

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Строительный институт
Кафедра водоснабжения и водоотведения**

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой ВиВ

_____ *Сидоренко О.В.*

« ____ » _____ 2020 г.

**Разработка технологической схемы очистки подземной воды
п. Новотарманский**

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к магистерской диссертации**

НОРМОКОНТРОЛЕР:

доцент, к.т.н.

_____ *Иванюшин Ю. А.*

РУКОВОДИТЕЛЬ:

зав. кафедрой, к.т.н.

_____ *Сидоренко О.В.*

РАЗРАБОТЧИК:

обучающийся группы ВиВмп-18-1

_____ *Заривная А.Ю.*

Магистерская диссертация

защищена с оценкой _____

Секретарь ГЭК _____ *Белова Л.В.*

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Строительный институт
Кафедра водоснабжения и водоотведения

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой ВиВ

_____ Сидоренко О.В.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу
(магистерскую диссертацию)

Ф.И.О. обучающегося *Заривная А.Ю.*

Ф.И.О. руководителя ВКР *Сидоренко О.В.*

Тема ВКР *Разработка технологической схемы очистки подземной воды п. Новотарманский*

утверждена приказом по Строительному институту от « 26 » 09 2019 г.
№ 03-3070/В-17

Срок предоставления завершённой ВКР на кафедру « 27 » 06 2020 г.

Исходные данные к ВКР подземная вода п. Новотарманский

Содержание пояснительной записки

Наименование раздела (главы)	% от объема ВКР	Дата выполнения
Актуальные вопросы очистки подземной воды	40,84	11.07.2019
Результаты исследований	16,90	23.12.2019
Практическое применение результатов исследования	30,95	29.04.2020
Экономическое обоснование	11,31	16.05.2020

Всего листов в графической части ВКР (при наличии графической части)

2

Дата выдачи задания

25.09.2018

(дата)

подпись руководителя

Задание принял к исполнению

25.09.2018

(дата)

подпись обучающегося

АННОТАЦИЯ

Ключевые слова: Тюменский район, подземные воды, водоочистка, питьевое водоснабжение, обезжелезивание, деманганация, растворенная углекислота, барботажный дегазатор, «Бризант», гипохлорит натрия.

Рассмотрены наиболее эффективные методы обезжелезивания и деманганации воды. Проанализированы результаты использования барботажа с целью снижения концентрации растворенной углекислоты. Приведено сравнение применения гипохлорита натрия и перманганата калия в качестве реагента-окислителя, а также сопоставлено использование песка и фильтрующей загрузки «Бризант» для более эффективного снижения содержания марганца в воде. Разработана технологическая схема очистки подземной воды п.Новотарманский.

ABSTRACT

Keyword: Tyumen region, underground water, water treatment, drinking water supply, de-Ironing, demanganation, dissolved carbon dioxide, bubbling degasser, "Breezant", sodium hypochlorite.

The most effective methods of de-Ironing and demanganation of water are considered. The results of using bubbling to reduce the concentration of dissolved carbon dioxide are analyzed. A comparison of the use of sodium hypochlorite and potassium permanganate as an oxidizing reagent is made, and the use of sand and a "Brisant" filter load is compared for a more effective reduction of the manganese content in water. The technological scheme of underground water treatment in Novotarmansky settlement has been developed.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему: «Разработка технологической схемы очистки подземной воды п. Новотарманский».

Объект исследования: станция водоподготовки пос. Новотарманский Тюменского района.

Предмет исследования: технология очистки подземных вод, способы улучшения химических показателей питьевой воды.

Работа содержит введение, 4 главы, заключение и приложения.

В введении содержится основная цель работы, сформулированы задачи исследования, определена практическая значимость работы.

Первая глава посвящена изучению особенностей состава подземных вод Тюменской области, теоретическим основам очистки питьевой воды от железа и марганца.

Во второй главе описывается проведенный в два этапа эксперимент. На первом этапе изучалось снижение концентрации растворенной углекислоты с использованием барботирования. На втором этапе изучалось несколько схем обезжелезивания и деманганации воды, которые включали в себя разные реагенты (гипохлорит натрия и перманганат калия) и загрузки для фильтров (песок и фильтрующий материал «Бризант»). Проводился выбор наиболее эффективного.

В третьей главе по результатам второй главы была подобрана и рассчитана технологическая схема очистки подземной воды.

В четвертой главе проводилось экономическое обоснование разработанного проекта.

В заключении представлены основные тезисы и выводы по написанной дипломной работе.

В работе – 90 стр., содержащих 13 рис., 13 таб., 49 библиографических источника, 1 приложение.

SUMMARY

The master's thesis "Development of technological scheme for underground water treatment in Novotarmansky settlement".

Object of research: water treatment station of the settlement. Novotarmansky of the Tyumen district.

Subject of research: technology of underground water treatment, ways to improve the chemical indicators of drinking water.

The work contains an introduction, 4 chapters, conclusion, and appendices.

The introduction contains the main goal of the work, formulated the research objectives, and determined the practical significance of the work.

The first chapter is devoted to the study of the characteristics of the composition of underground water in the Tyumen region, the theoretical basis for cleaning drinking water from iron and manganese.

The second chapter describes a two-stage experiment. At the first stage, we studied the reduction of the concentration of dissolved carbon dioxide by bubbling. At the second stage, we studied several schemes for de-Ironing and demanganation of water using different reagents (sodium hypochlorite and potassium permanganate) and filter infilling (sand and filter material "Breezant"). The most effective method was selected.

In the third chapter, based on the results of the second chapter, a technological scheme for underground water treatment was selected and calculated.

In the fourth chapter, the economic justification of the developed project was carried out.

In conclusion, the main theses and conclusions on the written thesis are presented.

In the work-90 pages containing 18 figures, 13 tables, 49 bibliographic sources, 1 appendices.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД.....	11
1.1 Особенности и состав подземных вод Тюменского района	11
1.2 Железо и марганец, как основные загрязнители питьевой воды.....	15
1.3 Теоретические основы очистки питьевой воды от железа и марганца	21
1.3.1 Безреагентные методы очистки питьевой воды	22
1.3.2 Реагентные методы очистки питьевой воды.....	29
Выводы по главе.....	40
2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	41
2.1 Исследования по снижению содержания растворенной углекислоты	41
2.2 Исследования по удалению железа и марганца из подземной воды	45
Выводы по главе.....	53
3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ .	54
3.1 Выбор и обоснование технологической схемы станции очистки воды п. Новотарманский	54
3.2 Определение производительности водоочистной станции.....	57
3.3 Расчет барботажного дегазатора с гравийной загрузкой	57
3.4 Реагентное хозяйство	62
3.5 Расчет контактной камеры	63
3.6 Расчет напорных фильтров первой ступени	64
3.7 Напорные фильтры второй ступени	68
3.8 Обеззараживание воды.....	71
3.9 Обработка промывных вод	72
3.10 Песковое хозяйство	73
3.11 Резервуары чистой воды	75
Выводы по главе.....	76
4. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	83
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	84

ВВЕДЕНИЕ

На территории Тюменской области имеется большой запас пресных подземных вод. Широкий спектр разнообразия природно-климатических и гидрогеологических условий оказывает влияние на формирование химического состава подземных вод и возможности их использования как источника водоснабжения.

Учитывая сложный химический состав подземной воды для возможности подачи ее на хозяйственно-питьевые нужды в ряде населенных пунктов предусмотрены водоочистные сооружения, технологическая схема которых включает такие этапы, как предварительное окисление, коагуляция, двух или трехступенчатое фильтрование в напорном режиме и обеззараживание.

Как показал опыт эксплуатации данных ВОС, принятые технологические схемы не всегда обоснованы, перенасыщены различными реагентами, не рассчитаны на удаление растворенных газов и не обеспечивают требуемые СанПиН показатели качества воды на выходе.

Необходимость повышения качества подаваемой воды в малых населённых пунктах на данный момент является одной из первостепенных задач, решаемых в Российской Федерации. Проблема развития водоснабжения тесно связана с решением вопроса по улучшению качества жизни и условий труда людей. Обеспечение населения чистой водой имеет большое значение, так как предотвращает возникновение различных заболеваний: кишечных инфекций, гепатита и болезней желудочно-кишечного тракта, усиления мутагенных факторов, а так же распространению эпидемий.

Исследование информационных ресурсов, связанных с данной проблемой, позволили обнаружить, что кризисная ситуация в области питьевого водоснабжения сложилась из-за:

1. недостаточности мероприятий по охране источников питьевого водоснабжения;

2. неудовлетворительного технического состояния систем водоснабжения и водоотведения;
3. неустойчивого финансового состояния организаций коммунального комплекса.

Совокупность этих факторов привела в конечном итоге к проблеме, при которой недостаточное и не всегда правильное применение имеющихся ресурсов, приводит к снижению качества подаваемой питьевой воды жителям малых населенных пунктов.

Объективная потребность и необходимость решения имеющейся проблемы определяет актуальность темы диплома, как в научном, так и в практическом смысле.

Цель работы: исследование качества подземной воды, выбор и расчетное обоснование технологической схемы очистки воды, обеспечивающей качество воды п.Новотарманский в соответствии с требованиями СанПиН.

Объектом исследования является станция водоподготовки п. Новотарманский Тюменского района.

Предмет исследования: технология очистки подземных вод, способы улучшения химических показателей питьевой воды.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

1. Определить показатели качества подземной воды, выявить загрязняющие компоненты, превышающие ПДК;
2. Рассмотреть теоретические основы водоподготовки;
3. Провести анализ основных направлений способов очистки подземной воды (обезжелезивание, деманганация и др.);
4. Проанализировать работу существующей станции обезжелезивания п.Новотарманский;
5. Провести лабораторные исследования по выбору способа очистки подземной воды п.Новотарманский до требований СанПиН;

6. Провести расчетное и технико-экономическое обоснование предлагаемой технологической схемы очистки воды.

Основа диссертационной работы является экспериментальная и теоретическая. Научные работы российских и иностранных ученых по водоподготовке питьевой воды послужили основой диссертационного исследования. В работе используются аналитический, практический, статистический **методы исследования**.

Опытно-экспериментальное исследование проводилось на базе ФГБОУ ВО "Тюменский индустриальный университет". Исходная вода была взята в п. Новотарманский, скважина №3. На данный момент в п.Новотарманский наблюдается увеличение уровня железа, марганца. Имеющаяся станция ВОС не справляется с очисткой, так как была запроектирована на значения, значительно ниже нынешних показателей.

Практическая значимость работы:

- результат экспериментальных исследований позволил определить необходимые и достаточные характеристики для работы дегазатора барботажного типа, оптимальную загрузку для обезжелезивания и деманганации подземных вод Тюменского района;
- итогом проведенных исследований стала разработанная технологически эффективная схема водоочистки. Использование предложенных мероприятий в практической деятельности станций водоподготовки позволит повысить качество подаваемой воды жителям малых населенных пунктов.

На защиту выносятся: результаты эксперимента и технология очистки подземных вод Тюменского района для малых населенных пунктов.

1 АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

1.1 Особенности и состав подземных вод Тюменского района

Одним из самых крупных среди артезианских бассейнов является Западно-Сибирский артезианский бассейн. Он расположен в границах Западно-Сибирской равнины, площадь составляет около 3,5 млн. кв. км, а мощность осадочного чехла в его центральной части достигает 5-7 км. Мощной толщей песчано-глинистых отложений бассейн разделен на верхний и нижний гидрогеологические этажи.

Подземные воды нижнего этажа образованы в условиях замедленного и застойного режима. Эта часть разреза состоит из зон напорных и избыточно-напорных восходящих вод. Они отличаются высокой температурой и минерализацией. Поэтому с практической точки зрения в основном используются в лечебных, промышленных и технологических целях. Глинистая толща отложений (до 500 – 750 м) отделяет нижний гидродинамический этаж от верхнего. Она надежно изолирует вышележащие водоносные горизонты от воздействия минерализованных высокотемпературных вод. [2]

Повышенная заболоченность Западно-Сибирской низменности обусловлена достаточно плоским рельефом местности и замедленным стоком рек, значительным превышением осадков над их испарением в северных и центральных районах региона. Условия питания подземных вод predetermined огромными территориями региона, которые в основном заняты болотами, особенно в таежной и тундровых зонах. Болота являются передаточным звеном атмосферных осадков к водоносным горизонтам, первоначально к верхнему водоносному комплексу, который характеризуется интенсивным водообменом с реками, озерами и атмосферой. Питание горизонта происходит за счет инфильтрации талых и дождевых вод, атмосферных осадков и перетекания воды из выше- и нижележащих водоносных горизонтов через относительные водоупоры и "окна" в них. Путем нисходящей фильтрации в нижезалегающие водоносные пласты

осуществляется разгрузка горизонта. Верхний гидрогеологический этаж отличается развитыми пресными и слабосоленоватыми водами, содержащими зачастую растворенные газы азотного и метан-азотного происхождения. Западно-Сибирский артезианский бассейн, в пределах верхнего гидрогеологического комплекса, является весьма водонасыщенной гидрогеологической структурой, позволяющей, при определенных условиях, использовать подземные воды для организации хозяйственно-питьевого водоснабжения в регионе, хотя, и представлен он самостоятельными бассейнами, а его масштабы говорят об огромнейших, постоянно восполняемых запасах воды, что позволяет в течении длительного времени обеспечивать население региона необходимым количеством воды. Наиболее ценными являются воды, расположенные в средней части региона, которые залегают на глубине до 60-120 м в долинах рек и до 150 м на междуречных пространствах.

В основном, для систем хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов Западно-Сибирского региона, используются бактериально чистые, маломинерализованные подземные воды. Несмотря на обилие водных ресурсов в регионе, одной из наиболее острых проблем является обеспечение населения качественной питьевой водой, а для сельских и приближенных к ним населенных мест эта проблема стоит особенно остро. Основными проблемами водного хозяйства в настоящее время являются:

1. Образовавшаяся в регионе за последние десятилетия ситуация, когда поверхностные источники водоснабжения активно загрязнялись сбрасываемыми без надлежащей очистки сточными водами от населенных пунктов и промышленных предприятий, а в последнее десятилетие – когда финансовая обстановка не позволяла и не позволяет в настоящее время надлежаще решать вопросы, связанные с очисткой сбрасываемых сточных вод, несмотря на штрафные санкции природоохранных органов, неудовлетворительное состояние водопроводных сетей в значительной мере

снижает возможность использования вод поверхностных источников для целей водоснабжения;

2. Нерациональное использование водных ресурсов, высокое удельное водопотребление в жилом и коммунальном секторе городов и поселений России;

3. В связи с ухудшением технического состояния защитных сооружений возрастает материальный и экологический ущерб от аварий в системах водоснабжения и водоотведения;

4. Смещение в худшую сторону технического состояния основных производственных фондов предприятий по водоснабжению, прежде всего в малых городах и сельских поселениях, где живет в пределах пятидесяти процентов россиян. Невысокий уровень инвестиций не позволяет даже простого воспроизводства основного капитала;

В результате эти проблемы в области водоснабжения и водоотведения привели к тому, что большое количество населения получает питьевую воду не соответствующего качества, установленного нормативами по безопасности и безвредности, и не подается в требуемом количестве.

Для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов в регионе зачастую используются подземные воды верхнего гидрогеологического комплекса Западно-Сибирского артезианского бассейна. Несмотря на то, что подземная вода в основном не соответствует требованиям норм, ее использование для целей водоснабжения населенных пунктов оправдано. Во-первых, с экономической точки зрения – по сравнению с поверхностными источниками, стоимость затрат на эксплуатацию значительно ниже, во-вторых, значительно выше защищенность подземных источников от внешнего антропогенного воздействия, а это дает определенные гарантии качества используемых для водоснабжения вод на перспективу.

Формирование качества подземных вод региона происходит под влиянием как естественных, так и антропогенных факторов. Наибольшее

отрицательное влияние на качественный состав подземных вод чаще всего оказывают искусственные факторы, в первую очередь, на работе водоочистных станций, а также систем водоснабжения в целом. Поскольку, даже в естественных условиях залегания, подземные воды содержат некоторые повышенные сверх нормативов количества загрязняющих веществ, с учетом антропогенного загрязнения, подземные воды региона, несмотря на их огромные запасы, можно отнести лишь к разряду условно чистых.

Основными показателями, которые ухудшают качество подземной воды, появившиеся в ней естественным путем или благодаря антропогенному воздействию, являются: Fe (как правило превышают нормативную величину в 5-50 раз), Mn, NH₄⁺, фенолы, нефтепродукты, жесткость, растворенные газы, цветность, мутность и запах.

1.2 Железо и марганец, как основные загрязнители питьевой воды

Практически повсеместно под водоочисткой в первую очередь понимают очистку питьевой воды от марганца и железа. «Уровень очистки питьевой воды определяется требованиями к ее качеству, которые регламентируют в разных странах собственные национальные стандарты» [3]. В связи с социально-экономическими и географическими особенностями требования эти по ряду показателей различаются.

Одним из самых распространенных элементов загрязнения подземной воды является железо в его различных формах и количествах, в то время как другие показатели, которые, несомненно, в полной мере следует учитывать, вносят лишь коррективы, и не редко существенные, в технологии очистки воды. Основными загрязнителями, на которые стоит обратить внимание, являются метан, фенолы, углекислота, марганец, сероводород и другие.

Железо считается одним из наиболее распространенных в природе элементов, который содержится во многих глинах, вулканических и осадочных карбонатных породах.

Железо распространено в подземных водах и чаще всего встречаются в форме двух и трехвалентных ионов, органических и неорганических коллоидных соединений. На территории Западной Сибири концентрация железа в подземных водах зависит от его миграционных свойств, которые весьма различны.

Одной из форм миграции железа в подземных водах являются весьма прочные растворимые железосодержащие комплексы, они образованы в результате наличия в воде свободной углекислоты, фосфатов, что является характерной особенностью нефтегазоносных районов региона. Процессы комплексообразования широко распространены в условиях влажного умеренного климата с развитой растительностью и почвенным покровом, когда подземные воды имеют гидравлическую связь с поверхностными водами торфяников, болот и озер. В образовании металлоорганических комплексов особая роль принадлежит почвенным кислотам – гуминовым и

фульвокислотам, являющимся продуктами распада и обмена растений, животных и микроорганизмов. Эти процессы являются весьма характерными для заболоченных территорий Западно-Сибирского региона, расположенных в поясе умеренного климата.

