

При проведении исследований по обработке модельного раствора с концентрацией фосфатов 10 мг/дм<sup>3</sup> реагентом Аква Аурат 30 установлено:

– с увеличением дозы коагулянта (увеличение значения  $\beta$ -фактора) достигается эффект очистки от 68 до 91,5 %;

– максимальный эффект удаления фосфатов находится при рН в пределах 6,5–7,5;

– эффективность дефосфатации с ростом температуры увеличивается, максимальный эффект имеет место при температуре 20 °С.

Для установления оптимальных значений параметров реагентной дефосфатации необходимо разработать математическую модель данного процесса, которая позволит подобрать оптимальную дозу коагулянта в зависимости от отношения концентрации реагента по металлу к исходной концентрации фосфора ( $\beta$ -фактор) при различных значениях водородного показателя рН и температуры обрабатываемой среды.

#### **Список цитированных источников**

1. Мешенгиссер, Ю. М. Ретехнологизация сооружений очистки сточных вод / Ю. М. Мешенгиссер. – М. : ООО «Издательский дом «Вокруг цвета», 2012. – 211 с.

2. Цап, К. В. Повышение эффективности и надежности биологической очистки сточных вод на действующих аэротенках / К. В. Цап, А. И. Морозова // Устойчивое развитие: региональные аспекты: сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции молодых ученых, Брест, 22–23 апреля 2021 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; под ред. А. А. Волчека и [др.]. – Брест : БрГТУ, 2021. – 249 с.

3. Каперейко, Д. В. Анализ эффективности работы городских канализационных очистных сооружений / Д. В. Каперейко, А. А. Хведченя, Я. В. Полешук // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : сб. науч. тр. по материалам IX Всероссийской (с междунар. участием) науч. техн. конф. / сост. В. В. Корунчикова, Л. С. Новопольцева; под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар : КубГАУ, 2022.

4. Яловая, Н. П. Анализ и прогноз расходов и нагрузок сточных вод, поступающих на очистные сооружения канализации города Бреста / Н. П. Яловая, В. А. Бурко // Перспективные методы очистки природных и сточных вод : сборник статей рег. научно-технической конференции, Брест, 26 сент. 2019 г. / редкол.: С. Г. Белов [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2019. – С. 74–76.

5. Морозова, А. И. Математическое описание процесса реагентного удаления фосфора на действующих очистных сооружениях / А. И. Морозова, И. В. Зубрицкая // Сборник тезисов научной студенческой конференции «Неделя науки – 2021» / УО «Брестский государственный технический университет»; редкол. : Н. Н. Шалобыта [и др.]. – Брест : Издательство БрГТУ, 2021. – С. 68–69.

УДК 628.161.2, УДК 628.147.2

*Хведченя А. А., Мацкович О. А.*

*Научные руководители: к. т. н. Андreyuk С. В.;*

*ст. преподаватель Наумчик Г. О.*

## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД**

### **Введение**

Во многих регионах РБ содержание железа в воде для большинства источников водоснабжения превышает допустимое рекомендациями СанПиН 2.1.4.1074-01. Ограничение на содержание железа в питьевой воде имеет ПДК, равным

0,3 мг/л. Обезжелезивание является одной из самых насущных задач водоподготовки. Содержание железа в разных источниках водоснабжения значительно отличается как по форме соединений железа, так и по его суммарной концентрации.

В поверхностных водах железо обычно встречается в виде органических и минеральных комплексных соединений, либо коллоидных или тонкодисперсных взвесей. Преобладающей формой существования железа в подземных водах является бикарбонат железа (II), который устойчив только при наличии значительных количеств уголекислоты и отсутствии растворенного кислорода. Наряду с этим железо встречается в виде сульфида, карбоната и сульфата железа (II), комплексных соединений с гуматами и фульвокислотами. Наряду с железом в подземной воде могут присутствовать марганец и сероводород, которые также необходимо удалять. Гидроксид железа может присутствовать в воде в коллоидном состоянии, которое является одной из основных форм существования. Железо может быть переведено из этого комплекса в осадок двумя путями: естественным – при участии бактерий, разрушающих органическое вещество, и искусственным – в том числе с помощью сильных окислителей (таких как озон, хлор), уничтожающих защитные коллоиды.

