенных для применения в практике хозяйственно-питьевого водоснабжения» № 01-19/32-11 от 23.10.1992 г., цеолит, модифицированный ионами серебра (разработчик ЗАО НПФ «НОРД»), разрешен для использования в качестве фильтрующего материала при очистке воды в системах водоподготовки.

Для определения способности цеолита задерживать микробные загрязнения были исследованы пробы воды, в которые были предварительно внесены микроорганизмы в различных разведениях 10000...1000000 в 1 л раствора, профильтрованные через колонки, заполненные проверяемым фильтрующим материалом (цеолит, модифицированный ионами серебра). Исследования велись с предварительным контролем микробиологического загрязнения исходного раствора, а также с проведением полного цикла системы внутри лабораторного контроля качества анализов согласно [3].

В результате проведенных исследований в фильтрате микроорганизмов (*E. Coli*) не выделено, вода с различной степенью бактериального загрязнения, прошедшая фильтрование через колонки, заполненные цеолитом, модифицированным ионами серебра, отвечает установленным требованиям. Таким образом, цеолит, модифицированный

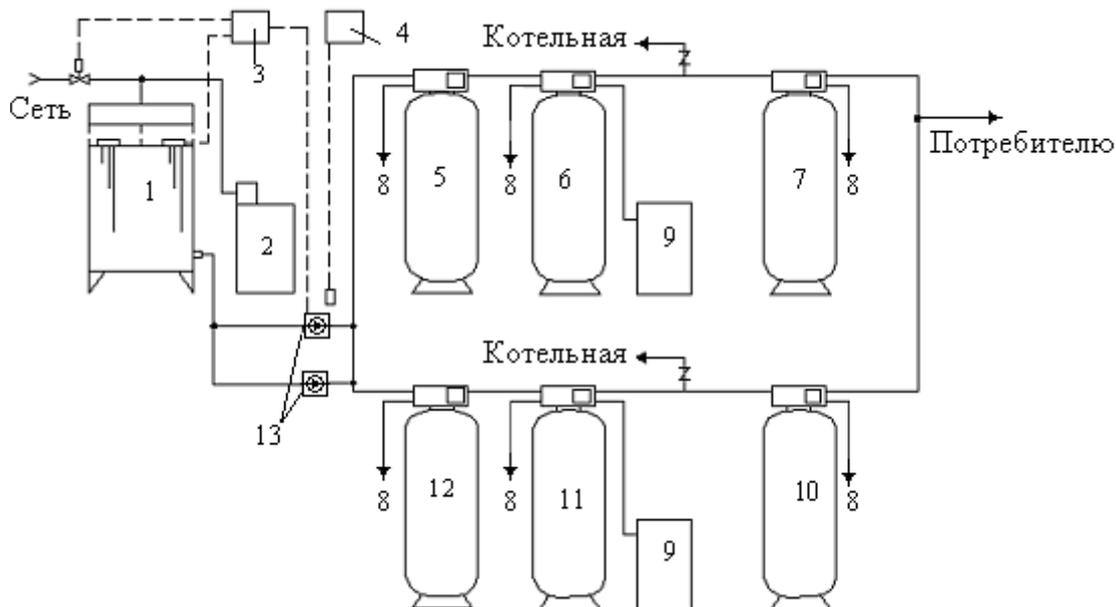


Рис. 4. Блок-схема установки для очистки питьевой воды: 1) накопительная ёмкость; 2) блок аэрирования и окисления исходной воды; 3) блок автоматики; 4) аварийный датчик протечки; 5, 12) волоконный фильтр предварительной очистки; 6, 11) ионообменный фильтр; 7, 10) фильтр тонкой очистки; 8) дренаж; 9) блок регенерации ионообменных фильтров; 13) насосы

ионами серебра, может быть включен в систему очистки воды для хозяйственно-питьевых целей, как элемент доочистки и обеззараживания воды.

На основании проведенных исследований была разработана малогабаритная автоматизированная установка обезжелезивания и обеззараживания воды, рис. 4.

В качестве сорбционного материала в зависимости от поставленной задачи в установки используется волокнистый сорбент из полипропилена по ТУ 9081-001-46632946-00, ионообменная смола, активированный уголь и цеолит, импрегнированный серебром.