Железо существует в природе в различных формах, а также в виде различных сложных химических соединений.

I. Элементарное железо (Fe^0). Оно безусловно нерастворимо в воде. В присутствии влаги и кислорода окисляется до трехвалентного, образуя нерастворимый оксид Fe_2O_3 .

II. Двухвалентное железо (Fe^{2+}). Чаще всего находится в воде в растворенном состоянии, хотя возможны случаи (при определенных и редко встречающихся в природной воде уровнях pH), когда гидроксид железа $\text{Fe}(\text{OH})_2$ способен выпадать в осадок.

III. Трехвалентное железо (Fe^{3+}). Гидроксид железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ нерастворим в воде (кроме случая очень низкого pH). Хлорид FeCl_3 и сульфат $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ трехвалентного железа – растворимы и могут образовываться даже в слабощелочных водах.

IV. Органическое железо. Данный вид железа встречается в воде в различных формах и в составе всевозможных комплексов. Органические соединения железа, как правило, растворимы или же имеют коллоидную структуру и довольно непросто поддаются удалению.

Все перечисленные выше виды железа по-разному ведут «ведут» себя в воде. Так, в случае если наливаемая в сосуд вода чистая и прозрачная, но через некоторое время в процессе отстаивания образуется красно-бурый осадок, то это признак присутствия в воде двухвалентного железа. В случае если вода уже из крана идет желтовато-бурая и образуется осадок при отстаивании – это трехвалентное железо. Коллоидное железо окрашивает воду, но не образует осадка. Бактериальное железо проявляет себя радужной пленкой на поверхности воды и желеобразной массой, накапливаемой внутри труб.

Содержание железа в воде до 1-2 мг/дм³ значительно ухудшают органолептические свойства, придавая воде металлический вкус и красят изделия.

Железо является одним из незаменимых элементов для живых организмов, играет весомую роль в кроветворении, в организме взрослого человека находится в пределах 3-4 грамм железа, из них 73% входят в состав гемоглобина.

Железо выполняет функции:

1. Является одним из микроэлементов, который ускоряет процессы обмена кислородом, обеспечивая дыхание тканей.

2. Обеспечивает надлежащий уровень клеточного и системного метаболизма.

3. Входит в состав ферментативных систем и белков, в том числе гемоглобина, переносящего кислород.

4. Разрушает продукты перекисного окисления.

5. Обеспечивает рост тела и нервов.

6. Принимает участие в создании нервных импульсов и проведении их по нервным волокнам.

7. Поддерживает работу щитовидной железы.

8. Способствует нормальной работе мозга.

9. Поддерживает иммунитет.

Однако, когда его концентрация в поступающей питьевой воде значительно превышает предельно допустимые значения, железо становится токсичным. Его избыток, как и недостаток, чреват заболеваниями и неприятными симптомами:

поражением тканей (гемохроматоз),

болезнями почек, печени, всего ЖКТ,

вялостью, снижением иммунитета,

сухостью кожи и ломкостью волос, аллергическими реакциями и пр.

Вода с повышенным количеством железа также может навредить и имуществу:

коррозия сантехники и нагревательных приборов,
ржавые пятна на вещах из стиральной машины,
налет на эмалированных и металлических поверхностях.

Чтобы избежать этих последствий необходимо проводить очистку питьевой воды от железа при помощи фильтров и других средств.

Марганец как и железо, имеет широкое распространение и находится, практически, повсеместно в подземных водах Западно-Сибирского региона, чаще в растворенной двухвалентной форме. Одновременное присутствие железа и марганца в подземных водах объясняется их сходными химическими свойствами. Закономерности распространения марганца похожи с распространением железа, но количественные величины его, как правило, на порядок ниже железа. Повышенные концентрации марганца (1,1-1,5 мг/л) наблюдаются в заболоченных районах региона, а наиболее характерные концентрации марганца в водах верхнего гидрологического этажа Западно-Сибирского региона составляют 0,3-0,4 мг/л. Российские санитарные нормы ограничивают уровень предельно допустимого содержания марганца в воде хозяйственно-питьевого назначения значением 0,1 мг/л. В некоторых странах Европы требования жестче: не более 0,05 мг/л. Если концентрация марганца больше этих значений, то происходит ухудшение органолептических свойств воды. При значениях марганца больше 0,1 мг/л появляются пятна на санитарно-технических изделиях, а также нежелательный привкус воды. На внутренних стенках трубопроводов образуется осадок, который отслаивается в виде черной пленки.

В подземных водах марганец находится в виде хорошо растворимых солей в двухвалентном состоянии (Mn^{2+}). Для удаления марганца из воды его необходимо перевести в нерастворимое состояние окислением в трех- и четырехвалентную форму (Mn^{3+} и Mn^{4+}). Окисленные формы марганца гидролизуются с образованием практически нерастворимых гидроксидов

$Mn(OH)_3$ и $Mn(OH)_4$. Последний при осаждении на зернистой загрузке фильтра проявляет каталитические свойства, то есть ускоряет процесс окисления двухвалентного марганца растворенным кислородом. Когда значения рН находятся на уровне 9,5 – 10,0 окисление марганца кислородом происходит наиболее эффективно. Если значение рН находится в диапазоне 8,0 – 8,5 процесс деманганизации эффективно проходит при введении в воду перманганата калия, хлора или его производных (гипохлорит натрия).

Суточная доза марганца, которая уже считается токсичной для человека – 40 мг в сутки. Причём, особенно опасно отравление марганцем, которое длится на протяжении нескольких недель и месяцев, изо дня в день. Со временем это может привести:

- к ухудшению состояния скелета человека;
- снижению тонуса мышц;
- развитию мышечной атрофии;
- возникновению аллергии;
- появлению проблем с почками, печенью, тонким кишечником;
- повышению нагрузки на головной мозг.

Ещё одним серьезным последствием системного воздействия марганца значится и угроза развития таких страшных заболеваний, как рак и болезнь Паркинсона.

Сначала все нарушения, связанные с нервной системой, имеют исключительно функциональный характер. Человек начинает чаще ощущать переутомление и сонное состояние

Кроме внешних, могут быть и внутренние проявления. У пострадавшего нарушается работа эндокринных желез, что приводит к онемению конечностей.

Кроме данных проявлений, употребление воды с марганцем может привести и к иным проблемам со здоровьем:

- появлению аллергии на марганец, а также и на другие вещества;
- развитию мочекаменной болезни;

- закупорке сосудов;
- проблемам с печенью;
- нарушениям работы вегетососудистой системы;
- лёгочными заболеваниями.

Обращая внимание на информацию о неблагоприятном действии марганца и железа, поступающих в организм с питьевой водой в сравнительно маленьких дозах, следует при подготовке воды к потреблению проводить деманганизацию и обезжелезивание. Это крайне необходимо для того, дабы исключить в том числе и даже самую малую возможность нанесения вреда здоровью населения.

1.3 Теоретические основы очистки питьевой воды от железа и марганца

В подземных источниках железо находится в основном в форме бикарбоната железа (II), устойчивого при наличии значительного количества углекислоты, и при условии отсутствия растворённого кислорода. Так же железо встречается в виде сульфида, карбоната и сульфата железа (II).

Марганец, в подземных водах, встречается в основном в виде бикарбоната марганца (II), который хорошо растворяется в воде. Там же марганец чаще всего встречается вместе с железом, что можно объяснить парагенетической связью между этими элементами. Таким образом, обезжелезивание всегда связано с деманганацией [4]

На сегодняшний день, проблеме повышенного содержания железа и марганца в природной воде стоит уделять особое внимание. Решение этой проблемы лежит в оптимизации имеющихся процессов и технологий водоподготовки, а также в разработке новых современных решений. Большой вклад в изучении проблемы обезжелезивания и деманганации своими трудами внесли отечественные ученые: Апельцин Н.Э., Артеменок Н.Д., Кастальский А.А., Кульский Л.А., Клячко В.А., Николадзе Г.И., Сколубович Ю.Л. и некоторые другие.

Технологический выбор очистки подземных вод от железа и марганца во многом зависит от их концентрации, природы данных соединений, количества содержащейся в них свободной углекислоты, от жесткости, окисляемости, от сероводорода, щелочности, окислительно-восстановительного потенциала, минерализации и температуры. Каждый из многообразия методов, имеет свои положительные и отрицательные стороны. Комбинация нескольких методов является наилучшим вариантом для более эффективного протекания процесса. В целом все методы обезжелезивания и деманганации подземных вод делятся на две базовые группы: реагентные и безреагентные (физические);

1.3.1 Безреагентные методы очистки питьевой воды

На ВОС чаще всего применяют следующие безреагентные методы деманганизации и обезжелезивания:

1. глубокой аэрации и фильтрования;
2. упрощенной аэрации с последующим фильтрованием;
3. биологический метод;
4. метод "Виредокс";
5. ультрафильтрации.

Далее рассмотрим каждый из перечисленных методов подробнее.

1. Метод глубокой аэрации производится в аппарате вакуумно-эжекционного типа. В очищаемой воде под воздействием вакуума осуществляется удаление свободной углекислоты. По этой причине жесткость воды возрастает до 8 - 8,5. После чего в эжекционном модуле при капельном распылении воды происходит насыщение кислородом воздуха. Ионы Mn^{2+} при аэрации подвергаются процессу окисления до трех – и четырех – валентного марганца, затем в процессе гидролиза, выпадают в виде гидроксидов в осадок. В связи с тем, что окислительные реакции марганца (II) в марганец (III, IV) проходят медленно и зависят от жесткости, для максимального удаления марганца из воды, её подщелачивают и отстаивают [5]. После оседания, вода фильтруется через фильтр наполненный песком.

Оценка метода аэрации с последующим фильтрованием выявила, что эффективность очистки воды от железа понижается от отношения концентрации железа, к суммарному содержанию железа в воде. Помимо этого, важно учесть, замедление процессов аэрации при низкой температуре. «В случаях, когда в воде содержатся комплексообразующие силикат и фторид ионы зачастую малоэффективны» [6]. Этот метод возможен при окисляемости очищаемой воды до 9,5 мг/л. На рисунке 1.1 показана технологическая схема обезжелезивания вакуумно-эжекционной аэрацией и фильтрованием.

Эта технология помимо деманганизации и обезжелезивания вод также решает задачи по ее дегазации. Обязательным условием для реализации данного метода очистки воды от марганца – наличие в ней Fe^{2+} , при окислении которого растворенным кислородом образуется гидроксид железа, концентрирующийся на поверхности Mn^{2+} и каталитически влияющий на его окисление.

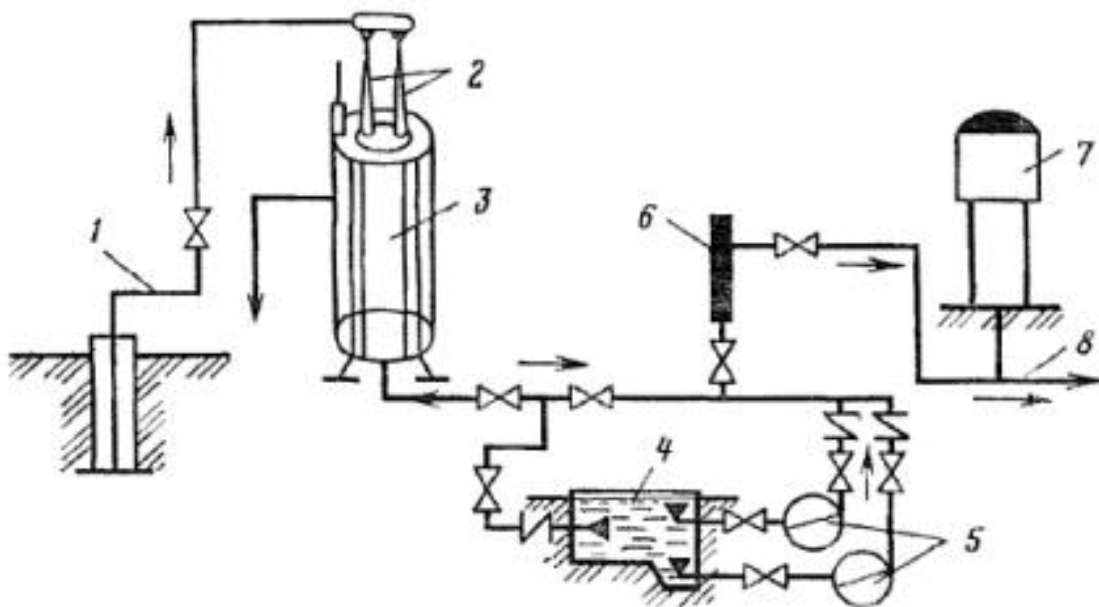


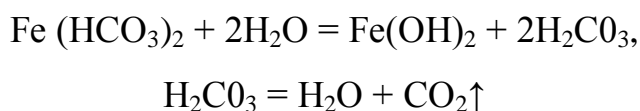
Рисунок 1.1 – Обезжелезивание методом вакуумно-эжекционной аэрации и фильтрования – технологическая схема. 1 и 8 – подача исходной и отвод очищенной воды, 2 – вакуумно-эжекционный аппарат, 3 – каркасно-засыпные фильтры, 4 – резервуар промывной воды, 5 – повысительный насос, 6 – установка для обеззараживания воды, 7 – водонапорный бак

2. Метод упрощенной аэрации, является наиболее распространенным и широко применяется на большинстве станций обезжелезивания воды в России. К достоинствам такой очистки относятся простота реализации и стабильность качества очищенной воды. Однако, использование данного метода эффективно только при следующем качестве исходной воды: общее содержание Fe не должно превышать 15 мг/л, сероводорода - не более 0,5 мг/л, перманганатная окисляемость – должна быть не более 15,0 мг/л. В

противном случае, очищенная вода может быть нестабильна и при движении ее по металлическим трубам возможно вторичное обогащение железом.

Упрощенная аэрация основана на принципах окисления ионов двухвалентного железа на зернах фильтрующего слоя и удержании формирующихся соединений. В это же время, в толще загрузки фильтра одновременно происходит окисление и гидролиз. Вода насыщенная двухвалентным железом и кислородом при фильтрации через зернистую загрузку способствует выделению на поверхности зерен железа, которое образует каталитическую пленку из ионов и оксидов Fe^{2+} и Fe^{3+} , а также из продуктов жизнедеятельности железобактерий. При образовании пленки окисление железа в воде проходит с большей скоростью.

Аэрация удаляет из воды гидрокарбонат железа, являющийся непрочным и легко разлагаемым соединением:



Образующийся $\text{Fe}(\text{OH})_2$ окисляется кислородом воздуха в $\text{Fe}(\text{OH})_3$:



Процесс обезжелезивания воды в загрузке, покрытой каталитической пленкой, гетерогенный автокаталитический процесс, в результате которого происходит постоянное обновление пленки при работе фильтра. Периодом выработки фильтрующего материала (период образования адсорбционнокаталитической пленки), может длиться до нескольких суток, а иногда и больше, что в последующем приводит к стабильной работе фильтра. Сероводород, растворенная углекислота, гуминовые кислоты, аммиак, фосфаты, негативно сказываются на катализатор-пленку и снижают её эффективность. Эту проблему можно решить путем снижения скорости фильтрации в связи с понижением скорости окисления железа или обращением к другим методам. Это позволит достигнуть нужной степени очистки воды. При следующих показателях качества исходной воды: — содержание железа (общего) — до 10 мг/л, в том числе двухвалентного (Fe^{2+})

— не менее 70 %; — рН — не менее 6,8; — окислительно-восстановительный потенциал — более 100 мВ; — щелочность — более 2 ммоль/л; — содержание сероводорода — не более 0,5 мг/л; — содержание аммония — до 1,5 мг/л; — содержание метана — до 0,5 мг/л желательно применять упрощенную аэрацию с фильтрованием после нее.

Используя слив воды из воронки или перфорированного лотка с высоты от 0,5 до 1,0 м, в карман или канал фильтра, или используя нагнетание воздуха в очищаемую воду, осуществляют способ упрощенной аэрации. Фильтр для очистки воды от железа по методу фильтрования с упрощенной аэрацией представлен на рисунке 1.2 [16] Обогащение воды кислородом происходит при ее изливе с высоты 0,5 м над уровнем воды в фильтре.

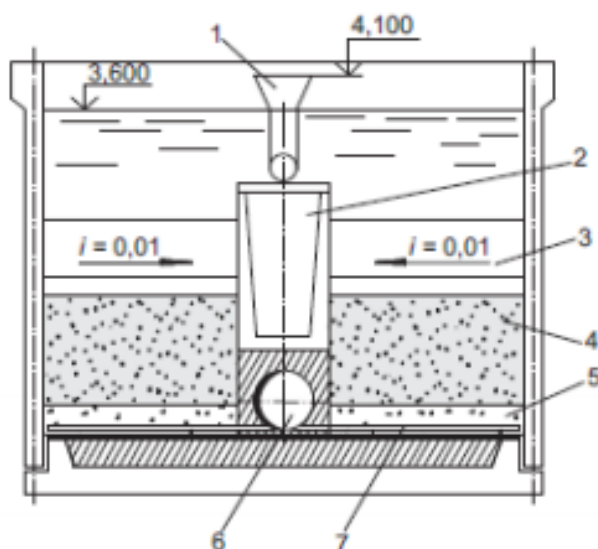


Рисунок 1.2 – Фильтр для обезжелезивания подземных вод фильтрованием с упрощенной аэрацией. 1 – воронка излива воды на фильтр, 2 – центральный канал, 3 – желоба, 4 – фильтрующая загрузка, 5 – поддерживающие слои, 6 – коллектор дренажной системы фильтра, 7 – распределительные перфорированные трубы

Возможно применение следующих фильтрующих загрузок: дробленый и недробленый керамзит, кварцевый песок, колотый гранитный щебень, антрацит, пемза и т.п.

