

УДК 628.168.4

## ТЕХНОЛОГИЯ УДАЛЕНИЯ СОЛЕЙ ЖЕЛЕЗА ИЗ ПИТЬЕВЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ ОРГАНИЧЕСКИХ ФЛОКУЛЯНТОВ

<sup>2</sup>Исаков И.В., <sup>1</sup>Ксандров Н.В., <sup>1</sup>Павлова И.В., <sup>2</sup>Рехалов А.И.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Дзержинск, e-mail: 1924TNV@mail.ru;

<sup>2</sup>ОАО «Дзержинский Водоканал», Дзержинск, e-mail: sekretar@istok.sinn.ru

Объектом исследования является процесс удаления солей железа из оборотной воды с использованием органических флокулянтов с последующим применением на станции водоподготовки Тепловского водозабора города Дзержинска. В статье приведены основные физико-химические параметры исходной оборотной воды, существующих методов очистки, а также достоинства и недостатки как применяемых, так и предлагаемых методов удаления солей железа. В ходе предпроектных изысканий получены основные параметры сооружений водоподготовки, качественные параметры возможных к применению органических флокулянтов, определена оптимальная доза полиакриламида для осаждения солей железа, получены данные по возможному побочным продуктам реакции и технико-экономические показатели целесообразности применения полиакриламида. Проведенные исследования позволят сократить затраты на проектирование, эксплуатацию и гарантировать степень очистки от солей железа как оборотной, так и питьевой воды в соответствии с требованиями, что в свою очередь окажет существенное влияние на жизнь и здоровье жителей города Дзержинска и состояние коммуникаций сетей водоснабжения.

**Ключевые слова:** соли железа, водоподготовка, органический флокулянт

## TECHNOLOGY REMOVE SALTS IRON FROM DRINKING WATER USING ORGANIC FLOCCULANTS

<sup>2</sup>Isakov I.V., <sup>1</sup>Ksandrov N.V., <sup>1</sup>Pavlova I.V., <sup>2</sup>Rekhalov A.I.

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State Technical University named R.E. Alekseev, Dzerzhinsk, e-mail: 1924TNV@mail.ru;

<sup>2</sup>Dzerzhinsky Vodokanal, Dzerzhinsk, e-mail: sekretar@istok.sinn.ru

The object of research is the process of removal of iron salts from recycled water with the use of organic flocculants and then applying to the water treatment plant Teplovsko water-fence of the city of Dzerzhinsk. The article shows the main physical and chemical parameters of the original-about-latitude waters, existing treatment methods, as well as the advantages and disadvantages of both applied and proposed the removal of iron salts techniques. During the pre-survey produced basic parameters of water treatment facilities, the quality parameters of the possible to the use of organic flocculants-ing, determined the optimal dose of polyacrylamide to precipitate iron salts, get-us data on the possible side reaction products, and the technical and economic feasibility of using indicators polyacrylamide. The research will reduce the costs of design, operation, and to ensure the degree of purification of iron salts as the back and drinking water in accordance with the requirements, which in turn will have a significant impact on the lives and health of residents of the city of Dzerzhinsk and condition of water supply networks of communication.

**Keywords:** iron salt, water, organic flocculant

Решение о применении различных веществ для удаления из питьевых вод солей железа связано с необходимостью повышения качества воды, поступающей к потребителю. Применение технологических решений, основанных на использовании ультрафильтрационных или обратноосмотических установок, экономически нецелесообразно в связи со значительным ростом стоимости очищенной воды для потребителя и вторичным загрязнением в коммуникациях водораспределительной сети [4].

Существующая станция водоподготовки Тепловского водозабора города Дзержинска находится в 25 километрах от насосной станции третьего подъема, подающей воду питьевого качества в городскую водораспределительную сеть в количестве 60000 м<sup>3</sup>/сутки, 30000 м<sup>3</sup>/сутки из которых