Целью выполненных научных исследований стало интенсификация работы и реконструкция технологических схем обезжелезивания водоочистных сооружений а-г. Медно и на погранпереходе «Домачево». Для достижения поставленной цели ставились следующие задачи исследования:

- 1) обследования существующих коммуникаций водопроводной сети и сооружений обезжелезивания а-г. Медно и погранперехода «Домачево»;
- 2) проведение экспериментальных исследований по пробному обезжелезиванию воды с целью реконструкции технологии обезжелезивания воды и разработки соответствующих рекомендаций.

#### **Существующее состояние системы водоснабжения агрогородка Медно**

Существующая система водоснабжения агрогородка Медно состоит из двух скважин, водонапорной башни и водопроводной сети. Удаления избыточного количества железа из воды и обеззараживания воды нет. Вода от скважины подается в водонапорную башню. Система автоматики включает скважинный насос при минимальном уровне воды в водонапорной башне и выключает при максимальном уровне воды в башне. Производительность каждой скважины составляет  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Одна скважина рабочая, другая резервная. Среднесуточное водопотребление агрогородка Медно составляет —  $120 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Объем бака башни  $45 \text{ м}^3$ , высота ствола башни 24 м. Расход воды, подаваемой на станцию обезжелезивания, равен расходу воды скважинного насоса и составляет  $10,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

#### **Пробное обезжелезивание**

С целью разработки рекомендаций по проектированию станции обезжелезивания было выполнено пробное обезжелезивание воды, подаваемой из существующих скважин.

Для отбора пробы конец шланга опускался на дно пятилитровой емкости и открылся кран. В результате этого наполнение емкости осуществлялось без аэрации, т. к. налив происходил «под уровень». Наполнение осуществлялось до

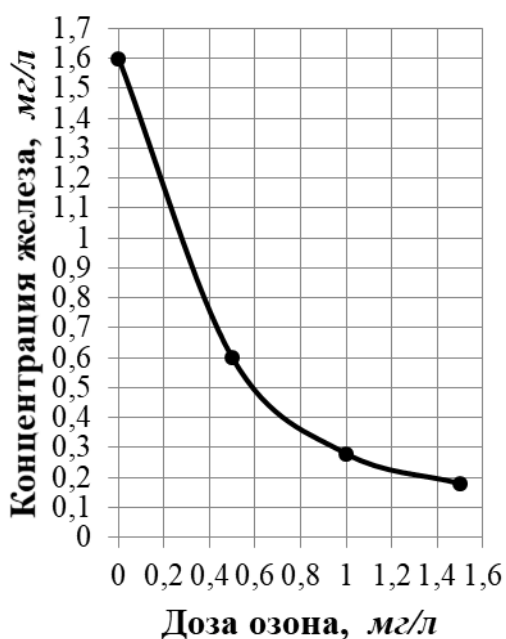
перелива воды из емкости, после этого извлекался шланг и емкость закрывалась пробкой так, чтобы под пробкой не было пузырьков воздуха. Таким образом осуществлялся отбор пробы воды без аэрации. В лаборатории анализ осуществлялся методом, использующим в качестве основного реагента роданид калия. Для выполнения анализа был построен калибровочный график зависимости концентрации железа от оптической плотности на длине волны 500 нм.

В результате анализа исходной воды было обнаружено, что концентрация железа в ней составляет — 1,6 мг/л. Это более чем в 5 раз превышает норму. Далее брали пробу воды и проводили аэрацию, затем несколько минут выдерживали для укрупнения хлопьев железа, образовавшихся в результате реакции окисления двухвалентного железа кислородом воздуха и отфильтровывали на фильтре, имеющем диаметр пор около 5 мкм (синяя лента). Затем определяли концентрацию железа в отфильтрованной пробе. В результате анализа было установлено, что концентрация железа в аэрированной и отфильтрованной пробе составляет 0,45 мг/л, что превышает нормативное значение (0,3 мг/л). Это свидетельствует о том, что часть железа содержится в виде железоорганических комплексов, которые кислород воздуха не окисляет. Однако в реальных фильтрах в толще загрузки живут железобактерии, которые могут разрушать железо-органические комплексы, поэтому обезжелезивание на реальных фильтрах может быть лучше, чем при механическом фильтровании через бумажный фильтр в лабораторных условиях. Следует отметить, что при промывке реального фильтра происходит частичное вымывание железобактерий из толщи загрузки, поэтому сразу после промывки фильтра концентрация железа в воде может не соответствовать нормативному значению. Далее в процессе восстановления пленки железобактерий при работе фильтров после их промывки концентрация железа в фильтрате может вновь достичь нормативного значения. Для более устойчивой работы фильтра обезжелезивания при использовании кислорода воздуха необходимо чтобы скорость фильтрования не превышала 7...8 м/ч.