При содержании железа в обрабатываемой воде до 6 мг/л могут использоваться модифицированные материалы (с нанесенной на них каталитической пленкой, чаще всего из соединений марганца), исключающие необходимость периода выработки загрузки, так как она с самого начала ввода фильтров в эксплуатацию обеспечивает высокий эффект удаления железа и, при необходимости, марганца из воды. Такими же свойствами обладают природные марганецсодержащие породы.

При использовании аэрации, а затем фильтрования для очистки подземных вод от железа, происходит изменения их качественных характеристик. Это обосновано химическим окислением железа и марганца.

Также во время обезжелезивания и деманганации, кроме снижения концентрации в воде железа и марганца, происходит снижение содержания фосфатов, никеля, меди, мышьяка и других элементов.

3. При биологическом методе для обезжелезивания и деманганации используются железо-марганцевые бактерии. «Для этих целей на зерна фильтра или других мелкопористых материалов, например, колонна из активированного кокосового угля, различных синтетических материалов, высаживают бактерии *Metallogenium personatum*, *Caulococcus manganiferus*, *Bacteria manganicus* последующей фильтрацией воды» [20]. Бактерии в фильтрах в форме пористой массы, содержащей большое количество оксида марганца, катализирующих последующее окисление марганца (II). Схема технологической станции обезжелезивания подземных вод с блоком биологической деструкции железо - органических комплексов показана на рисунке 1.3.

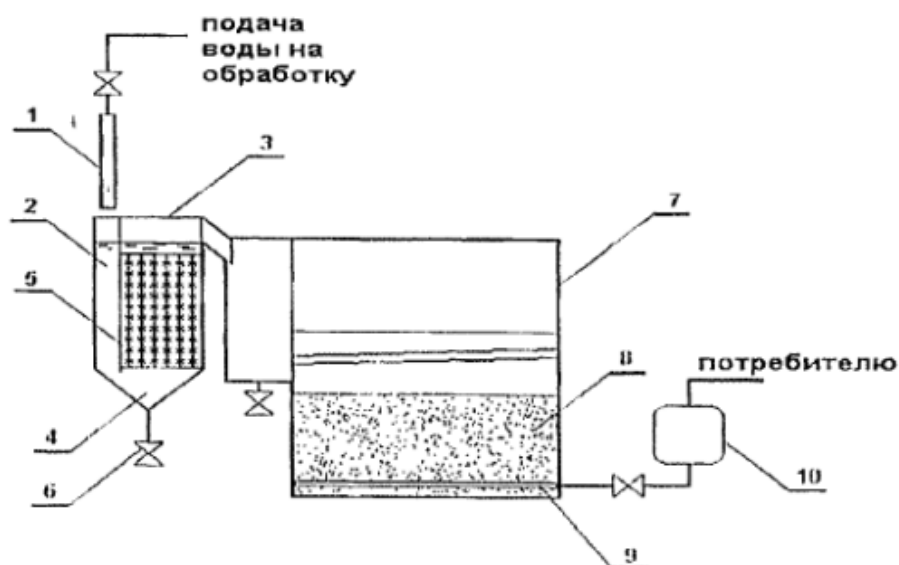


Рисунок 1.3 – Технологическая схема станции обезжелезивания подземных вод с блоком биологической деструкции железоорганических комплексов: 1- вакуумно-эжекционное устройство; 2 – приемный карман; 3 – биореактор; 4 – зона накопления; 5 – активная зона; 6 – трубопровод сброса осадка; 7 – скорый фильтр; 8 – фильтровальная загрузка; 9 – дренажная система; 10 – сооружения обеззараживания

Выбор условий очистки воды (скорость фильтрации, дополнительное насыщение кислородом) позволяет использовать этот метод для полного удаления марганца из воды. Необходимым условием является поддержание кислотности на низком уровне, при подаче кислород из воздуха, в очень небольших количествах.

«Конечным этапом биологической очистки воды от железа является сорбционная очистка для локализации продуктов жизнедеятельности железобактерий и окончательное обеззараживание воды бактерицидными лучами.

При всех своих плюсах (в т.ч. экологичности) и с точки зрения биоремедиации только один недостаток - относительно низкая скорость процесса. Это, в частности, означает, что для обеспечения больших мощностей, требуются емкостные сооружения больших габаритов» [25].

4. Деманганация и обезжелезивание воды методом «Виредокс» осуществляется путём обработки подземных вод непосредственно в водоносном пласте кислородом (закачка в водоносные горизонты воды, обогащённой воздухом). Марганец и железо окисляются. В толще водоносного грунта образуются нерастворимые соединения. Схема весьма проста и экономична, но оправдана только в случаях, когда содержание марганца в подземной воде не превышает 0,5 мг/л и достаточно высокой жесткости. Данный метод применяется в Финляндии, Швеции, Австралии и в других странах в производственных условиях уже 10 лет

5. Использование в водоподготовке мембран не входит в число стандартных методов снижения концентрации железа в воде. Они довольно широко применяются в промышленности, но основное их предназначение изначально заключалось в удалении бактерий, простейших и вирусов, частичное или глубокое обессоливание, то есть в глубокой доочистке воды. Удаление железа стало их «побочным эффектом».

Микрофилтрационные мембраны применяют для удаления уже окисленного трехвалентного железа, ультрафилтрационные и нанофилтрационные мембраны способны снизить концентрацию коллоидного и бактериального железа, а обратноосмотические мембраны удаляют даже растворенное органическое и неорганическое железо.

На практике применение мембран в промышленных масштабах ограничивается некоторыми факторами:

Во-первых, мембраны даже в большей степени, чем гранулированные фильтрующие среды и ионообменные смолы, критичны к «зарастанию» органикой и забиванию поверхности нерастворимыми частицами (в данном случае ржавчиной). Это означает, что мембранные системы требуют достаточно тщательной предварительной подготовки воды, в частности – удаления взвесей и органики. То есть мембранные системы применимы либо там, где нет органического, коллоидного, бактериального и трехвалентного

железа, либо проблема с этими загрязнениями должна быть предварительно решена другими методами.

Во-вторых, стоимость. Мембранные системы пока недешевы и их применение рентабельно только там, где требуется очень высокое качество воды.

1.3.2 Реагентные методы очистки питьевой воды

Наибольшее распространение на сегодняшний день получили следующие реагентные методы очистки питьевой воды от железа и марганца:

1. «упрощенная аэрация, хлорирование и фильтрование;
2. электрокоагуляция, фильтрование;
3. озонирование, фильтрование;
4. известкование, отстаивание, фильтрование;
5. комбинированный метод: аэрация, окисление, известкование, флокулирование, коагулирование, с отстаиванием или обработкой в слое взвешенного осадка и фильтрованием;
6. фильтрование через модифицированную загрузку;
7. катионирование (ионный обмен)

Далее будут рассмотрены все эти варианты.

Очистка подземных вод от железа путем упрощенной аэрации, окисления и фильтрования предполагает удаление лишнего количества углекислоты и обогащении воды кислородом при аэрации, что ведет к увеличению коэффициента жесткости и начальному окислению железоорганических соединений. При помощи добавления в фильтруемую воду окислителя (хлора, озона, перманганата калия и т. п.) достигаем разрушения соединений Fe^{2+} и частичного окисления. В последующем фильтрованием через зернистую загрузку извлекаются из воды соединения закисного и окисного железа.

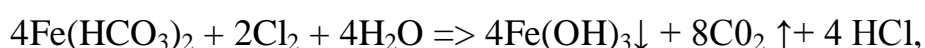
В водяной пласт через специализированную трубчатую систему добавляется хлор; при этом необходимо обеспечить время контакта окислителя с очищаемой водой. В качестве фильтрующей системы

рекомендуются контактные фильтры КФ-5 с высокой грязеемкостью. Фильтрующая загрузка контактного фильтра КФ-5 слоевого типа, толщина каждого из которых по 0,6 м: первый, верхний, слой содержит керамзит или полимеры с величиной зерен 2,3 - 3,3 мм, второй, средний, слой содержит антрацит или доменный шлак с величиной зерен 1,25 - 2,3 мм, третий, нижний, слой с кварцевый песок или горелые породы с зернами величиной 0,8 - 1,25 мм. Скорость фильтрации - 7 м/ч, промывка - водой.

Устранение избытка растворенной углекислоты и обогащение воды кислородом при аэрации приведет к первичному окислению железоорганических соединений, увеличению коэффициента жесткости, именно с этой целью используется данный метод.

Полного разрушение соединений двухвалентного железа и частичное его окисление добиваются путем введения в очищаемую воду окислителя. При фильтровании воды через зернистую загрузку сочетания закисного и окисного железа из нее удаляются.

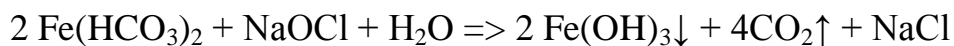
Под воздействием хлора гуматы и другие органические соединения железа разрушаются и переходят в форму неорганических солей Fe^{3+} , которые гидролизуются выпадают в осадок, удаляемый при последующем фильтровании:



На окисление 1 мг Fe^{2+} , по уравнению реакции расходуется 0,64 мг хлора. Щелочность воды при этом понижается на 0,018 мг-экв/л. В зависимости от содержания железа, доза хлора может составлять 5 - 20 г на м³ воды при контакте не меньше 30 минут. Гигиенические требования разрешают содержание свободного хлора в питьевой воде до 0,5 мг/л, а связанного до 1,2 мг/л.

В наше время, альтернативой хлорированию является обработку воды раствором гипохлорита натрия. Во время окисления железа гипохлоритом натрия вода не подкисляется. Помимо этого, раствор гипохлорита натрия

имеет щелочную реакцию, что очень благоприятно для последующего фильтрования.



В подземных водах с большим содержанием органических веществ железо и марганец образуют, стойкие органические соединения, сложно выводящиеся при типовом хлорировании и обработке коагулянтом. Применение KMnO_4 , как сильного окислителя, способствует разрушению этих соединения с последующим окислением ионов Mn^{2+} и Fe^{2+} и флокуляцией продуктов окисления. Обработывая воду перманганатом калия, получаем следующую реакцию окисления железа с последующим гидролизом:



По уравнению реакции, на окисление 1 мг Fe^{2+} расходуется 0,71 мг перманганата калия. Попутно, щелочность воды понижается на 0,036 мгэquiv/л. Так как, перманганата калий, материал дорогой, то его использование в сочетании с гипохлоритом натрия, позволит обрабатывать сложные воды и сэкономить на дорогостоящем оборудовании.

Окисления марганца, при обработке исходной воды перманганатом калия, протекает по следующему уравнению:



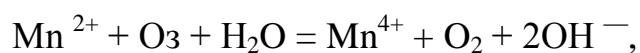
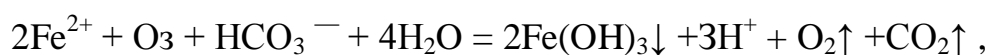
Для того, чтобы удалить 1 мг $\text{Mn}(\text{II})$, необходимо расходовать 1,88 мг KMnO_4 . Возникновение дисперсного осадка оксида марганца MnO_2 , который, имея большую удельную поверхность порядка 300 м²/г, является эффективным сорбентом, что является основным аргументом в пользу использования перманганата калия для очистки воды от марганца. Помимо этого, частицы гидроксида марганца $\text{Mn}(\text{OH})_4$ в интервале рН =5 — 11 имеют заряд, противоположный заряду коагулянтов $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и $\text{Al}(\text{OH})_3$, в связи с чем, использование перманганата калия ускоряет процесс коагуляции. Следовательно, перманганат калия, действуя и как сорбент, и как окислитель, и как вспомогательное средство коагуляции, выступает

высокоэффективным реагентом для очистки воды от множества загрязнений, в данном случае и от марганца. Качество очистки воды перманганатом калия от марганца 95 - 99 %.

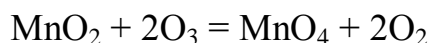
Использование данного метода повышает стоимость 1 м³ воды, так как возникает необходимость в реагентном хозяйстве, а также, применение перманганата калия нагружает фильтры, в связи с чем уменьшается фильтроцикл. Данный метод рекомендован СНиП 2.04.02-84 и очень широко используется в нашей стране и за рубежом.

Обезжелезивание воды при помощи озона с последующим фильтрованием. Озон является одним из наиболее эффективных окислителей при проведении деманганизации и обезжелезивания воды. Одновременно производится обеззараживание воды и улучшение ее органолиптических свойств.

Одними из плюсов озонирования являются: компактность озонаторных установок, возможность полной автоматизации всего процесса и отсутствие громоздкого реагентного хозяйства.



Наибольшую концентрацию озона производит ион перманганата, розоватого цвета.



Но его образование можно легко предупредить уменьшением дозы озона. По данным В. Ф. Кожина для удаления органических соединений железа доза озона принимается равной содержанию закисного железа в исходной воде. Доза озона для окисления соединений марганца 1,45 мг/мг Mn^{2+} . Гидроокись марганца и железа осаждается в воде и может быть удалена впоследствии при осветлении или фильтровании

Остаточный озон в питьевой воде должен быть в пределах 0,1 — 0,3 мг/л. Время контакта озона с водой составляет 5-20 мин. Оно варьируется в

зависимости от структуры воды, концентрации озона и конструктивных особенностей смесителя. Особенно следует отметить, что озон очень токсичен и имеет возможность поражать органы дыхания. Ещё одним минусом этого метода является дороговизна оборудования и большой расход электроэнергии, используемой при нём. Данный метод применяется при концентрациях соединений железа до 15 мг/л и марганца до 1 мг/л в водах подземных источников.

Электрокоагуляция, как метод обезжелезивания воды, основана на сорбции ионов, диспергированных и коллоидных соединений железа (II), (III) гидроксидами металлов, которые образуются в результате растворения электродов.

Электрокоагуляцию также используют и для глубокого обезжелезивания воды, при небольших количествах ее обработки. Но, для данного метода необходимы большие расходы электроэнергии и алюминия. Так, для полного обезжелезивания воды, в которой находится 25 мг/л железа, плотность тока при этом – 2 мА/см² и рН = 6,8 расход электроэнергии 0,4 кВт * ч/м³ а алюминия – 25 мг/л, соответственно.

Метод электрокоагуляция целесообразен в случаях общей очистки воды и выведения из всех загрязнителей таких, как соединения кремния, водоросли, взвешенные и органические вещества и т.д.

Известкование – еще один метод обезжелезивания воды. Он достаточно надежен и универсален, но, пожалуй, наиболее дорогой. Применяется в основном для снижения в воде концентрации сернокислого железа и при большого количества железа (свыше 25 мг/л) и сероводорода, а также, если щелочность воды ниже минимального значения, которое вычисляется по формуле $Щ_{кр} = ([Fe^{2+}]/28) + 2$, или если вода высоко окисляема.

В пересчете на СаО, дозу извести определяют по формуле:

$$D_{и} = 28 \times [CO^2]/44, \text{ мг/л}$$

В процессе обезжелезивания методом известкования, окисляются ионы закисного железа в окисное, а также происходит гидролиз солей последнего. В связи с этим, метод, как правило, применяется совместно с предварительной аэрацией, которая обеспечивает обогащение воды кислородом, а также удаление из нее свободной углекислоты, что в дальнейшем снижает необходимое количество реагентов.

При известковании воды, в которой содержатся коллоидные соединения железа (сульфид железа, гидроокись железа, гумминовокислое железо и др.), повышается скорость их коагулирования, в связи с тем, что жесткость воды повышается. Одновременно с этим известкование, вызывает пептизацию органических коллоидных соединений железа, что способствует увеличению жесткости воды. Данные соединения растворяются, железо окисляется (II), гидролизуется и выводится в осадок.

«Известкование – это универсальный метод обезжелезивания природных вод. Зачастую, данный метод используется в следующей технологической схеме: аэрирование воды в градирне, в поддон которой вводится известковый раствор, коагулирование и выведение в осадок большей части соединений железа в вертикальном отстойнике или контактном резервуаре (горизонтальном отстойнике) и извлечение из воды мелких хлопьев гидроокиси железа путем ее фильтрования на скорых фильтрах. Исследованиями, проведенными на кафедре водоснабжения МИСИ имени В. В. Куйбышева, установлено, что в рассматриваемой схеме более эффективно применять тонкослойные отстойники в сочетании с вихревой камерой хлопьеобразования» [34]. Технологическая схема установки "Струя" представлена на рисунке 1.5.

Только для обезжелезивания воды применение метода известкования, экономически невыгодно. Целесообразнее его использовать, когда необходимо одновременное осветление, обесцвечивание и понижение жесткости воды.

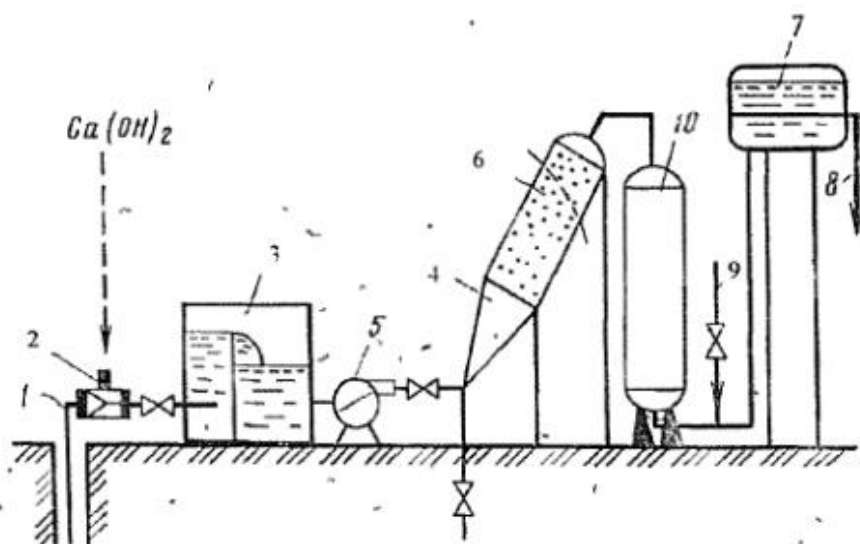


Рисунок 1.5 – Технологическая схема установки обезжелезивания воды методом известкования на установке «Струя». 1 и 8 – подача исходной и отвод обезжелезенной воды, 2 – ввод реагента, 3 – аэрационное устройство, 4 – вихревая камера хлопьеобразования, 5 – повысительный насос, 6 – тонкослойный отстойник, 7 – водонапорный бак, 9 – установка для обеззараживания воды, 10 – осветлительный фильтр

Комбинированный метод обезжелезивания воды, это метод сочетающий в себе: аэрацию, окисление, известкование, коагулирование, флокулирование с последующим отстаиванием или обработкой в слое взвешенного осадка и фильтрование через зернистую загрузку.