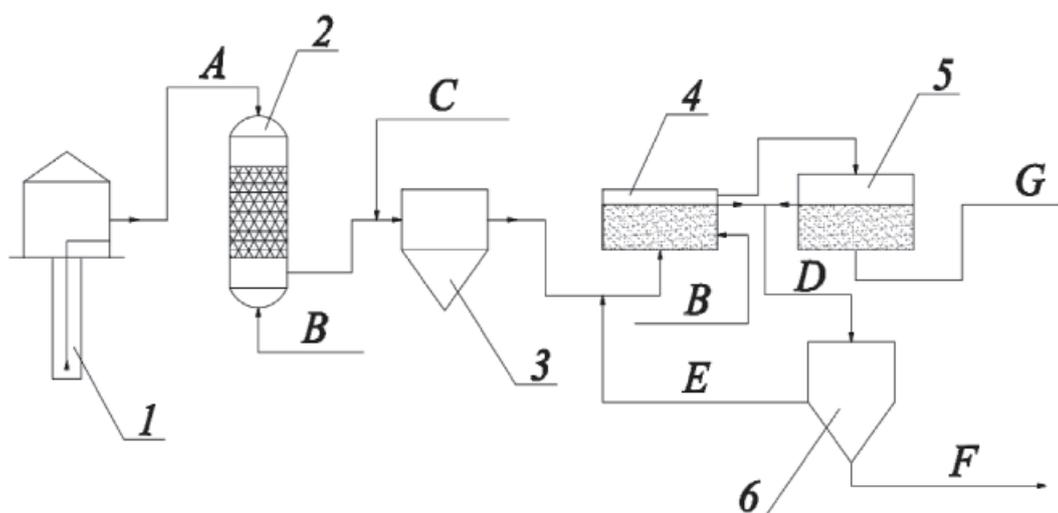
поставляются с Тепловского водозабора. Вся вода, подаваемая в городскую водораспределительную сеть, является артезианской, поднимаемой из скважин глубиной от 20 до 70 метров. Качество исходной воды, добываемой на площадке Тепловского водозабора, значительно хуже воды, поднимаемой из артезианских скважин на площадке Городского водозабора, в связи с чем на станции водоподготовки Тепловского водозабора предусмотрено несколько стадий очистки и обеззараживания воды с последующей перекачкой. Подземные воды Тепловского месторождения характеризуются повышенным содержанием марганца и неокисленной формы железа [5]. Присутствие в воде железа может способствовать развитию в трубах и теплообменных аппаратах железистых бактерий, продукты жизнедеятельности

которых вызывают уменьшение сечения трубопроводов, а иногда их полную закупорку [4]. Обработка воды с доведением её физико-химических параметров до требований СанПин 2.1.4.1074-01 осуществляется в несколько стадий и включает химические и физические способы, направленные на обезвреживание воды от бактерий и очистку её от минеральных примесей [5].

Исходную воду направляют на установки предварительного окисления (декарбонизаторы), где производится аэрирование, которым достигается снижение количества нежелательных запахов и привкусов, ввиду десорбции газов и летучих органических соединений. В процессе аэрирования частично удаляется углекислота, которая замедляет процесс гидролиза солей металлов при обезжелезивании и других процессах кондиционирования воды [4]. При насыщении воды кислородом воздуха происходит частичное окисление двухвалентного железа, содержащегося в воде в виде растворимых карбонатов, бикарбонатов или комплексных железоорганических соединений [4].

После пребывания в декарбонизаторах воду направляют в контактные резервуары, перед которыми в нее вводится хлорная вода, с целью проведения первичного хлорирования, направленного на обезвреживание бактерий, микроорганизмов, окисление трудноокисляемых соединений железа, удаление некоторых газов, осветление воды и санацию сооружений водоподготовки. После хлорирования в воде обра-

зуются соединения трехвалентного железа, выпадающего в виде рыжего хлопьевидного осадка, которые удаляют из воды с использованием контактных осветлителей с зернистой загрузкой из кварцевого песка. Затем отфильтрованная вода поступает на скорые фильтры, где при фильтровании через слой кварцевого песка или активированного угля отделяют соединения железа. В зависимости от качества отфильтрованной воды на каждом из скорых фильтров и контактных осветлителей производится их промывка водо-воздушной смесью для удаления осевших на кварцевом песке частиц железа. Воду после данной промывки направляют в резервуары оборотной воды, где в течение нескольких часов отстаивают и направляют далее в «голову» сооружений для повторной очистки [4]. Данное обстоятельство и является определяющим в исследовании необходимости применения органических флокулянтов для увеличения скорости и качества осаждения трехвалентного железа в оборотной воде, с целью снижения его содержания при её возврате. После фильтрования на скорых фильтрах вода поступает на насосную станцию второго подъема, откуда перекачивается на главную площадку, где смешивается с водой с Городского водозабора, подвергается вторичному обеззараживанию и подается в городскую сеть. Общая технологическая схема очистки воды на станции водоподготовки Тепловского водозабора представлена на рисунке.