При проектировании станции обезжелезивания необходимо обеспечить качественное введение кислорода в обрабатываемую воду, которое должно производиться с помощью смесителя, обеспечивающего эффективное смешение воздуха с обрабатываемой водой. Эффективное смешение подаваемого воздуха с обрабатываемой водой позволяет достичь хорошего растворения кислорода воздуха в воде, что необходимо для осуществления реакции, в результате которой железо, находящееся в воде в растворенном виде в двухвалентной форме, окислится кислородом воздуха до трехвалентной формы, которая нерастворима в воде и выпадает в осадок, который может быть задержан в толще загрузки скорых фильтров с зернистой загрузкой. Узел введения воздуха в обрабатываемую воду должен позволять получать мелкие пузыри, распределенные по всему объему обрабатываемой жидкости. В результате этого будет осуществляться эффективное растворение кислорода воздуха в обрабатываемой воде и протекать реакция окисления железа, находящегося в воде в двухвалентной форме. В результате данной реакции будет образовываться гидроксид железа (III) по уравнению реакции  $4\text{Fe}^{2+} + 3\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow$ , который будет задерживаться в толще зернистой загрузки скорых фильтров.

Поскольку в результате исследований выяснилось, что кислород воздуха не может окислить все железо, находящееся в воде, было выполнено исследование удаления железа с использованием озона в качестве дополнительного окислителя.

Дозирование озона в воду осуществлялось за счет контроля расхода озонированного газа с помощью газосчетчика и концентрации озона в озонированном газе с помощью озономера Медозон 254/5. Далее озонированную пробу отфильтровали на фильтре, имеющем диаметр пор около 5 мкм. Затем определили концентрацию железа в отфильтрованной пробе. На основе выполненных исследований был построен график зависимости остаточной концентрации железа в обрабатываемой воде от дозы озона, представленный на рисунке 1.



*Рисунок 1 – Зависимость остаточной концентрации железа общего в обрабатываемой воде от дозы озона*

Водоподготовка на данной станции сводится к удалению из воды избыточного содержания железа. Подача воды на станцию осуществляется посредством двух скважинных насоса ЭЦВ 6-6,5-80. Подача воздуха осуществляется в вертикально расположенный трубопровод, подающий воду из скважин на фильтры обезжелезивания. Подача воздуха осуществляется с помощью компрессора. Задержание гидроксида железа, образующегося при окислении двухвалентного железа, содержащегося в воде, осуществляется в скорых напорных фильтрах. На станции обезжелезивания в настоящее время находится 3 скорых напорных фильтра, имеющих суммарную производительность 10 м<sup>3</sup>/ч. Для регенерации каталитической загрузки используется раствор перманганата калия.

По результатам обследования оборудования станции водоподготовки можно сделать вывод, что система введения воздуха в исходную воду не обеспечивает его эффективного смешения с обрабатываемой водой: образуются очень крупные пузыри, обладающие малой площадью контакта с водой и движущиеся вдоль стенки трубы, не перемешиваясь с основным объемом обрабатываемой

Как видно из рисунка, озон позволяет гарантированно достичь нормативного значения концентрации железа в обрабатываемой воде, поскольку озон является более сильным окислителем, чем кислород воздуха. Озон гарантированно окисляет железоорганические комплексы.

#### **Существующее состояние оборудования станции водоподготовки на погранпереходе «Домачево»**

Существующая система водоподготовки, установленная на погранпереходе «Домачево», находится в нерабочем состоянии и не эксплуатируется уже более пяти лет. Проектная производительность существующей станции 10 м<sup>3</sup>/ч.

воды. Однако именно эффективное смешение подаваемого воздуха с обрабатываемой водой, позволяющее достичь хорошего растворения кислорода воздуха в воде, необходимо для осуществления реакции, в результате которой железо, находящееся в воде в растворенном виде в двухвалентной форме, окислится кислородом воздуха до трехвалентной формы, которая нерастворима в воде и выпадает в осадок, который может быть задержан в толще загрузки скорых фильтров с зернистой загрузкой. Поэтому основной причиной неудовлетворительной работы станции обезжелезивания может являться неправильная конструкция узла введения воздуха в обрабатываемую воду. Узел введения воздуха в обрабатываемую воду должен позволять получать мелкие пузыри, распределенные по всему объему обрабатываемой жидкости. В результате этого будет осуществляться эффективное растворение кислорода воздуха и протекать реакция окисления железа, находящегося в воде в двухвалентной форме. В результате данной реакции будет образовываться гидроксид железа (III), который будет задерживаться в толще зернистой загрузки скорых фильтров.