Данный метод применяется при показателях железа выше 30 мг/л в исходной воде, высокой окисляемости воды (более 20 мгО₂/л), щелочности воды менее вычисляемой по формуле $Щ = 2 + [Fe^{2+}]/28$, и присутствию в ней сероводорода в значении более 1 мг/л. В этом случае, взамен осветлителей или вертикальных отстойников или логичнее задействовать тонкослойные отстойники.

Вышеуказанная комбинация методов очистки воды подразумевает разрушение железоорганических соединений и создает благоприятные условия для коагулирования и гидролиза соединений железа (II) с отделением от воды в дальнейшем. Достигается это, удалением сероводорода

и свободной углекислоты в процессе аэрации воды, так как, при аэрации вода обогащается кислородом воздуха, и связывает оставшуюся углекислоту, если это нужно, известью. Одновременно с этим, известкование повышает щелочность и жесткость воды, благоприятствуя окислению, гидролизу и коагулированию железа. Но, растворенного (в процессе аэрации) в воде кислорода недостаточно для окисления железа (II) и разрушения железоорганических комплексов. В связи с этим, по окончании процесса аэрации в воду добавляют какой-нибудь сильный окислитель, зачастую это хлор. Для ускорения процесса коагуляции гидроокиси железа воду дополнительно подвергают обработке сульфатом алюминия.

Для определения дозы извести в пересчете на CaO руководствуемся следующими формулами:

при $[Fe^{2+}]/28$ меньше щелочности воды:

$$D_{и} = 0,64 [CO_2],$$

при $[Fe^{2+}]/28$ больше щелочности воды:

$$D_{и} = 1,27 [CO_2] + [Fe^{2+}] + 28 (D_{к} / e_1),$$

Содержание в очищаемой воде свободной углекислоты и закисного железа $[CO_2]$ и $[Fe^{2+}]$ – мг/л соответственно, доза коагулянта в расчете на безводный продукт; $D_{к}$ – мг/л; $C1$ - соответствующая масса безводного коагулянта, мг/мг-экв.

Железо, которое содержится в воде в виде органических комплексных соединений либо коллоидных или тонкодисперсных примесей удаляется из нее в процессе коагулирования.

Требующиеся дозы коагулянта вычисляется путем технологического анализа исходной воды. Если этих данных нет, то пользуемся формулой для приблизительных расчетов доз сернокислого алюминия, мг/л

$$D_{к} = 4 Ц^{0,5},$$

где Ц - цветность воды, град.

В отстойниках или осветлителях со взвешенным осадком из воды устраняется основная часть хлопьев гидроокиси железа. Мелкие хлопья

прошедшие через отстойники, удерживаются в толще каталитической загрузки при фильтровании воды.

Раньше метод ионного обмена в основном использовался для умягчения воды. С целью использования этого метода применялись природные иониты (цеолиты, сульфоугли). После появления синтетических смол сильно возросла эффективность применения способа ионного обмена для целей водоснабжения.

Особенностью ионного обмена является тот факт, что катиониты способны удалять из воды не только ионы кальция и магния, но и других двухвалентных металлов, в том числе растворенное двухвалентное железо. Способ ионного обмена хорошо справляется с марганцем, который зачастую сопутствует железу и затрудняет работу систем, основанных на использовании методов окисления. Это является не маловажным достоинством данного метода. Основное его преимущество заключается в том, что из воды могут быть удалены железо и марганец, находящиеся в растворенном виде.

Использование катионообменных смол на практике вызывает затруднение. Объяснить это можно несколькими причинами:

Первая причина: использовать смолы желательнее в воде с повышенной жесткостью, так как удаление железа из воды происходит вместе со снижением ее жесткости. Если в воде жесткость не высокая, то использование смол нерационально.

Второй причиной можно назвать нежелательное нахождение в воде растворенного кислорода, других окислителей и окисленного железа. Трехвалентное железо может «забить» смолу и трудно вымыться из неё. Также это влияет на уровень pH, в котором смола работает наиболее эффективно.

Если в воде высокое содержание железа, то повышается вероятность образования нерастворимого трехвалентного железа, но в то же время истощается ионообменная емкость смолы. Наличие этого факта требует

более частой регенерации, а значит большого расхода соли. Это является третьей причиной.

Четвертой причиной можно назвать наличие в воде органических веществ (в том числе и органического железа). Они могут привести к быстрому «зарастанию» смолы органической пленкой, которая одновременно служит питательной средой для бактерий. Тем не менее, именно применение ионообменных смол представляется наиболее перспективным направлением в деле борьбы с железом и марганцем в воде. Задача заключается в том, чтобы подобрать такую комбинацию ионообменных смол, которая была бы эффективна в достаточно широких пределах параметров качества воды.

Использование каталитических загрузок. Особую популярность за рубежом имеют фильтрующие загрузки для удаления Mn и Fe таких торговых марок, как BIRM, Гра-носит-П, Aqua-mandrix, Quantum DMI-65, FMH, Manganese Greensand, МТМ и другие. В нашей стране также производятся каталитические материалы не уступающие по своим рабочим характеристикам, такие как МЖФ, МФСМ7, Сорбенты АС и МС.

Greensand, как один из представителей варианта каталитической загрузки, обладает широким спектром действия, который при использовании вместе с сильными окислителями, благодаря каталитическим свойствам, может уменьшать содержание железа и марганца в воде до предельно низких уровней.

В зависимости от концентрации железа и марганца в исходной воде, Greensand используют двумя различными способами:

1. Непрерывная технология. Используется в случае, если основной задачей стоит снижения уровня концентрации железа в воде. Она состоит из непрерывного введения в воду заранее рассчитанного количества перманганата калия (KMnO_4) непосредственно перед фильтром. Для понижения затрат на реагенты одновременно может использоваться хлор.

Но его нельзя использовать без перманганата калия, особенно, если в воде содержится марганец.

2. Периодический процесс. Используется если из воды необходимо удалить марганец или марганец вместе с железом. Каталитическая загрузка регенерируется необходимым количеством перманганата калия после обработки фильтрованием некоторого количества воды.

Большое распространение применения данной технологии в домашних устройствах и промышленных установках обусловлено ее безопасностью и эффективностью.

Использование каталитических материалов имеет ряд ограничений:

- малоэффективен когда в воде находится органическое железо. Так как в этом случае, спустя время, на загрузке образуется каталитическая пленка, которая изолирует катализатор (диоксид марганца) от воды. Каталитическая функция фильтрующей загрузки снижается, а течением времени сводится на нет;

- при высоких концентрациях железа эффективность метода снижается;
- наличие в исходной воде марганца усложняет технологию очистки.

Выводы по главе

1. В Тюменском районе в малых населенных пунктах качество подаваемой потребителям воды зачастую не соответствует нормам СанПиН.

2. Анализ наиболее распространённых технологических схем обезжелезивания и деманганации вод показал, что они имеют множество нюансов, которые необходимо учитывать при разработке технологической схемы для данной работы.

3. Существующие методы не всегда эффективны при малых расходах воды, высокой концентрации углекислоты, железа и марганца, требуют доработки новыми технологическими приемами.

4. Определено, что при высоких концентрациях в воде растворенной углекислоты, железа и марганца одновременно, процесс глубокой очистки может быть осуществлен только при помощи комбинирования ряда методов с использованием реагентов и современных загрузок.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Исследования по снижению содержания растворенной углекислоты

Объектом исследования является подземная вода п. Новотарманский. Исходная подземная вода характеризуется следующими показателями: железо общее – до 24,4 мг/дм³, марганец – до 2,67 мг/дм³, перманганатная окисляемость – до 17 мгО₂/дм³, присутствует запах сероводорода.

На данный момент в п. Новотарманский имеются две станции обезжелезивания: старая (упрощенная аэрация в напорном варианте) и новая (блочная станция ЛСВ 500-100). Технологическая схема новой станции включает: предварительное окисление и коагуляцию, фильтрование (6 фильтров, загрузка - кварцевый песок, фракции 0,5-1,2 мм), сорбционные фильтры, обеззараживание (УФО).

Так как блочная станция ЛСВ рассчитана на содержание железа в исходной воде не более 7 мг/дм³, было принято решение эксплуатировать данные станции последовательно. Несмотря на это, качество воды после очистки не удовлетворяет требованиям СанПиН (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Качество воды п. Новотарманский

Наименование показателя	Единицы измерения	Значение показателя		Нормативы (ПДК), не более
		исходная вода	после очистки	
1	2	3	4	5
Цветность	град ПКШ	20-24,4	15-20	20
Мутность	мг/дм ³	87,7-117,2	0,6-3,2	1,5
рН	-	6,3-6,5	6,5-6,9	6-9
Жесткость общая	мг-эquiv/дм ³	6,78-8,5	6,2-8,5	7,0
Железо общее	мг/дм ³	13,7-29,5	0,2-2,5	0,3
Марганец	мг/дм ³	0,86-2,67	0,2-1,6	0,1
Аммиак (по азоту)	мг/дм ³	2,8-3,6	1,7-3,3	2,0
Перманганатная окисляемость	мгО/дм ³	6,8-17,0	3,6-5,6	5,0

При проведении предварительного обследования было выявлено, что в подземной воде п. Новотарманский присутствует растворенная углекислота в количестве 100 – 110 мг/дм³, которая не была учтена в технологической схеме ЛСВ.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований по удалению растворенной углекислоты из подземной воды п. Новотарманский.

Исследования проводились в лаборатории кафедры водоснабжения и водоотведения ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет».

Учитывая данные [37, 38] удаление углекислоты проводилось барботированием. На первом этапе исследования проводились в статических условиях. Воздух подавался в стеклянный цилиндр с исходной водой от компрессора через отверстия диаметром 3-4 мм. В процессе исследований изменялись следующие параметры: расход воздуха от 5 до 23 л/ч (интенсивность подачи воздуха от 0,7 до 3,3 л/(с·м²)); продолжительность барботажа от 5 до 15 мин. Температура воды составляла 10-12°С. Результаты исследований представлены в таблице 2.2 и на графике (рисунок 2.1).

Таблица 2.2 – Снижение содержания углекислоты при барботировании

Продолжительность барботажа, мин	Концентрация углекислоты, в мг/дм ³ , при расходе воздуха, л/ч (интенсивность, л/(с·м ²))		
	23 (3,3)	16 (2,3)	5 (0,7)
0 (исходная вода)	98,0	90,2	92,4
5	46,2	48,84	68,2
10	26,4	26,4	55
15	17,6	13,2	37,4

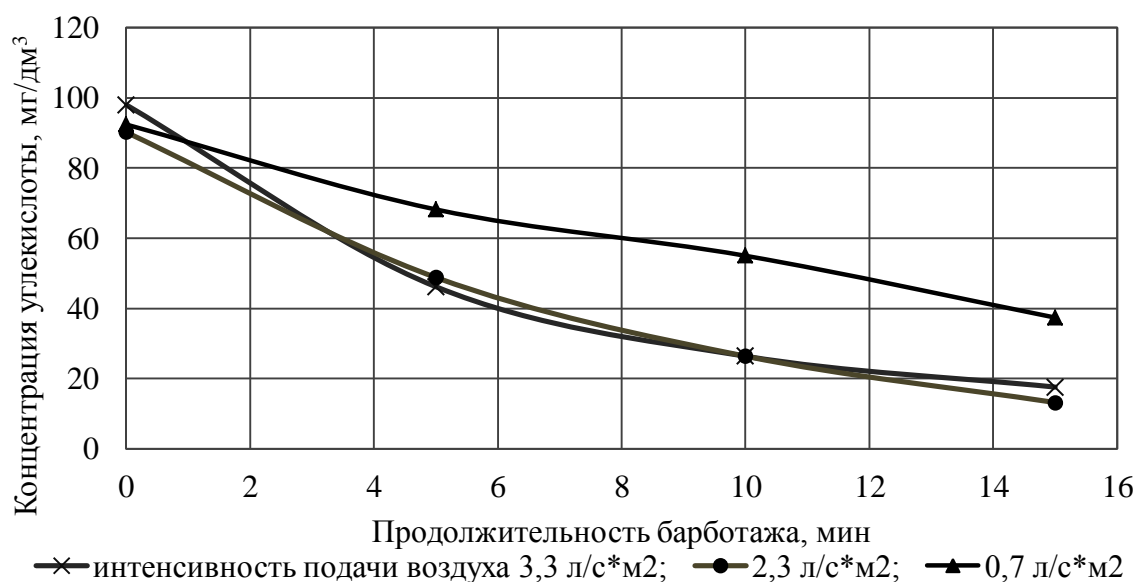


Рисунок 2.1 – Влияние продолжительности барботажа на снижение содержание углекислоты при разной интенсивности подачи воздуха

В процессе барботирования отмечено значительное изменение цветности воды (рисунок 2.2). При максимальном расходе воздуха (23 л/ч) изменение цветности стало заметно через 5 минут, при минимальном (5 л/ч) - через 8 минут, что свидетельствует о процессах окисления железа кислородом воздуха. Концентрация сероводорода в процессе исследований не измерялась, но в исходной воде отмечен четкий запах сероводорода, который не ощущался уже через 5 минутного барботирования.

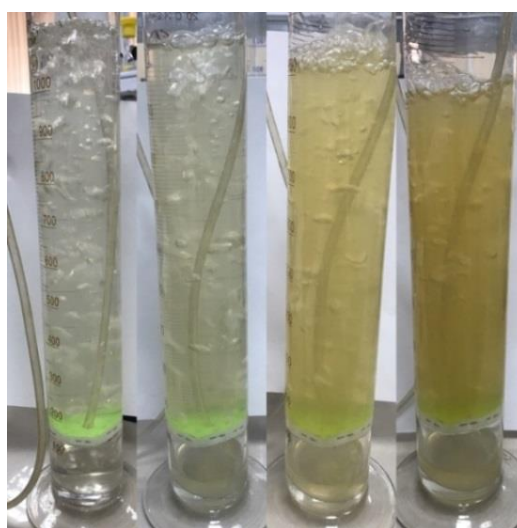


Рисунок 2.2 – Изменение цветности воды в зависимости от продолжительности барботажа (слева направо: исходная, через 5 мин, через 10 мин, через 15 мин.)

Результаты всех опытов были приведены к удельному расходу воздуха ($q_{уд}$, м³/м, количество воздуха, приходящегося на единицу объема воды,) и представлены на графиках (рисунок 2.3-2.4).

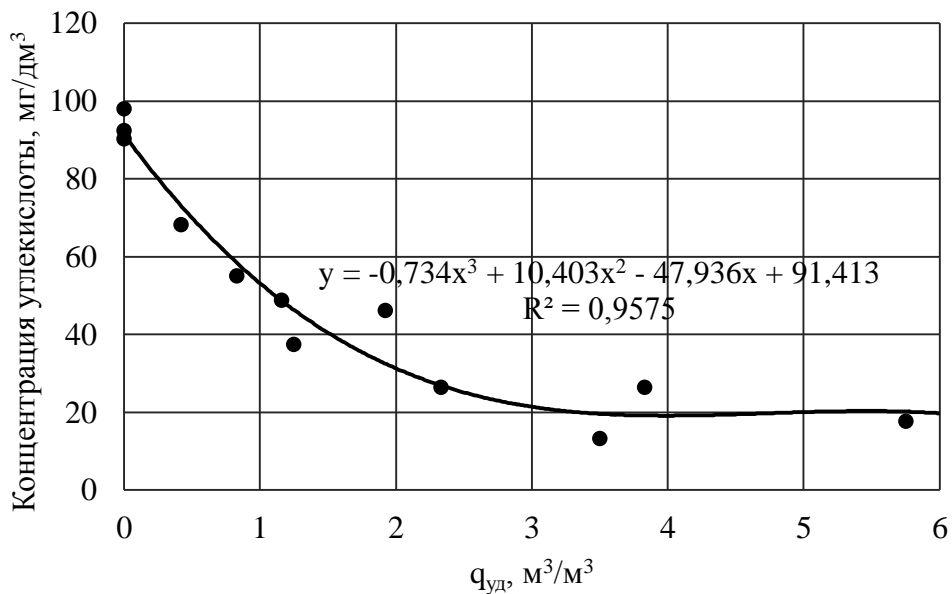


Рисунок 2.3 – График зависимости снижения содержания углекислоты от удельного расхода воздуха

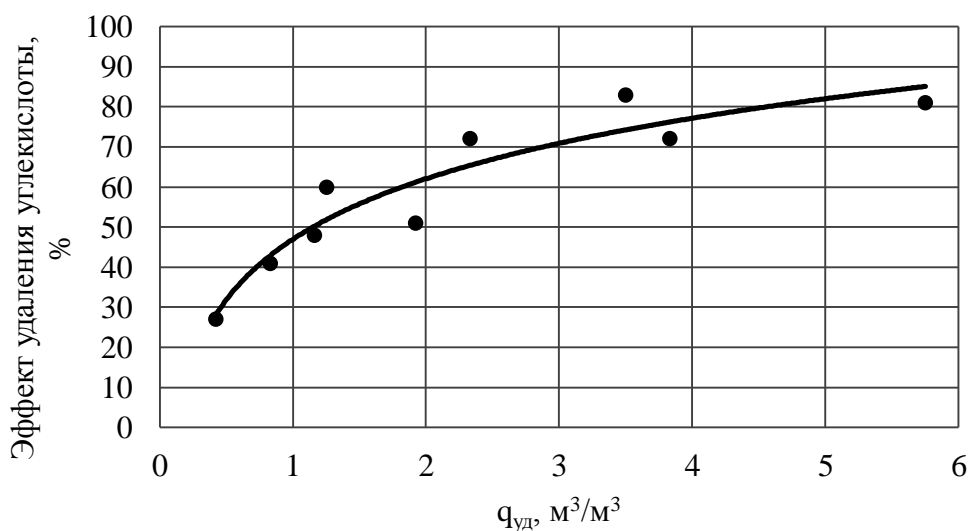


Рисунок 2.4 – График зависимости эффекта удаления углекислоты от удельного расхода воздуха

Из графика (рисунок 2.3) видно, что в статических условиях требуемого (менее 40 мг/дм³ [39]) снижения углекислоты можно достичь при

удельном расходе воздуха $q_{уд} = 2,0 \div 3,5$, что соответствует интенсивности подачи воздуха 2-3 л/(с·м²) при продолжительности аэрации не более 10 мин (рисунок 2.1). Дальнейшее увеличение $q_{уд}$ практически не влияет на снижения содержания углекислоты в воде.