Технологическая схема станции водоподготовки Тепловского водозабора:

- 1 – артезианские скважины и насосная станция первого подъема; 2 – декарбонизатор;  
 3 – контактные резервуары; 4 – контактные осветлители; 5 – скорые фильтры;  
 6 – резервуары оборотной воды и насосная станция;  
 А – артезианская вода; В – воздух; С – хлорная вода; D – промывная вода; E – оборотная вода;  
 F – шламовая вода; G – очищенная питьевая вода

По опыту эксплуатации станции водоподготовки и литературным данным [4] оптимальным является путь не теоретического расчета дозы, а проведения опытов на определение необходимой дозы флокулянта и времени отстаивания воды в резервуарах. При выборе флокулянта для обработки оборотной воды наиболее приоритетными были физико-химические и технико-экономические параметры, определяющие количество флокулянта, необходимого для максимальной степени осаждения гидроокиси железа, и суммарные затраты на его ежедневное использование, а также безопасность применения для конечных потребителей. Кроме того, учитывалась доступность вещества для эксплуатирующей организации и возможности нахождения аналогичных поставщиков, без привязки к конкретному типу продукта. Наиболее оптимальным при выполнении всех условий является синтетический органический флокулянт – полиакриламид, гелеобразный, водоканального типа, с массовой долей основного вещества не менее 5%. Для диспергирования полиакриламида применяют специальные установки, представляющие собой комплекс оборудования, состоящий из цилиндрического аппарата с мешалкой и отбойным диском, для предотвращения наматывания геля на вал мешалки, устройства взвешивания, загрузки исходного геля и дозации готового продукта в точку ввода флокулянта. Необходимая доза флокулянта зависит от концентрации нерастворенных примесей, их крупности и плотности.

**Цель исследования** – определение оптимальной дозы органического флокулянта для осаждения трехвалентного железа в оборотной воде после промывки контактных осветлителей и скорых фильтров станции водоподготовки с целью улучшения качества общего объема питьевой воды и снижения времени отстаивания оборотной воды в резервуарах.

#### **Материалы и методы исследования**

Материалом исследования является оборотная вода станции водоподготовки, образующаяся в результате промывки скорых фильтров и контактных осветлителей. Содержание гидроокиси железа в данной воде доходит до нескольких сотен миллиграммов на литр, что значительно затрудняет процесс естественного осветления воды путем отстаивания. Сокращение времени отстаивания воды ведет к снижению эффективности процесса и повышению содержания гидроокиси железа в общем объеме питьевой воды, направляемой на дальнейшее использование. Увеличение времени отстаивания снижает содержание осадка трехвалентного железа в оборотной воде, но уменьшает возможность промывки оставшихся скорых фильтров и контактных осветлителей, что

снижает их производительность по воде и качество задержания гидроокиси железа.

В ходе исследования производили отбор воды из резервуаров оборотной воды в разный временной интервал во время промывки контактных осветлителей и скорых фильтров с целью усреднения качественных показателей промывной воды. Отбор производили в 4 емкости, по 1 литру в каждую. В три из них вводили полиакриламид, а одна являлась контрольной пробой, для оценки осаждения трехвалентного железа без применения флокулянтов, в зависимости от времени пребывания в резервуарах. Анализ контрольной и обрабатываемой пробы производили по следующим показателям: железо общее, железо двухвалентное, железо трехвалентное, мутность и цветность. Обрабатываемая вода также анализировалась на содержание полиакриламида. Все анализы проводили с интервалом 1, 2, 3 часа после введения флокулянта с учетом состояния покоя обработанной воды. На анализ отбирали только верхний слой воды, также как и в реальных резервуарах происходит откачка осветленных вод. Пробы на содержание общего, трехвалентного и двухвалентного железа анализировали по методу, основанному на взаимодействии ионов железа в щелочной среде с сульфосалициловой кислотой с образованием окрашенного в желтый цвет комплексного соединения. Интенсивность окраски, пропорциональную массовой концентрации железа, измеряли при длине волны 400–430 нм [5]. Цветность воды определяли фотометрическим путем сравнения проб испытуемой жидкости с растворами, имитирующими цвет природной воды [1]. Мутность воды определяли фотометрическим путем сравнения проб испытуемой воды со стандартной суспензией каолина. Содержание полиакриламида в воде находили по адсорбционно-фотометрической методике, основанной на щелочном гидролизе полиакриламида, адсорбции образующейся полиакриловой кислоты карбонатом кальция с последующим комплексобразованием полиакриловой кислоты с красителем метиленовым голубым, элюировании сорбированного количества красителя водой и измерении оптической плотности водного раствора при длине волны 630–670 нм [2].