Согласно требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 содержание железа в воде для хозяйственно-питьевых нужд не должно превышать 0,3 мг/л. Режим аэрирования в данной установке осуществляется при помощи блока вихревых форсунок, расположенных в верхней части аэратора. Необходимое время реакции обеспечивается объемом контактной емкости, расположенной под блоком вихревых форсунок.

Из контактной емкости аэратора вода поступает на фильтр предварительной очистки из полипропиленового волокна. Фильтр предварительной очистки представляет собой герметичную напорную емкость, заполненную тремя слоями фильтровального материала и предназначенную для предварительной очистки поступающей воды от дисперсных и коллоидных примесей, окисленных ионов железа и марганца, а также для улучшения показателей по цветности и мутности. Фильтр выполнен по нисходящей схеме подачи воды и имеет два режима работы: режим фильтрования и режим регенерации. Система переключения режимов расположена в нижней части фильтра.

В режиме фильтрования вода из контактной емкости при помощи насосов подачи поступает в верхнюю часть фильтра. Воздушный автоматический клапан обеспечивает удаление воздуха из верхней части фильтра. Вода, прошедшая последовательно все слои сорбента через дренажную систему, расположенную в нижней части фильтра, через промежуточные вентили поступает в установку на ионообменный фильтр.

Манометры, установленные до и после предварительного фильтра, показывают косвенную оценку состояния фильтра. При разности их показаний более 0,06 МПа необходимо произвести регенерацию фильтра грубой очистки. Промывочная вода сливается в дренаж. Промывка предваритель-

ного фильтра проводится до появления чистой промывочной воды.

Для удаления из предварительно очищенной воды солей жесткости (ионов кальция и магния), применен фильтр с ионообменной смолой Пьюролайт С100Е в Na^+ -ионной форме. В нем регенерирование ионообменной смолы осуществляется при помощи автоматического блока управления.

Фильтр тонкой очистки предназначен для проведения окончательной доочистки воды в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.4.1074-01.

Переходной вентиль закрывается на период регенерации фильтра предварительной очистки. Для проведения анализа качества воды на всех этапах работы установки предусмотрены краны для отбора проб. В установке также предусмотрены случаи, когда необходимо слить воду из емкостей. Для этого необходимо открыть вентили, расположенные в нижних частях каждого фильтра, включая блок аэрации и накопительную емкость, и сбросить воду в дренаж.

Контроль технологических параметров установки осуществляется блоком автоматики, который состоит из: блока управления режимами работы станции (ручной или автоматический), блока автоматического управления процессами фильтрования, ионного обмена и сорбции. Датчик сухого хода насоса подачи воды, электромагнитный клапан, датчики контроля уровня воды в приемном баке, блок управления насосами подачи воды на фильтры и в накопительную емкость, обратные клапаны, автоматические воздушные клапаны, счетчик воды, прошедшей очистку, электронный дозатор подачи раствора с системой автоматики. Блоки управления системой предварительной подготовки воды, поступающей на очистку.

Выводы

Экспериментально исследован процесс обезжелезивания воды на волокнистых сорбентах из полипропилена, изучены антимикробные свойства цеолитов модифицированных ионами серебра. Установлена скорость фильтрования через волокнистую насадку модифицированную гидроксидом железа(III). Определена емкость заряженного фильтрующего материала по осадку гидроксида железа(III), которая составляет 234 мг по железу или 2,6 мг Fe^{+3} /1 г волокна. Спроектированы, испытаны и сертифицированы установки хозяйственно-питьевого водоснабжения с производительностью 200...1000 л/ч, которые позволяют довести качество воды до показателей СанПиН 2.1.4.1074-01.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. – Киев: Вища школа, 1981. – 328 с.
2. Установка для получения волокнистого материала из термопластов: пат. 2179600 Рос. Федерация; заявл. 20.02.02; опубл. 24.10.00. – 7 с.

3. МУК 4.2.1018-01. Санитарно-микробиологический анализ питьевой воды. – 56 с.

Поступила 24.03.2010 г.