Максимальный эффект удаления углекислоты 81-83 % был достигнут при 15-ти минутном аэрации с расходом воздуха 2,3 – 3,2 л/(с·м²).

Данные проведенных исследований позволяют проанализировать влияние различных параметров (расход воздуха, продолжительность аэрации) на процесс дегазации. При этом, в реальных условиях (в противоточном режиме) с учетом достаточно низких температур подземной воды (3-5°C) не следует ожидать столь значительных эффектов удаления углекислоты.

2.2 Исследования по удалению железа и марганца из подземной воды

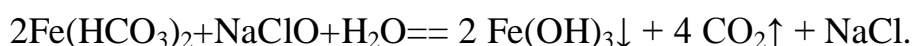
Опыт работы станции (старой) обезжелезивания п. Новотарманский, и предварительно проведенные исследования показали, что методом упрощенной аэрации, а также внедрением усиленной аэрации удается снизить концентрацию железа не более чем до 0,6 – 0,5 мг/дм³. Это может свидетельствовать о присутствии в подземной воде железа в форме комплексных органических соединений для разрушения которых требуется более сильный, чем кислород воздуха, окислитель.

Для окисления трудноудаляемых форм железа, а также марганца проведены исследования с двумя реагентами-окислителями: перманганатом калия и гипохлоритом натрия.

Раствор гипохлорита натрия (NaClO) очень часто используется в качестве реагента-окислителя на небольших объектах, в том числе и для обеззараживания. Это связано с простотой и безопасностью его хранения и транспортировки (пластиковые канистры небольшого объема), легкостью дозирования (поставляется в готовом виде, не требует дополнительных

емкостей для приготовления рабочего раствора), обладает пролонгированным обеззараживающим действием. К недостаткам можно отнести: требуется обеспечение мер безопасности для защиты работников и окружающей среды; при комнатной температуре, в течение 40 дней происходит разложение, при котором гипохлорит натрия теряет 30 % активного хлора.

При добавлении гипохлорита натрия окисление двухвалентного железа происходит в соответствии со следующим уравнением:



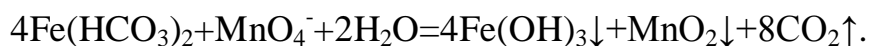
При расчете дозы гипохлорита натрия необходимо учитывать его расход не только на окисление железа, но и на удаление марганца. Доза активного хлора на обработку воды (в пересчете на 100%-ный хлор, г/ч), согласно [39], может быть определен по следующей зависимости:

$$D_{Cl} = 0.64 \cdot Fe^{2+} + 1.3 \cdot Mn^{2+}.$$

В процессе окисления железа гипохлоритом натрия подкисление воды не происходит, что является важным для процессов обезжелезивания и деманганации [39].

Перманганат калия является более сильным окислителем, но в практике водоподготовки используется значительно реже, что связано с высокой стоимостью данного реагента. К преимуществам данного реагента относятся: качественный и быстрый результат (обеспечивает удаление из воды железа в разных формах, окисляется до 97% двухвалентного марганца); не токсичен, не вызывает образование канцерогенных веществ; дополнительное задействование ультрафиолетового оборудования повышает конечный эффект.

При обработке воды перманганатом калия реакция окисления железа с последующим гидролизом протекает по уравнению:



Согласно данного уравнения на окисление 1 мг Fe^{2+} тратится 0,71 мг перманганата калия, а щелочность воды уменьшается на 0,036 ммоль/л.

Расчетная доза перманганата калия (в пересчете на 100%, мг/л) для окисления железа и марганца может быть определена из выражения:

$$D_{\text{KMnO}_4} = [\text{Fe}^{2+}] + 2 \cdot [\text{Mn}^{2+}].$$

где $[\text{Fe}^{2+}]$ – концентрация двухвалентного железа в исходной воде, мг/л;

$[\text{Mn}^{2+}]$ – концентрация двухвалентного марганца в исходной воде, мг/л.

Приведенные формулы для определения доз реагентов-окислителей являются приближенными. Фактические дозы зависят от продолжительности контакта, температуры обрабатываемой воды и других факторов и определяются экспериментально.

Исследования по удалению железа и марганца из подземной воды проводились в лабораторных условиях в лаборатории кафедры водоснабжения и водоотведения.

В процессе исследований определялись следующие показатели качества воды:

- железо общее (по методике [41]);
- марганец – (по методике [42]);
- перманганатная окисляемость (по методике [43]);
- рН;
- цветность (по методике [44]);
- мутность (по методике [45]).

Отбор проб проводился в соответствии с ГОСТ 31862-2012 [46].

Приборы и оборудование:

- средства измерения: рН-метр рН-150 МИ, фотоэлектроколориметр.
- лабораторная посуда: колбы мерные 2 класса точности вместимостью 25, 50, 100, 250, 1000 см³ по ГОСТ 1770-74, мерный цилиндр 50 и 100 см³, мерный стакан вместимостью 100 см³ по ГОСТ 25336-82, пипетки мерные 2 класса точности вместимостью 1, 2, 5, 10 см³ по ГОСТ 29228-91;
- реактивы, приготовленные по стандартным методикам;
- лабораторный фильтр диаметром 50 мм.

В качестве загрузки фильтра использованы следующие фильтрующие материалы:

- песок кварцевый – диаметр фракций 0,8 – 1,8 мм.
- фильтрующий материал «БРИЗАНТ» - диаметр фракций 0,5 – 1,5 мм.

Методика проведения исследований.

Первый этап. Исходная вода после дегазации пропусклась через фильтр, загруженный кварцевым песком (фильтр 1 ступени). Скорость фильтрования составляла не более 1-2 м/ч.

Второй этап. В воду после фильтра 1 ступени добавлялся раствор гипохлорита натрия (доза 15 мг/дм³). После 10-ти минутного контакта с окислителем проводилось фильтрование параллельно на фильтрах с кварцевым песком и «Бризантом» соответственно.

Третий этап. В воду после фильтра 1 ступени добавлялся раствор перманганата калия (доза 5 мг/дм³). После 10-ти минутного контакта с окислителем проводилось фильтрование параллельно на фильтрах с кварцевым песком и «Бризантом» соответственно.

Результаты исследований представлены в таблицах 2.3 – 2.4.

Таблица 2.3 – Результаты исследований по удалению железа и марганца из подземной воды при использовании в качестве окислителя раствора гипохлорита натрия

Наименование показателя	Единицы измерения	Значение показателей				Нормативы (ПДК), не более
		исходная вода	фильтр 1 ступени	фильтр 2 ступени		
				песок	«Бризант»	
рН	-	6,45	7,44	7,30	7,62	7-7,5
Марганец	мг/дм ³	2,36	1,8	1,3	0,03	0,1
Железо общее	мг/дм ³	26	1,9	0,22	0,1	0,3
Перманганатная окисляемость	мгО/дм ³	11,8	7,94	7,8	6,24	5,0
Мутность	мг/дм ³	3,19	-	2,32	0,81	1,5
Цветность	град ПКШ	47	-	25,3	17	20

В результате первого этапа было установлено, что большая часть железа задерживается на фильтре первой ступени (до 1,9 мг/дм³). Следовательно, введение реагентов-окислителей перед фильтром второй

ступени позволяет уменьшить их дозу. Дозы реагентов (15 мг/дм³ – гипохлорита натрия и 5 мг/дм³ – перманганата калия) были установлены в результате пробного фильтрования.



Рисунок 2.5 – Делительная воронка в качестве фильтра второй ступени:
окислитель - гипохлорит натрия, загрузка - «Бризант»

Таблица 2.4 – Результаты исследований по удалению железа и марганца из подземной воды при использовании в качестве окислителя раствора перманганата калия

Наименование показателя	Единицы измерения	Значение показателей				Нормативы (ПДК), не более
		исходная вода	фильтр 1 ступени	фильтр 2 ступени		
				песок	«Бризант»	
рН	-	6,45	7,28	7,42	7,67	7-7,5
Марганец	мг/дм ³	2,36	1,8	0,18	0,05	0,1
Железо общее	мг/дм ³	26	1,9	0,24	0,08	0,3
Перманганатная окисляемость	мгО/дм ³	11,8	6,56	8	9,6	5,0
Мутность	мг/дм ³	3,19	-	0,41	0,35	1,5
Цветность	град ПКШ	47	-	20	11	20



Рисунок 2.6 – Делительная воронка в качестве фильтра второй ступени с использованием в качестве окислителя перманганат калия, а загрузки «Бризант»

Результаты всех опытов для наглядности и дальнейшего анализа были объединены в таблицы по разным показателям: железо общее и марганец. В таблице 2.5 и рисунке 2.7 представлены результаты по концентрации общего железа на всех этапах эксперимента.

Таблица 2.5 – Концентрация общего железа в воде по этапам очистки

Вид окислителя - загрузка фильтра 2 ступени	Концентрация железа общего, мг/дм ³		
	исходная вода	фильтр 1 ступени	фильтр 2 ступени
1	2	3	4
Гипохлорит натрия – «Бризант»	26	1,9	0,1
Гипохлорит натрия – песок кварцевый	26	1,9	0,22
Перманганат калия – «Бризант»	26	1,9	0,08
Перманганат калия – песок кварцевый	26	1,9	0,24

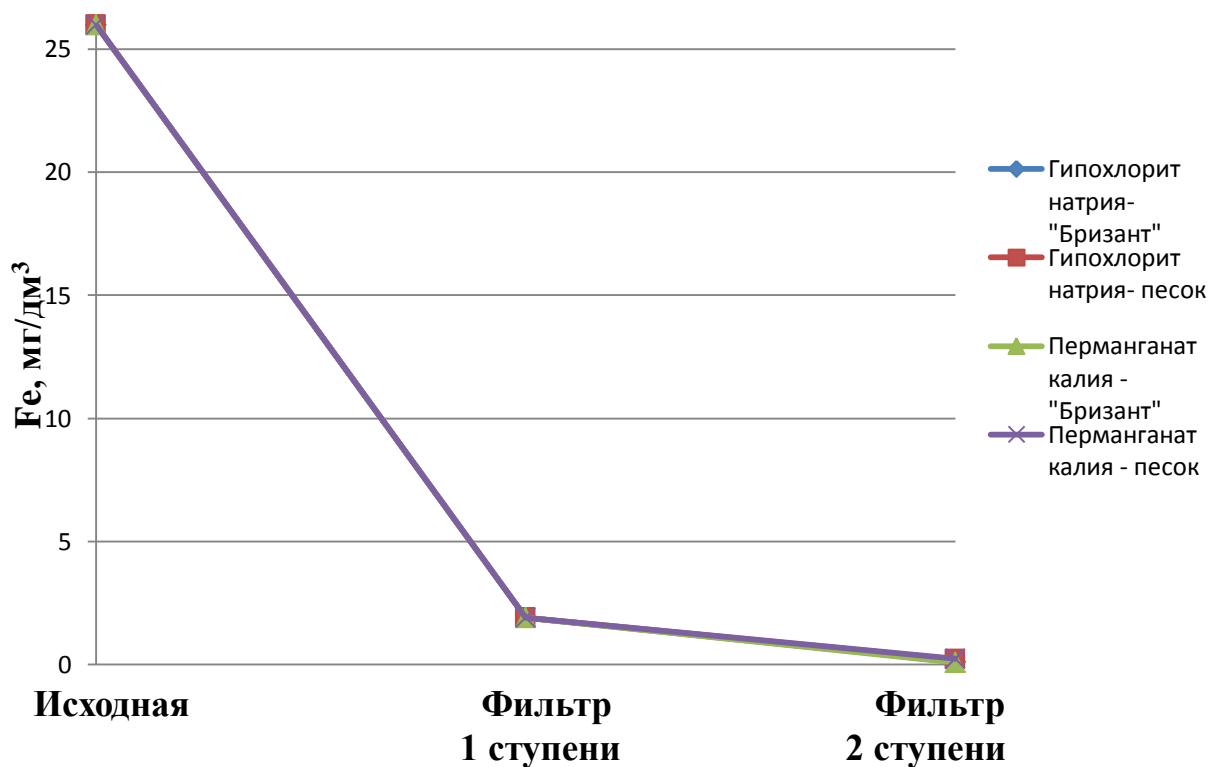


Рисунок 2.7 – Концентрация общего железа в воде на всех этапах фильтрования

В таблице 2.6 и на рисунке 2.8 представлены результаты исследований по удалению марганца на всех этапах эксперимента.

Таблица 2.6 – Концентрация марганца в воде по этапам очистки

Вид окислителя - загрузка фильтра 2 ступени	Концентрация марганца, мг/дм ³		
	исходная вода	фильтр 1 ступени	фильтр 2 ступени
1	2	3	4
Гипохлорит натрия – «Бризант»	2,36	1,8	0,03
Гипохлорит натрия – песок кварцевый	2,36	1,8	1,3
Перманганат калия – «Бризант»	2,36	1,8	0,05
Перманганат калия – песок кварцевый	2,36	1,8	0,18

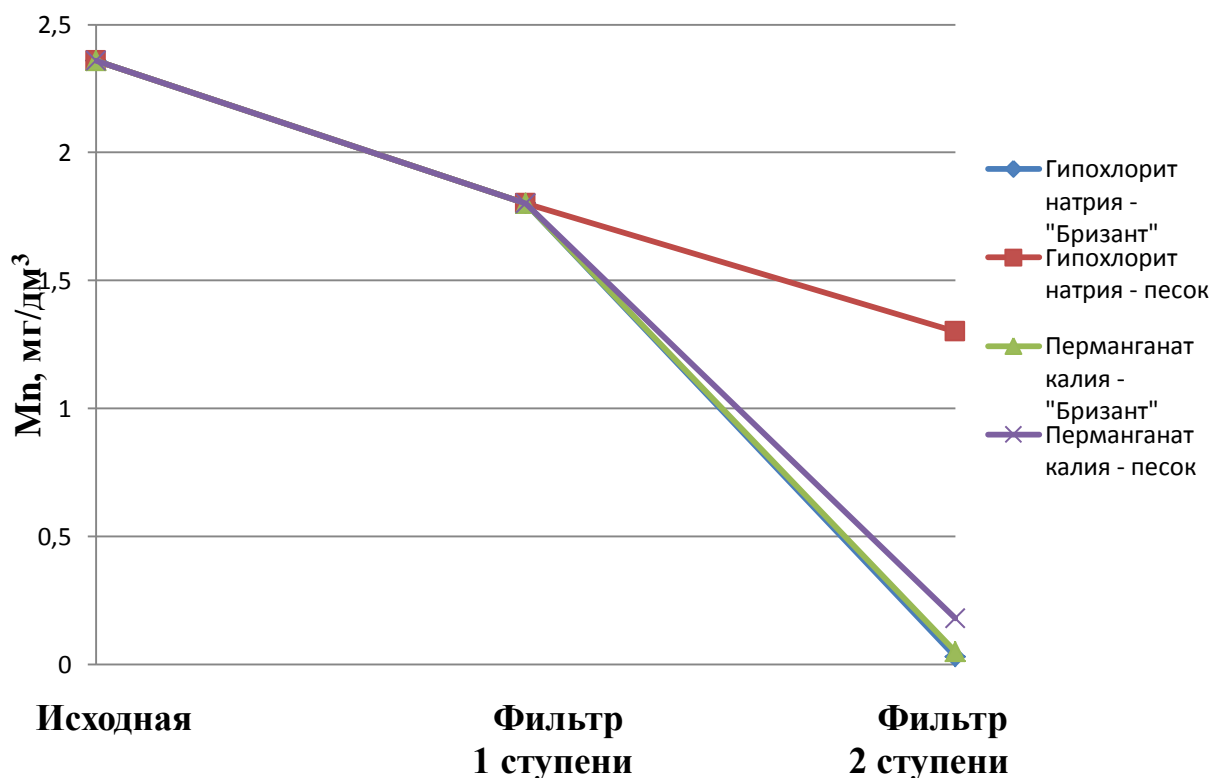


Рисунок 2.8 – Концентрация марганца в воде на всех этапах фильтрования

Результаты исследований показали, что во всех вариантах было достигнуто снижение концентрации железа ниже $0,3 \text{ мг/дм}^3$ (ПДК). Но удалить марганец фильтрованием через кварцевый песок при столь низких для процесса деманганации значениях pH воды даже в присутствии окислителей не удалось. Эффект удаления марганца при дозировании гипохлорита натрия составил 44,92%, в присутствии перманганата калия – 92,37%, что является недостаточным. Процесс удаления марганца активизируется при фильтровании воды через фильтрующий материал «Бризант». В составе данного материала имеется природный пиролюзит, который является катализатором. В данном случае вид реагента-окислителя не имеет значения. Удовлетворительные результаты получены как при добавлении гипохлорита натрия ($0,03 \text{ мг/дм}^3$), так и при добавлении перманганата калия ($0,05 \text{ мг/дм}^3$).

Для практического использования рекомендован гипохлорит натрия, как более дешевый и доступный реагент.

Выводы по главе

1. Удаление избыточного содержания растворенных газов (углекислоты, сероводорода) на станциях обезжелезивания подземной воды возможно методом барботирования в свободном объеме.
2. В статических условиях максимальный эффект удаления углекислоты составил 81-83 %.
3. Оптимальными параметрами барботажа, позволяющими снизить концентрацию CO_2 ниже рекомендуемых 40 мг/дм^3 , являются: интенсивность подачи воздуха $2-3 \text{ л/(с}\cdot\text{м}^2)$, продолжительности аэрации не более 10 мин.
4. Для окисления трудноудаляемых форм железа, а также марганца используются сильные окислители: перманганат калия и гипохлорит натрия.
5. Введение реагента целесообразней производить после первой ступени фильтрования.
6. Для наиболее эффективного снижения в воде концентрации железа и марганца рекомендуется использовать в качестве окислителя – гипохлорит натрия, для загрузки фильтров второй ступени – фильтрующий материал «Бризант». При этом наблюдается максимальный эффект удаления железа 99,62%, марганца 98,73%.