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

В каждую из анализируемых проб вводили раствор полиакриламида, приготовленный с использованием уже очищенной питьевой воды и гелеобразного исходного 6% полиакриламида. Ввод полиакриламида осуществляли с последующим 30–40-секундным интенсивным перемешиванием, 15-минутным умеренным перемешиванием и оставлением в состоянии покоя на 30–60 минут. Затем отбирали только верхний слой воды для проведения анализов на необходимые компоненты. Результаты анализов исходной оборотной воды после промывки контактных осветлителей и скорых фильтров представлены в табл. 1. Результаты первой серии экспериментов представлены в табл. 2. Результаты второй серии экспериментов представлены в табл. 3.

Таблица 1

## Качество оборотной воды

Номер серии	Параметр	Концентрация	Единица измерения
1	Железо общее	208,00	мг/дм <sup>3</sup>
	Железо трехвалентное	200,00	мг/дм <sup>3</sup>
	Железо двухвалентное	8,00	мг/дм <sup>3</sup>
	Мутность	312,00	мг/дм <sup>3</sup>
	Цветность	400	градус цветности
2	Железо общее	220,00	мг/дм <sup>3</sup>
	Железо трехвалентное	203,00	мг/дм <sup>3</sup>
	Железо двухвалентное	17,00	мг/дм <sup>3</sup>
	Мутность	383,00	мг/дм <sup>3</sup>
	Цветность	1249	градус цветности

Таблица 2

## Результаты первой серии экспериментов

Время отстаивания, ч	Параметр	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3
	Исходная концентрация полиакриламида, мг/дм <sup>3</sup>	2,16	5,40	10,70
1	Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	12,40	7,30	7,80
	Железо трехвалентное, мг/дм <sup>3</sup>	11,90	6,30	7,00
	Железо двухвалентное, мг/дм <sup>3</sup>	0,50	1,00	0,80
2	Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	9,00	7,50	7,40
	Железо трехвалентное, мг/дм <sup>3</sup>	8,50	6,60	6,30
	Железо двухвалентное, мг/дм <sup>3</sup>	0,50	0,90	1,10
3	Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	12,00	8,30	7,40
	Железо трехвалентное, мг/дм <sup>3</sup>	11,40	8,00	7,10
	Железо двухвалентное, мг/дм <sup>3</sup>	0,60	0,30	0,30
	Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	0,77	0,77	9,60
	Цветность, градус цветности	10	15	50
	Остаточный полиакриламид, мг/дм <sup>3</sup>	0,025	0,076	0,30

Таблица 3

## Результаты второй серии экспериментов

Время отстаивания, ч	Параметр	Контрольная проба	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3
	Исходная концентрация полиакриламида, мг/дм <sup>3</sup>	0,00	1,54	1,23	0,92
1	Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	20,00	28,50	40,00	32,50
	Железо трехвалентное, мг/дм <sup>3</sup>	17,00	25,00	37,00	28,00
	Железо двухвалентное, мг/дм <sup>3</sup>	3,00	3,50	3,00	4,50
	Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	50,00	59,00	80,00	68,00
	Цветность, градус цветности	573	714	747	680
	Остаточный полиакриламид, мг/дм <sup>3</sup>	–	0,025	0,016	0,04
2	Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	13,5	20,5	28,0	24,0
	Железо трехвалентное, мг/дм <sup>3</sup>	13,0	19,0	27,0	23,0
	Железо двухвалентное, мг/дм <sup>3</sup>	0,5	1,5	1,0	1,0
	Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	50	56	65	65
	Цветность, градус цветности	513	491	736	613
	Остаточный полиакриламид, мг/дм <sup>3</sup>	–	0,040	0,034	0,013
3	Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	11,0	13,8	15,8	16,0
	Железо трехвалентное, мг/дм <sup>3</sup>	10,5	13,5	14,8	15,0
	Железо двухвалентное, мг/дм <sup>3</sup>	0,5	0,5	1,0	1,0
	Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	31	37	37	37
	Цветность, градус цветности	268	335	357	379
	Остаточный полиакриламид, мг/дм <sup>3</sup>	–	0,01	0,01	0,017