#### **Рекомендации по интенсификации работы и реконструкции технологических схем обезжелезивания подземных вод а-г. Медно и на погранпереходе «Домачево»**

1. Для обеспечения необходимых условий, способствующих удалению железа, содержащегося в виде железоорганических комплексов, и более устойчивой работы фильтра обезжелезивания при использовании кислорода воздуха необходимо поддерживать скорость фильтрования не более 7...8 м/ч. При проектировании и эксплуатации станции обезжелезивания требуется обеспечить качественное введение кислорода в обрабатываемую воду, которое должно производиться с помощью смесителя, обеспечивающего эффективное смешение воздуха с обрабатываемой водой. Узел введения воздуха в обрабатываемую воду должен обеспечивать получение мелких и равномерно распределенных по объему обрабатываемой воды пузырьков.

2. В качестве альтернативной технологии обезжелезивания подземных вод а-г. Медно предлагается использовать озон дополнительно к кислороду воздуха. Озон гарантированно окисляет железоорганические комплексы. Кроме этого, озон способствует обеззараживанию обрабатываемой воды.

3. Разработана альтернативная технология обезжелезивания на погранпереходе «Домачево». На первом этапе следует произвести струйную аэрацию в баке-отстойнике, где происходит реакция окисления двухвалентного железа до трехвалентного, а также укрупнение образовавшихся нерастворимых частиц гидроксида железа и частичное осаждение гидроксида железа на дно отстойника. Далее осветленную в отстойнике воду с помощью насоса следует подавать в фильтры, оборудованные полипропиленовыми картриджами, имеющими размер пор 5 мкм, которые позволят гарантированно снизить содержание загрязняющих веществ до нормативных значений. Кроме того, данные картриджи будут долговечнее за счет того, что основное количество железа, содержащегося в воде, будет задерживаться в баке-отстойнике. Степень кальматации картриджей контролируется с помощью манометров. Закальматированные картриджи необходимо будет заменять на новые. Это позволит обходиться без корпусов напорных фильтров и без сложной дорогостоящей автоматики, необходимой для осуществления автоматической промывки фильтров.

## **Заключение**

Наличие железа в природных водах в концентрациях, превышающих предельно допустимые, является дополнительным фактором, определяющим состав технологической схемы водоподготовки. Традиционные схемы обезжелезивания и деманганации методом аэрации с фильтрованием на песчаных фильтрах не всегда позволяют достигнуть требуемый эффект очистки воды. Наряду с недостатками эксплуатационного характера технологические схемы обезжелезивания и деманганации требуют разработки мероприятий по интенсификации процессов водоподготовки. Актуальными являются исследования по интенсификации работы и реконструкции технологических схем водоподготовки централизованных и нецентрализованных систем водоснабжения с применением окислительно-сорбционных технологий очистки воды.

В результате выполненных научных исследований было обследовано и проанализировано существующее состояние коммуникаций водопроводной сети и сооружений водоподготовки а-г. Медно и погранперехода «Домачево»; проведены экспериментальные исследования по пробному обезжелезиванию; разработаны рекомендации с целью реконструкции технологической схемы обезжелезивания воды и интенсификации работы соответствующих водоочистных сооружений.

## **Список цитированных источников**

1. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь: статистический сборник / под общ. ред. И. В. Медведевой. – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2020. – 202 с.
2. Житенев, Б. Н. Технологические схемы обесцвечивания и обезжелезивания поверхностных вод Белорусского Полесья для использования в целях технического водоснабжения / Б. Н. Житенев, С. В. Андреюк // Сборник материалов Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 18–20 апреля 2012 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2012. – С. 101–103.
3. Наумчик, Г. О. Разработка метода точного дозирования высоких удельных доз озона при обработке воды / Г. О. Наумчик, С. Г. Белов // Вестник БрГТУ. – 2011. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 73–81.

УДК 696.1

*Адамов И. А.*

*Научный руководитель: ст. преподаватель Таратенкова М. А.*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НАРУЖНЫХ СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ**

В настоящее время все большую популярность приобретают технологии информационного моделирования строительных объектов. Информационное моделирование здания – это подход к возведению, оснащению, обеспечению эксплуатации и ремонту здания, который предполагает сбор и комплексную обработку в процессе проектирования всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации о здании со всеми её