3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Выбор и обоснование технологической схемы станции очистки воды п. Новотарманский

Выбор технологической схемы очистки воды определяется требованиями, предъявляемыми к качеству воды, и показателями качества исходной подземной воды. Качество подземной вода п. Новотарманский представлено в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Качество исходной воды п. Новотарманский

Наименование показателя	Единицы измерения	Значение показателя в исходной воде	Нормативы (ПДК) [1], не более
1	2	3	4
Цветность	град ПКШ	42	20
Мутность	мг/дм ³	4,06	1,5
pH	-	6,53	6-9
Железо общее	мг/дм ³	22,4	0,3
Марганец	мг/дм ³	2,67	0,1
Аммиак (по азоту)	мг/дм ³	6,4	2,0
Перманганатная окисляемость	мгО/дм ³	17	5,0
Растворенная углекислота	мг/дм ³	103,4	-

Исходная вода не удовлетворяет требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 [1] "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества" по всем показателям, представленным в таблице. Кроме того, в воде присутствует значительное количество растворенной углекислоты, которая затрудняет процессы удаления железа и марганца.

Предлагаемая технологическая схема очистки подземной воды п. Новотарманский включает: удаление растворенной углекислоты в барботажном дегазаторе, двухступенчатое фильтрование с вводом реагента-окислителя перед второй ступенью фильтров и обеззараживание на установках УФО.

Исследования по удалению углекислоты, проведенные в лабораторных условиях на исходной воде, показали, что эффект удаления углекислоты 80 % в статических условиях может быть достигнут при 15-ти минутной аэрации и удельном расходе воздуха $q_{уд} = 4,5 \div 5$. Но, по данным [47], в динамических условиях максимальный эффект удаления углекислоты барботированием не превышает 60%. Эффективность снижения углекислоты в дегазаторе значительно повышается в присутствии загрузки, так как происходит увеличение поверхности контакта воды и воздуха. Для обеспечения снижения концентрации растворенной углекислоты менее 40 мг/дм³ в данной технологической схеме принят барботажный дегазатор с гравийной загрузкой.

В процессе дегазации-аэрации вода насыщается кислородом воздуха и происходит окисление железа. Затем вода подается на фильтры первой ступени, где в объеме загрузки завершается образование хлопьев гидроксида трехвалентного железа и их задержание. В качестве фильтрующей загрузки фильтров первой ступени используется кварцевый песок диаметром фракций 0,8-2,0 мм.

В результате проведенных исследований установлено, что после фильтров первой ступени концентрация железа составляет не более 1,7 мг/дм³ при исходном содержании 26 мг/дм³, концентрация марганца и перманганатная окисляемость снижаются не более чем на 50 %.

Высокая перманганатная окисляемость может являться признаком того, что в воде присутствуют железоорганические комплексы, для разрушения которых требуется введение более сильного (чем кислород) окислителя, в данном случае принят гипохлорит натрия.

Удаление остаточного железа, а также марганца осуществляется на фильтрах второй ступени с предварительным вводом окислителя (гипохлорита натрия). Для обеспечения необходимого контакта воды с реагентом перед фильтрами второй ступени предусматривается контактная камера.

В качестве загрузки фильтров принят фильтрующий материал «БРИЗАНТ» диаметром фракций 0,7-1,5 мм. Принцип работы фильтрующей загрузки «БРИЗАНТ» основан на сдвиге равновесия реакций гидролиза ионов металлов в сторону образования нерастворимых гидратированных оксидов металлов ($\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, MnOOH), а так же на понижении Red/Ox потенциала окислительно-восстановительных реакций за счет нейтрализации ионов водорода, образующихся в результате протекания реакций гидролиза и окисления. Исходным сырьем для изготовления фильтрующего материала "БРИЗАНТ" являются природные карбонатные породы осадочного происхождения, цеолиты, пиролюзиты, которые добываются в карьерах Российской Федерации.

Для обеззараживания воды принято бактерицидное облучение. Это позволяет избежать дополнительных затрат на реагенты и никаким образом не сказывается на физико-химических свойствах обеззараживаемой воды.

Рекомендуемая технологическая схема очистки подземной воды п. Новотарманский представлена на рисунке 3.1

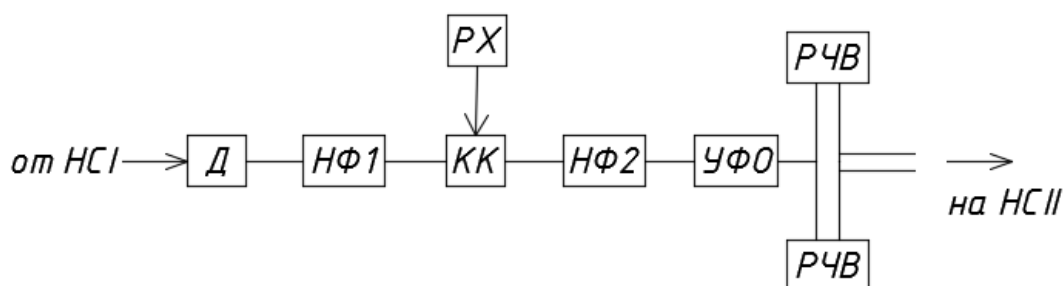


Рисунок 3.1 – Технологическая схема очистки воды п. Новотарманский где НС I – насосная станция первого подъема;

Д – дегазатор;

КК – контактная камера;

НФ1 – напорные фильтры первой ступени;

НФ2 – напорные фильтры второй ступени;

УФО – ультрафиолетовое обеззараживание;

РЧВ – резервуар чистой воды;

НСП – насосная станция второго подъема;

РХ – реагентное хозяйство.

Учитывая значения потерь напора в коммуникациях и сооружениях, строится высотная схема. Высотная схема представлена на рисунке 3.2.

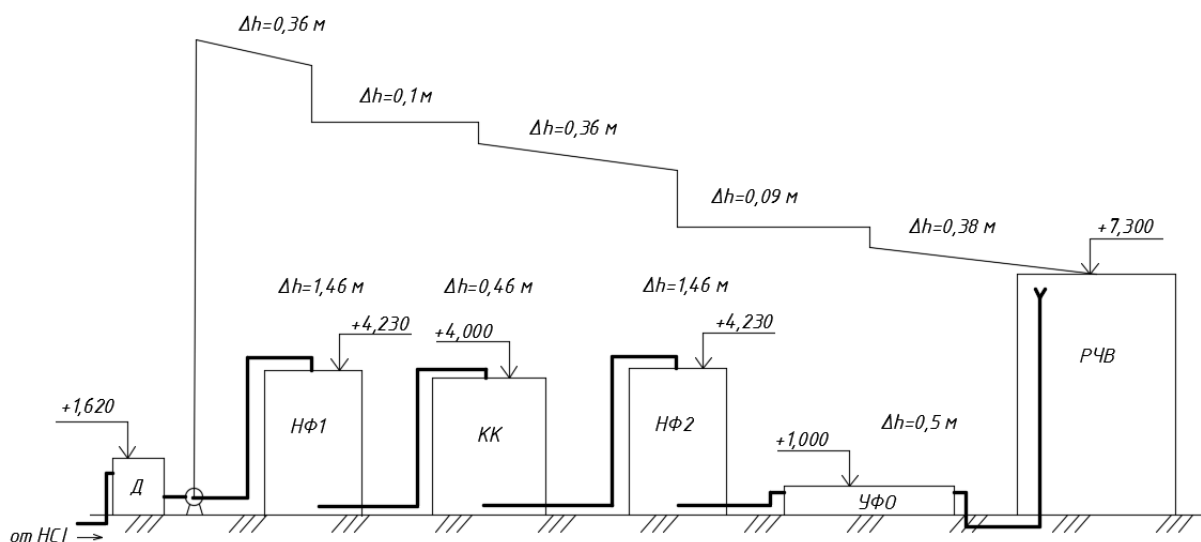


Рисунок 3.2 – Высотная схема

3.2 Определение производительности водоочистной станции

Расчетная суточная производительность станции:

$$Q_p = Q_{\Pi} + W_{\text{в}} \cdot n_{1\phi} \quad (\text{м}^3/\text{сут}) \quad (3.1)$$

где Q_{Π} – полезная производительность станции ($\text{м}^3/\text{сут}$);

$W_{\text{в}}$ – объем воды, необходимый для промывки фильтра (из п. 6.12);

$n_{1\phi}$ – количество фильтров, промываемых в один день.

$$Q_p = 3000 + 40,72 \cdot 4 = 3162,88 \quad (\text{м}^3/\text{сут})$$

$$3162,88 \text{ м}^3/\text{сут} = 137,5 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,038 \text{ м}^3/\text{с} = 38 \text{ л/с}.$$

3.3 Расчет барботажного дегазатора с гравийной загрузкой

В исходной воде наблюдается повышенное содержание растворенной углекислоты. При таких показателях большая часть бикарбоната железа находится в молекулярном виде. Использование аэрации позволяет удалить избыток углекислоты и обогатить воду кислородом. Применение барботажного дегазатора с гравийной загрузкой позволяет сэкономить

пространство, так как дегазатор имеет небольшие размеры. А также, дегазаторы данного типа легки в управлении, монтаже, пусконаладке и безопасны в эксплуатации.

По результатам исследования [47] было выявлено, что высота слоя загрузки не оказывает существенного влияния на процесс дегазации и, исходя из конструктивных соображений, принята в размере $h=1,0$ м.

Для обеспечения требуемого эффекта удаления углекислоты не менее 70% приняты следующие параметры: средний диаметр фракций загрузки - $d_{cp} = 15$ мм ($f = 272 \text{ м}^2/\text{м}^3$), продолжительность продувки $t=10$ мин, удельный расход воздуха $q_{уд} = 3,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Ожидаемое содержание углекислоты в воде после дегазатора, составит

$$CO_{2\text{кон}} = 80,04 - 1755,64 \cdot d_{cp} - 0,72 \cdot q_{уд} - 339,57 \cdot t + 8,9 \cdot h + 1323,87 \cdot d_{cp} \cdot t \quad (3.2) \\ + 763,39 \cdot t^2 + 23,14 \cdot t \cdot h - 16,12 \cdot h^2$$

$$CO_{2\text{кон}} = 80,04 - 1755,64 \cdot 0,015 - 0,72 \cdot 3,5 - 339,57 \cdot 0,167 + 8,9 \cdot 1 + 1323,87 \cdot 0,015 \cdot \\ \cdot 0,167 + 763,39 \cdot 0,167^2 + 23,14 \cdot 0,167 \cdot 1 - 16,12 \cdot 1^2 = 15,73 \text{ мг/дм}^3$$

Количество удаляемого газа

$$G = Q \cdot (CO_{2\text{нач}} - CO_{2\text{кон}}) \quad (3.3)$$

где Q – производительность станции, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$CO_{2\text{нач}}$ – содержание углекислоты в исходной воде, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$CO_{2\text{кон}}$ – концентрация углекислоты после дегазатора, $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$G = 131,79 \cdot (0,103 - 0,016) = 11,466 \text{ кг/ч}$$

Средняя движущая сила:

$$\Delta C = \frac{(CO_{2\text{нач}} - CO_{2\text{кон}})}{2,32 \cdot \lg\left(\frac{CO_{2\text{нач}}}{CO_{2\text{кон}}}\right)}, \text{ кг}/\text{м}^3 \quad (3.4)$$

$$\Delta C = \frac{(0,103 - 0,016)}{2,32 \cdot \lg\left(\frac{0,103}{0,016}\right)} = 0,0464 \text{ кг}/\text{м}^3$$

Из рисунка 3.3 [47] коэффициент десорбции $\beta_v=0.028$ м/ч

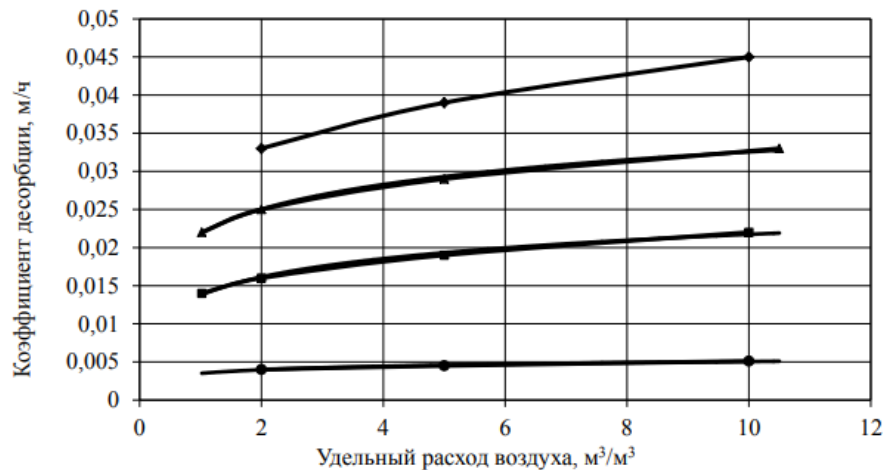


Рисунок 3.3 – Зависимость коэффициента десорбции от удельного расхода воздуха при различных средних диаметрах загрузки:
 ◆ - $d_{cp} = 35$ мм; ▲ – $d_{cp} = 15$ мм; ■ - $d_{cp} = 7,5$ мм ● – $d_{cp} = 3,5$ мм
 Тогда площадь поверхности загрузки

$$F = \frac{G}{\beta \cdot \Delta C}, \text{ м}^2 \quad (3.5)$$

$$F = \frac{11,466}{0,028 \cdot 0,0464} = 8825,43 \text{ м}^2$$

Объем гравийного дегазатора

$$V = \frac{F}{f}, \text{ м}^3 \quad (3.6)$$

f – удельная поверхность загрузки, $\text{м}^2/\text{м}^3$ ($272 \text{ м}^2/\text{м}^3$)

$$V = \frac{8825,43}{272} = 32,45 \text{ м}^3$$

Размеры дегазатора приняты: $h \times a \times b = 2,0 \times 4,0 \times 5,0$ м.

Расход воздуха при принятом водо-воздушном соотношении составляет:

$$Q_{\text{воз}} = Q_p \cdot q_{\text{уд}}, \text{ л/с} \quad (3.7)$$

$$Q_{\text{воз}} = 38 \cdot 3,5 = 133 \text{ л/с} = 478,8 \text{ м}^3/\text{ч}$$

По расходу воздуха подбирается компрессор (п.3.7).

Подача воздуха осуществляется по трубопроводу диаметром 100 мм в промежуточные днище и через щелевые колпачки равномерно

распределяется по всей площади дегазатора. К установке приняты щелевые дренажные колпачки из нержавеющей стали ФЭЛ-0,2-8,7-1-Н-G1/2-В диаметром 74 мм, высотой 40 мм.

Согласно п. 9.90 [48] количество колпачков на 1 м² рабочей площади дегазатора принято $b = 35$ шт. Количество колпачков, необходимых на всю площадь составляет:

$$n_{\text{к}} = b \cdot F_{\text{д}}, \text{ шт} \quad (3.8)$$

$$n_{\text{к}} = 35 \cdot 4 \cdot 5 = 700 \text{ шт}$$

Потери напора в щелевых колпачках определяются по п. 9.90 [48]:

$$h_{\text{кк}}^{\text{PC}} = \zeta \frac{v_{\text{щ}}^2}{2g}, \text{ м} \quad (3.9)$$

где $v_{\text{щ}} = 1,5$ - скорость движения воды в щелях колпачка, м/с;

$\zeta = 4$ - коэффициент гидравлического сопротивления по п. 9.90 [48]

$$h_{\text{кк}}^{\text{PC}} = 4 \frac{1,5^2}{2 \cdot 9,81} = 0,46 \text{ м}$$

Исходная вода подается в верхнюю часть дегазатора по трубопроводу диаметром 200 мм и отводится в карман через решетки, расположенные в нижней части загрузки. Труба отвода воды, диаметром 200 мм, располагается в нижней части кармана. Также в дегазаторе имеется переливной трубопровод диаметром 150 мм, в случае переполнения дегазатора при увеличении подачи.