Из представленных в таблицах параметров исходной и обработанной воды видно существенное (на 96,85%) снижение содержания в осветленном слое трехвалентного железа при дозе полиакриламида 5,4 мг/дм<sup>3</sup> и времени отстаивания 1 час. При увеличении времени отстаивания до 2 часов не наблюдается заметного снижения концентрации трехвалентного железа, что свидетельствует о нецелесообразности увеличения времени пребывания обработанной флокулянтной воды в резервуарах для отстаивания. Иные дозы флокулянта либо снижают содержание гидроокиси железа незначительно, как, например, в опытах второй серии, где естественным путем осаждение происходит эффективнее, либо не приводят к существенному снижению концентрации гидроокиси железа, как в пробах № 1, 3 первой серии экспериментов, что должно быть.

Проведенные серии экспериментов показывают необходимость применения флокулянта для сокращения времени отстаивания воды и повышения качества оборотной воды, составляющей около 200 м<sup>3</sup>/сутки от общего объема в 30000 м<sup>3</sup>/сутки. Превышения содержания остаточного полиакриламида в оборотной воде будут скомпенсированы за счет разбавления почти в 150 раз.

### Вывод

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о необходимости и целесообразности применения полиакриламида для осаждения хлопьевидного осадка трехвалентного железа в оборотной воде с целью повышения качества отстаивания, снижения времени пребывания воды в контактных резервуарах и, как следствие, повышения общего качества питьевой воды станции водоподготовки Тепловского водозабора Дзержинского водоканала. Оптимальное время отстаивания, необходимое и достаточное для поддержания высокого качества оборотной воды, составляет 1 час, а оптимальная концентрация полиакриламида – от 5 до 6 мг/дм<sup>3</sup>. При данных параметрах поддерживается концентрация гидроокиси железа возможной к последующему удалению или разбавлению дозе и обеспечивается минимальное время контакта, что увеличивает общее ко-

личество промывок технологического оборудования и, как следствие, качество очистки основного потока воды. Результаты исследования могут быть применены при проектировании станций водоподготовки с использованием флокулянтов для снижения содержания гидроокиси железа не только в оборотной, но и питьевой воде.

### Список литературы

1. ГОСТ 4011-72 Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 7 с.
2. ГОСТ 3351-74. Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 7 с.
3. ГОСТ 19355-85 Вода питьевая. Методы определения полиакриламида. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 9 с.
4. Дегремон. Технический справочник по обработке воды. В 2. т: пер. с франц.; под ред. М.И. Алексеев. – 2-е изд. – СПб.: Новый журнал, 2007. – 1696 с.
5. Постоянный технологический регламент Тепловского водозабора, – Дзержинск, 2005. – 48 с.
6. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2002. – 84 с.
7. Свод правил СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Минрегион России, 2013. – 144 с.

### References

1. GOST 4011-72 Voda pitevaja. Metody izmerenija massovoj koncentracii obshhego zhele-za. M.: Izd-vo standartov, 1972. 7 p.
2. GOST 3351-74. Voda pitevaja. Metody opredelenija vkusa, zapaha, cvetnosti i mutnosti. M.: Izd-vo standartov, 1974. 7 p.
3. GOST 19355-85 Voda pitevaja. Metody opredelenija poliakrilamida. M.: Izd-vo standartov, 1985. 9 p.
4. Degremont. Tehnicheskij spravochnik po obrabotke vody. V 2. t: per. s franc.; pod red. M.I. Alekseev. 2-e izd. SPb.: Novyj zhurnal, 2007. 1696 p.
5. Postojannyj tehnologicheskij reglament Teplovskogo vodozabora, Dzerzhinsk, 2005. 48 p.
6. SanPiN 2.1.4.1074-01 Pitevaja voda. Gigienicheskie trebovanija k kachestvu vody centra-lizovannyh sistem pitevogo vodosnabzhenija. Kontrol kachestva. Gigienicheskie trebovanija k obespecheniju bezopasnosti sistem gorjachego vodosnabzhenija. M.: Informacionno-izdatelskij centr Minzdrava Rossii, 2002. 84 p.
7. Svod pravil SP 31.13330.2012. Vodostsnabzhenie. Naruzhnye seti i sooruzhenija. M.: Minregion Rossii, 2013. 144 p.