Подача воды от дегазатора на последующие элементы очистки осуществляется насосами. Напор насоса складывается из:

$$H = H_{\text{г}} + h_{\text{кк}}^{\text{PC}} + h_{\text{пт}} + 2 \cdot h_{\text{ф}}, \text{ м} \quad (3.10)$$

где $H_{\text{г}}$ – геометрическая высота подъема воды:

$$H_{\text{г}} = 7,3 - 1,6 = 5,7 \text{ м}$$

$h_{\text{ф}}$ – потери в фильтре:

$$h_{\text{ф}} = (a + b \cdot \omega) \cdot H_{\text{з}} + h_{\text{PC}}, \text{ м} \quad (3.11)$$

где $a = 0,76$, $b = 0,017$ – параметры для песка с размером фракций 0,5-1 мм;

H_3 – высота слоя загрузки, м (1,0 м);

h_{PC} – потери напора в щелевых колпачках на фильтрах, м (0,46 м);

$$h_{\Phi} = (0,76 + 0,017 \cdot 14) \cdot 1,0 + 0,46 = 1,46 \text{ м}$$

$h_{\text{ПТ}}$ – потери напора во всасывающем и напорном участках трубопровода, подающего воду к распределительной системе фильтра:

$$h_{\text{ПТ}} = h_l + h_M, \text{ м} \quad (3.12)$$

где h_l – потери напора по длине трубопровода:

$$h_l = i \cdot l, \text{ м} \quad (3.13)$$

где i – гидравлический уклон по [49];

$l = 30$ – суммарная длина всасывающего и напорного трубопроводов, м;

h_M – потери напора на местные сопротивления:

$$h_M = \Sigma \zeta \cdot \frac{V^2}{2g}, \text{ м} \quad (3.14)$$

где $\Sigma \zeta$ – сумма местных сопротивлений:

$$\Sigma \zeta = 3\zeta_{\text{ВХ}} + 7\zeta_{\text{ТР}}^{\text{ПР}} + 7\zeta_{\text{КОЛ}} + 5\zeta_3 + 3\zeta_{\text{ОБР}} + 4\zeta_{\text{ВЫХ}} \quad (3.15)$$

По [2] принято: $d = 200$ мм, $V = 1,1$ м/с.

$$\Sigma \zeta = 3 \cdot 0,5 + 7 \cdot 0,1 + 7 \cdot 0,26 + 5 \cdot 0,14 + 3 \cdot 1,7 + 4 \cdot 1 = 13,82$$

Потери напора на местные сопротивления по формуле 3.14:

$$h_M = 13,82 \cdot \frac{1,1^2}{2 \cdot 9,81} = 0,85 \text{ м}$$

Потери напора по длине рассчитаны по формуле 3.13:

$$h_l = 0,0125 \cdot 8,2 + 0,0125 \cdot 10,3 + 0,0308 \cdot 7,43 + 0,0125 \cdot 10,5 + 0,0308 \cdot 7,43 + 0,0125 \cdot 7,5 + 0,0125 \cdot 30 = 1,29 \text{ м}$$

Таким образом, потери напора во всасывающем и напорном участках трубопровода, подающего воду к распределительной системе фильтра, будут равны:

$$h_{\text{ПТ}} = 1,29 + 0,85 = 2,14 \text{ м}$$

По формуле 3.10 напор насоса составит:

$$H = 5,7 + 0,46 + 2,14 + 2 \cdot 1,46 = 11,22 \text{ м}$$

По найденному напору и подаче подобран насос фирмы Grundfos марки TP 125-130/6 (1 рабочий, 1 резервный), габаритные размеры 670×540×1000 мм. Характеристика насоса представлена на рис. 3.4

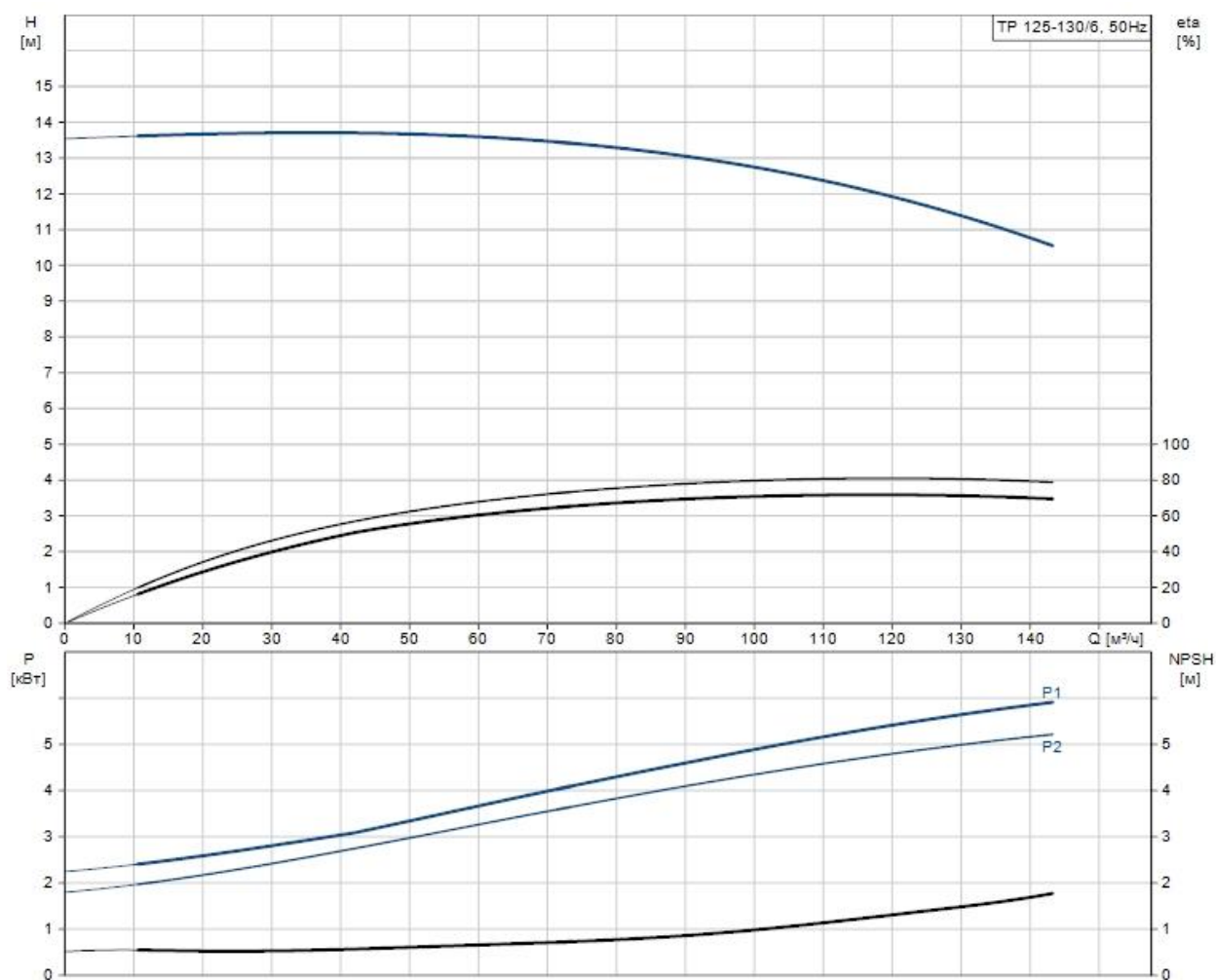


Рисунок 3.4 – Характеристика насоса Grundfos марки TP 125-130/6

3.4 Реагентное хозяйство

Требуемая доза гипохлорита натрия определена опытным путем (глава 2) и составляет 15 мг/дм³. Таким образом, расход гипохлорита:

$$Q_{NaOCl} = D \cdot Q_{\text{час}} \quad (3.16)$$

$$Q_{NaOCl} = 15 \cdot 137,5 = 2062,5 \text{ г/ч}$$

Необходимый суточный объем гипохлорита:

$$W_{NaOCl}^{\text{сут}} = \frac{Q_{NaOCl}}{\rho}, \text{ м}^3/\text{сут} \quad (3.17)$$

$$W_{NaOCl}^{\text{сут}} = \frac{2062,5 \cdot 24}{1,27 \cdot 10^6} = 0,039 \text{ м}^3/\text{сут} = 39 \text{ л/сут} = 1,63 \text{ л/ч}$$

Транспортировка раствора гипохлорита натрия осуществляется в полиэтиленовых контейнерах $V_1 = 120$ л, защищённых от солнечного света. Данные контейнеры оборудованы отверстием для подключения трубки, подающей реагент в контактную камеру. Габаритные размеры контейнера: 390 x 390 x 865 мм.

Продолжительность расходования гипохлорита натрия в объеме одной емкости:

$$T_1 = \frac{V_1}{W_{NaOCl}^{сут}}, \text{сут} \quad (3.18)$$
$$T_1 = \frac{120}{39} = 3,08 \text{ сут}$$

На 30-ти суточный запас предусматриваются 10 контейнеров с NaOCl объемом 120 л.

Ввод гипохлорита в обрабатываемую воду осуществляется в трубопровод перед контактной камерой насосом-дозатором. Подбор насоса осуществлен по расходу реагента. Принят насос-дозатор Grundfos DDI 2,5-10 производительностью до 2,5 л/ч, максимальное противодавление 10 бар, габаритные размеры 240×175,5×120 мм. Диаметр подводящего трубопроводов $d = 25$ мм.

3.5 Расчет контактной камеры

По результатам эксперимента было определено, что после введения реагента достаточный эффект окисления достигается при 10 минутном контакте окислителя и воды. Для обеспечения продолжительности контакта проектом предусмотрена коррозионно-устойчивая напорная контактная камера.

Объем камеры, рассчитанный на 10-ти минутный контакт воды и окислителя:

$$W_{кк} = \frac{Q_ч \cdot t}{60}, \text{м}^3 \quad (3.19)$$

где $Q_ч = 131,79$ – часовой расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$.

$$W_{\text{кк}} = \frac{131,79 \cdot 10}{60} = 21,97 \text{ м}^3$$

По полученному необходимому объему подобрана контактная камера КК-30Л с габаритными размерами: $d = 3,0 \text{ м}$, $h = 4,0 \text{ м}$.

Подача воды осуществляется по трубопроводу диаметром 200 мм в верхнюю часть камеры. Отводящий трубопровод – диаметром 200 мм. Камера оборудуется сбросным трубопроводом (для промывки и опорожнения).

3.6 Расчет напорных фильтров первой ступени

Напорные фильтры для обезжелезивания представлены в виде стальных закрытых цилиндрических резервуаров. Составные элементы и оборудование напорных фильтров – дренаж типа «ложное дно», фильтрующий слой, трубы и регулирующая арматура для подачи и отвода фильтруемой и промывной воды. Принята загрузка из кварцевого песка с $d = 0,8-1,8 \text{ мм}$, высота слоя загрузки 1 м, скоростью фильтрования $v_{\text{н}} = 6 \text{ м/ч}$. Промывка фильтров водо-воздушная 1 раз в двое суток.

Общая расчетная площадь фильтров определяется по формуле:

$$F = \frac{Q_{\text{сут}}}{T \cdot v_{\text{н}} - 3,6 \cdot n \cdot (t_1 \cdot \omega_1 + t_2 \cdot \omega_2) - n \cdot t_{\text{пр}} \cdot v_{\text{н}} - n \cdot t_{\text{ст}} \cdot v_{\text{н}}}, \text{ м}^2 \quad (3.20)$$

где $Q_{\text{сут}} = 3162,88$ - производительность станции с учетом собственных нужд, $\text{м}^3/\text{сут}$;

$T = 24$ - принятая продолжительность работы станции, ч;

$v_{\text{н}} = 6$ - расчетная скорость фильтрования, принята по таблице 21 [48], м/ч;

$n = 0,5$ - число промывок фильтров за сутки;

$\omega_1 = 4$ - интенсивность подачи воды при совместной подаче воды и воздуха, согласно п.9,95 [48], $\text{л/с} \cdot \text{м}^2$;

t_1 - продолжительность совместной водо-воздушной промывки, ч (4 мин = 0,067 ч по п.9.95 [48]);

$\omega_2 = 8$ - интенсивность подачи воды при промывке (без продувки), согласно п.9,95 [48], л/с·м²;

t_2 - продолжительность подачи воды при промывке, ч (4 мин = 0,067 ч по п.9.95 [48]);

$t_{пр} = 0,5$ - продолжительность простоя фильтра в связи с промывкой, ч;

$t_{ст} = 0,17$ - продолжительность сброса первого фильтрата, ч.

$$F = \frac{3162,88}{24 \cdot 6 - 3,6 \cdot 0,5 \cdot (0,067 \cdot 4 + 0,067 \cdot 8) - 0,5 \cdot 0,5 \cdot 6 - 0,5 \cdot 0,17 \cdot 6} = 22,50 \text{ м}^2$$

Количество фильтров на станции обезжелезивания:

$$n = \frac{F}{F_1} \text{ шт} \quad (3.21)$$

где F_1 - площадь одного фильтра, определяется по формуле:

$$F_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (3.22)$$

К установке на очистной станции приняты фильтры осветительные ФОВ-3,0-0,6, диаметр одного фильтра $d = 3,0$ м, высота $h = 4,23$ м. Площадь одного фильтра:

$$F_1 = \frac{3,14 \cdot 3,0^2}{4} = 7,07 \text{ м}^2$$

Количество фильтров:

$$n = \frac{22,50}{7,07} = 3,18 \text{ шт}$$

Принято 4 напорных фильтра, общей площадью $F_{дейст} = 28,28 \text{ м}^2$. Диаметр подводящего и отводящего трубопроводов $d = 100$ мм, отвод промывных вод $d = 250$ мм, сброс первого фильтрата $d = 100$ мм.

Пересчет скорости при нормальном режиме для фактической площади фильтров:

$$v_n = \frac{Q_{сут}}{F \cdot 24}, \text{ м/ч} \quad (3.23)$$

$$v_H = \frac{3162,88}{28,28 \cdot 24} = 4,66, \text{ м/с}$$

При количестве фильтров $n = 4$ проверяем соотношение:

$$V_\phi = V_H \cdot \frac{n}{n-1}, \text{ м/ч} \quad (3.24)$$

$$V_\phi = 4,66 \cdot \frac{4}{4-1} = 6,21 \text{ м/ч}$$

Скорость фильтрования при форсированном режиме не превышает значения, указанного в таблице 15 [48].

Расход воды на промывку одного фильтра $q_{\text{пр}}$, $\text{м}^3/\text{с}$, равен:

$$q_{\text{пр}} = F_1 \cdot \omega_2, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.25)$$

$$q_{\text{пр}} = 7,07 \cdot 8 = 56,56 \text{ л/с} = 0,057 \text{ м}^3/\text{с}$$

Согласно [49] диаметр трубопровода, подающего промывную воду, принят 250 мм, при этом скорость $V=1,07$ м/с.

К установке приняты щелевые дренажные колпачки первого исполнения ФЭЛ-0,2-8,7-1-Н-G1/2-В диаметром 74 мм, высотой 40 мм. Колпачки равномерно располагаются на «ложном дне» фильтра.

Согласно п. 9.90 [48] количество колпачков на 1 м^2 рабочей площади фильтра принято $b = 35$ шт. Количество колпачков:

$$n_K = b \cdot F_{1\phi}, \text{ шт} \quad (3.26)$$

$$n_K = 35 \cdot 7,07 = 247,45 \approx 248 \text{ шт}$$

Потери напора в щелевых колпачках определяются по п. 9.90 [48]:

$$h_{\text{PC}} = \zeta \frac{v_{\text{щ}}^2}{2g}, \text{ м} \quad (3.27)$$

где $v_{\text{щ}} = 1,5$ - скорость движения воды в щелях колпачка, м/с;

$\zeta = 4$ - коэффициент гидравлического сопротивления по п. 9.90 [48]

$$h_{\text{PC}} = 4 \frac{1,5^2}{2 \cdot 9,81} = 0,46 \text{ м}$$

Расход воздуха $q_{\text{в}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, для промывки определяется исходя из его интенсивности подачи:

$$q_B = \omega_B \cdot F_1 \quad (3.28)$$

где ω_B – интенсивность подачи воздуха, л/(с · м²) (по п.9.95 [48] принята 15 л/(с · м²));

$$q_B = 15 \cdot 7,07 = 106,05 \text{ л/с} = 381,78 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Диаметр трубопровода, подающего воздух на промывку, принят 100мм.

Подача воды на промывку осуществляется насосами. По формуле 6.6 производительность промывного насоса равна $q_{пр} = 56,56 \text{ л/с} = 203,62 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Необходимый напор промывного насоса:

$$H = H_r + h + h_\phi + h_{пт} + 2, \text{ м} \quad (3.29)$$

где H_r – геометрическая высота подъема воды:

$$H_r = 4,2 + 0,5 = 4,7 \text{ м}$$

$h = 0,46$ – потери напора в распределительной системе при промывке, м;

h_ϕ – потери напора в фильтрующем слое (формула 3.11)

$h_{пт}$ – потери напора во всасывающем и напорном участках трубопровода, подающего воду к фильтру, м;

$$\Sigma \zeta = \zeta_{вх} + 3\zeta_{тр}^{пр} + \zeta_{тр}^{пов} + 4\zeta_{кол} + 3\zeta_3 + \zeta_{обр} + \zeta_{вых} \quad (3.30)$$

$$\Sigma \zeta = 0,5 + 3 \cdot 0,1 + 1 + 4 \cdot 0,26 + 3 \cdot 0,14 + 1,7 + 1 = 6,38$$

Потери напора на местные сопротивления по формуле 3.14:

$$h_m = 6,38 \cdot \frac{2,1^2}{2 \cdot 9,81} = 1,43 \text{ м}$$

Потери напора по длине рассчитаны по формуле 3.13:

$$h_l = 0,043 \cdot 13 = 0,559 \text{ м}$$

Таким образом, потери напора во всасывающем и напорном участках трубопровода, подающего воду к коллектору распределительной системы фильтра, будут равны (по формуле 3.12):

$$h_{пт} = 1,43 + 0,559 = 1,989 \text{ м}$$

По формуле 3.11 потери в фильтре:

$$h_\phi = (0,76 + 0,017 \cdot 14) \cdot 1 = 0,998 \text{ м}$$

$$H = 4,7 + 0,46 + 0,998 + 1,989 + 2 = 10,15 \text{ м}$$

По полученным значениям напора и подачи подобран насос фирмы Grundfos марки NB 100-200/211 (1 рабочий, 1 резервный), габаритные размеры 756×381×480 мм, масса агрегата 214 кг. Характеристика насоса представлена на рис. 3.5

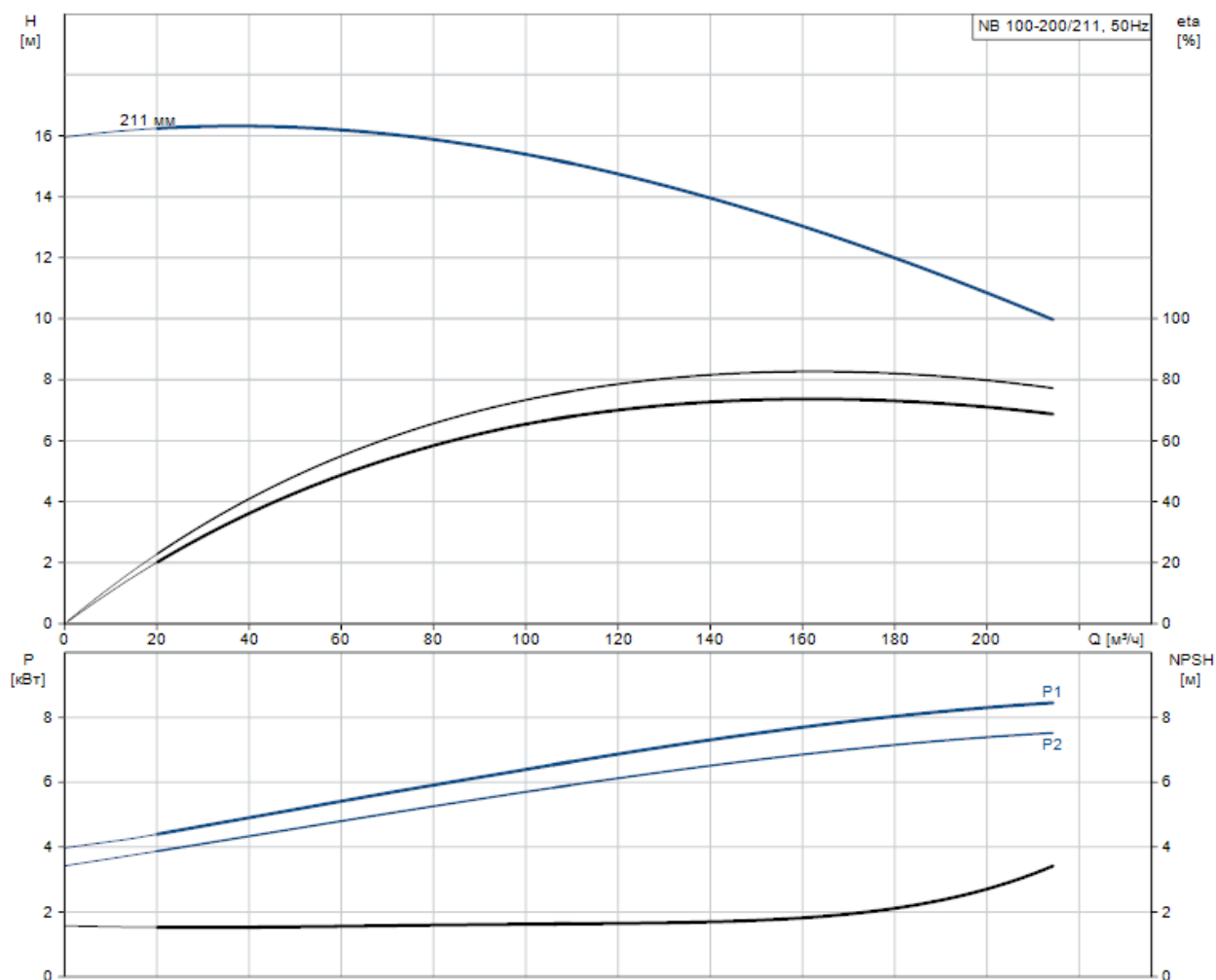


Рисунок 3.5 – Характеристика насоса Grundfos марки NB 100-200/211

3.7 Напорные фильтры второй ступени

Для напорных фильтров второй ступени принята загрузка «Бризант». Исходным сырьем для изготовления данной загрузки являются природные карбонатные породы осадочного происхождения, цеолиты, пиролюзиты, которые добываются в карьерах Российской Федерации. Сырьё модифицируется до требуемых показателей пористости и удельной поверхности. Это приводит к увеличению грязеемкости загрузки и к ускорению реакции гидролиза ионов металлов.

Принята загрузка с $d_3 = 0,7-1,5$ мм, скоростью фильтрования $v_n = 6$ м/ч, высота слоя $h = 1,0$ м. Промывка фильтров осуществляется водой 1 раз в двое суток.

Так как фильтрующая загрузка «Бризант» мало отличается по своим физическим свойствам от кварцевого песка, то характеристики, которые принимаются для дальнейших расчетов, будут совпадать с характеристиками для напорных фильтров первой ступени. Таким образом, расчет напорных фильтров второй ступени аналогичен с п.6.8

Для очистки воды в качестве напорных фильтров второй ступени приняты фильтры осветительные ФОВ-3,0-0,6, диаметр одного фильтра $d = 3,0$ м., высота $h = 4,23$ м.

На станции необходима подача воздуха для дегазации и для промывки фильтров. Расход воздуха необходимый для дегазации $Q_{\text{воз}} = 478,8$ м³/ч (п.3.3, формула 3.6), для промывки фильтров $Q_{\text{воз}} = 381,78$ м³/ч (п.3.6, формула 6.9).

Компрессор подбирается на расход воздуха для дегазации. В комплекте с компрессором устанавливается ресивер. Благодаря его работе сеть снабжения не перегружается. К тому же, ресивер сглаживает неровности потребления сжатого воздуха, помогает наладить бесперебойную работу оборудования.

Включение компрессора производится $n=2$ раза в час на $t=10$ минут. Объем воздуха, закачиваемого компрессором в ресивер, за один раз:

$$V_K = \frac{Q_{\text{воз}}}{n}, \text{ м}^3 \quad (3.31)$$
$$V_K = \frac{432}{2} = 216 \text{ м}^3$$

Таким образом, производительность компрессора:

$$Q_K = \frac{V_K}{t}, \text{ м}^3/\text{мин} \quad (3.32)$$
$$Q_K = \frac{216}{10} = 21,6 \text{ м}^3/\text{мин} \approx 23,0 \text{ м}^3/\text{мин} = 23000 \text{ л}/\text{мин}$$

Подача воздуха осуществляется компрессором REMEZA BK 60P-8. Характеристики компрессора представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Технические характеристики компрессора ED-21.6/8 DALI

Производительность	23000 л/мин
Максимальное давление	10 бар
Мощность	110 кВт
Питание	400 В
С осушителем	да
Тип двигателя	Электрический
Уровень шума	75 дБ
Габаритные размеры	3015x1590x2070 мм

Необходимый объем ресивера можно найти по закону Бойля-Мариотта:

$$P_1 V_K = P_2 V_2 \quad (3.33)$$

где P_1 – атмосферное давление, атм (1 атм);

P_2 – давление ресивера, при котором происходит включение компрессора, (6 атм);

V_2 – объем ресивера, м³.

Тогда объем ресивера (V_2) будет равен:

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2}$$

$$V_2 = \frac{1 \cdot 230}{6} = 38,3 \text{ м}^3$$

По полученному значению подобраны 2 ресивера В-20 м³. Диаметр трубопровода для входа воздуха d=175 мм, для выхода воздуха d=100 мм.

Характеристики ресивера представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Технические характеристики ресивера В-20 м³

Объем	20 м ³
Максимальное давление	10 бар
Габаритные размеры	диаметр = 2000 мм, высота = 6870 мм
Вес	4455 кг

3.8 Обеззараживание воды

В целях обеззараживания воды принято бактерицидное облучение. Эффект УФ-излучения основан на фотохимическом воздействии на бактерии, которые находятся в воде, ультрафиолетовой бактерицидной энергией, излучаемой специальными лампами. Для человека данная технология абсолютно безопасна. УФ-излучения успешно борются с микроорганизмами-возбудителями и переносчиками опасных болезней ЖКТ. Под воздействием УФ структура воды не изменяется, не образуются и не вносятся чужеродные вещества. Немаловажно, что сохраняется естественный вкус жидкости. Действие бактерицидного облучения является почти мгновенным, и, следовательно, вода, прошедшая через установку, может поступать непосредственно к потребителю.

По часовому расходу $137,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ подобрана установка обеззараживания УДВ-5А300Н-10-150 (1 рабочая, 1 резервная). Основные технические характеристики представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Технические характеристики УДВ-5А300Н-10-150

Производительность	140 м ³ /ч
Количество ламп в камере	5 шт
Ресурс ламп	12 000 ч
Количество включений/выключений в течение срока службы, не более	2000
Условный диаметр входного и выходного патрубков камеры обеззараживания	150 мм
Напряжение питания, В	220±10%
Габаритные размеры (д х ш х в)	1324x450x410
Вес, не более	50 кг

Спецификация трубопроводов станции водоподготовки представлена в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Спецификация трубопроводов станции водоподготовки

Трубопровод	Расход, л/с	Диаметр, мм	Скорость, м/с
Подача воды на дегазатор	37	200	1,1
Подача воды на фильтры	37	200	1,1
Подача воды на один фильтр	9,25	100	1,18
Подача воды в контактную камеру	37	200	1,1
Отвод воды из контактной камеры	37	200	1,1
Отвод промывных вод	56,56	250	1,07
Сброс первого фильтрата	9,25	100	1,18
Подача воды на УФО	37	200	1,1
Подача воды в РЧВ	37	200	1,1
Подача воды на промывку	56,56	250	1,07
Подача воздуха в ресивер	383,3	175	15,94
Подача воздуха из ресивера на дегазатор и фильтры	133	100	16,94

3.9 Обработка промывных вод

Промывные воды, сбрасываемые в лоток на очистной станции, должны подвергаться обработке на специальных сооружениях. В качестве сооружений по обработке промывных вод на станции предусматриваются отстойники, объем которых складывается из объема воды, осадка и запасного объема

$$W = 1.2 \cdot W_B + W_{oc} \cdot T_B + W_3, \text{ м}^3 \quad (3.34)$$

где W_B – объем воды, образующийся при промывке фильтра, м^3 ;

W_{oc} – объем осадка, м^3 ;

T_B – продолжительность накопления осадка, сут (14 сут);

W_3 – объем защитной зоны, м^3 .

Объем воды, образующийся при промывке фильтра, определяется из выражения:

$$W_B = 0,06 \cdot f_1 \cdot (\omega_1 + \omega_2) \cdot (t_1 + t_2), \text{м}^3 \quad (3.35)$$

$$W_B = 0,06 \cdot 7,07 \cdot (4 + 8) \cdot (4 + 4) = 40,72, \text{м}^3.$$

Объем осадка зависит от количества выпадающего в осадок железа:

$$W_{\text{ос}} = \frac{1,91 \cdot q_{Fe} \cdot 100}{(100 - \omega_{\text{ос}}) \cdot 1000}, \text{м}^3 \quad (3.36)$$

где $\omega_{\text{ос}}$ – влажность осадка, % (при использовании реагентов в целях обезжелезивания влажность осадка составит 96,5%);

q_{Fe} – количество железа, выпадающего в осадок, кг/сут

$$q_{Fe} = \frac{Q_p \cdot C_{Fe}}{1000}, \text{кг/сут} \quad (3.37)$$

где Q_p – суточная производительность станции, м³/сут (3162,88 м³/сут);

C_{Fe} – содержание в исходной воде железа, мг/дм³ (24,0 мг/дм³);

$$q_{Fe} = \frac{3162,88 \cdot 24}{1000} = 75,91 \text{ кг/сут}$$

$$W_{\text{ос}} = \frac{1,91 \cdot 75,91 \cdot 100}{(100 - 96,5) \cdot 1000} = 4,14 \text{ м}^3$$

Принято два отстойника, размерами в плане 3,5х6,0 (м), тогда запасной объем при высоте 0,8 м будет равен 16,8 м³. Общий объем отстойника:

$$W = 1,2 \cdot 40,72 + 4,14 \cdot 14 + 16,8 = 123,62 \text{ м}^3$$

Учитывая объем получаемого осадка, его обезвоживание вакуум-фильтрованием экономически не выгодно. Поэтому, осадки, накопленные в отстойниках, машиной раз в две недели выгружаются из них и вывозятся за пределы станции на специализированные площадки, отстоянная вода возвращается на станцию перед дегазатором.

3.10 Песковое хозяйство

Объем песка, загружаемого в напорные фильтры:

$$W_{\text{п}} = n \cdot F_1 \cdot H_3, \text{м}^3 \quad (3.38)$$

$$W_{\Pi} = 4 \cdot 7,07 \cdot 1 = 28,28, \text{ м}^3$$

Годовая потребность дополнительного количества песка принимается в количестве 10% от общего объема песка в фильтрах:

$$W_{\Gamma} = W_{\Pi} \cdot 0,1, \text{ м}^3 \quad (3.39)$$

$$W_{\Gamma} = 28,28 \cdot 0,1 = 2,828 \text{ м}^3$$

Объем песка в одном фильтре:

$$W_{\Pi 1} = F_1 \cdot H_3, \text{ м}^3 \quad (3.40)$$

$$W_{\Pi 1} = 7,07 \cdot 1 = 7,07 \text{ м}^3$$

Общий объем песка:

$$W = W_{\Pi 1} + W_{\Gamma}, \text{ м}^3 \quad (3.41)$$

$$W = 7,07 + 2,828 = 9,898 \text{ м}^3$$

Хранение песка предусматривается в 50 кг мешках, размерами 105x55 см, складирование производится в три яруса. Количество мешков в ярусе:

$$n_{\text{м}} = \frac{\rho_{\text{м}} \cdot W}{50 \cdot 3}, \text{ шт} \quad (3.42)$$

где $\rho_{\text{м}} = 1500$ – насыпная плотность песка, кг/м³.

$$n_{\text{м}} = \frac{1500 \cdot 9,898}{50 \cdot 3} = 98,98 \text{ шт} \approx 99 \text{ шт}$$

Размеры площадки в плане: 5,25 x 2,75 м.

Загрузку «Бризант» необходимо хранить в закрытом неотапливаемом помещении. Срок эксплуатации неограничен, требуется лишь периодически, раз в 3-5 лет досыпать не более 5-30% из-за естественной истираемости, растворимости и уноса.

Объем «Бризанта» загружаемого в напорные фильтры (по формуле 3.38):

$$W_{\Pi} = 4 \cdot 7,07 \cdot 1,0 = 28,28, \text{ м}^3$$

Для расчета годовая потребность принята в размере 8% от общего объема загрузки в фильтрах. По формуле 3.39 необходимый годовой объем:

$$W_{\Gamma} = 28,28 \cdot 0,1 = 2,828 \text{ м}^3$$

Объем загрузки в одном фильтре (по формуле 3.40):

$$W_{\text{п1}} = 7,07 \cdot 1,0 = 7,07 \text{ м}^3$$

Общий объем загрузки «Бризант» (по формуле 3.41):

$$W = 7,07 + 2,828 = 9,898 \text{ м}^3$$

Доставка и хранение загрузки предусматривается в 50 кг мешках, размерами 105x55 см, складирование производится в пять ярусов. Насыпная плотность загрузки «Бризант» - 1600 кг/ м³. Количество мешков в ярусе:

$$n_{\text{м}} = \frac{1600 \cdot 9,898}{50 \cdot 5} = 63,35 \text{ шт} \approx 64 \text{ шт}$$

Размеры необходимого здания для хранения загрузки: 7,0 x 5,0 м.

3.11 Резервуары чистой воды

Объем РЧВ рассчитывается на 20% от суточного расхода воды [48]

$$W_{\text{РЧВ}} = \frac{20 \cdot Q_{\text{сут}}}{100}, \text{ м}^3 \tag{3.43}$$
$$W_{\text{РЧВ}} = \frac{20 \cdot 3162,88}{100} = 632,6 \text{ м}^3$$

Принято 2 вертикальных стальных резервуара объемом 400 м³ типа РВС 400. Размеры d=8,5 м, h=7,5 м.

Выводы по главе

1. Качество подземной воды п. Новотарманский не соответствует требованиям СанПиН по следующим показателям: железо общее, марганец, аммиак, перманганатная окисляемость, цветность, мутность.
2. Учитывая повышенное содержание в воде растворенной углекислоты предусмотрено ее удаление на барботажном дегазаторе с гравийной загрузкой перед подачей воды на фильтры.
3. Для удаления из воды марганца, а также снижения перманганатной окисляемости проектом предусматривается вторая ступень фильтров, загруженных фильтрующим материалом «Бризант».
4. Разработанная технологическая схема позволяет получить качество воды, соответствующее требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества"

4. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

В начале 2020 года в России был принят национальный стандарт по жизненному циклу объектов водоснабжения и водоотведения. В ГОСТ 58785— 2019 впервые для отрасли приводится методика расчёта жизненного цикла объектов водоснабжения и водоотведения. Главной особенностью документа является то, что в нём учитывается не только закупочная стоимость оборудования, но и его качественные и эксплуатационные характеристики.

Стоимость жизненного цикла состоит из нескольких составляющих: капитальные затраты на приобретение участка, разработка конструкторской и технологической документации, эксплуатационные затраты и т.д. В формуле учитываются также стоимость потреблённой электроэнергии и технологической схемы с данным оборудованием, затраты на ремонт и обслуживание и др. Отдельно приводится расчёт текущей стоимости с учётом дисконтирования затрат во времени.

Составляющие элементы затрат стоимости жизненного цикла (СЖЦ) выражают следующими слагаемыми:

$$\text{СЖЦ} = (C_{ic}^{3+C} + C_{ic}^{PP} + C_{ic} + C_{in}) + (C_e + C_0 + C_m + C_s + C_{env}) + C_d \quad (4.1)$$

где C_{ic}^{3+C} – часть капитальных единовременных затрат на приобретение земельного участка (3 — земля), стоимость получения разрешений и стоимость подключения к другим сооружениям и инженерным сетям водоснабжения, теплоснабжения, электроснабжения, газоснабжения (С — сети) (в данной работе равна 0);

C_{ic}^{PP} – часть капитальных затрат, связанных с обеспечением проектных, инжиниринговых или научно-исследовательских работ по разработке конструкторской, технологической документации (410 140 руб.);

C_{ic} – начальная капитальная стоимость (общестроительные работы, цена закупаемого оборудования, стоимость технологической системы сданным оборудованием);

C_{in} – стоимость затрат по монтажу и пусконаладочных работ (СМР и ПНР);

C_e – стоимость потребленной электроэнергии;

C_0 – стоимость обслуживания или текущие затраты на оплату труда обслуживающего персонала;

C_m – стоимость затрат на ремонт, сервисное и техническое обслуживание (регламентное обслуживание). на регулярный расход товара (реагента или материала):

C_s – стоимость потерь от непредвиденных простоев и недополученной продукции;

C_{env} – стоимость затрат по охране окружающей среды и предотвращению ущерба (в данной работе равна 0);

C_d – стоимость затрат на конец расчетного периода СЖЦ или стоимость затрат на вывод объекта ВиВ из эксплуатации, включая восстановление окружающей среды за вычетом стоимости материалов повторного использования.

К видам затрат C_{ic} могут быть отнесены: цены закупаемого оборудования, товаров и материалов; затраты на потребляемую электроэнергию в процессе общестроительных работ; цены механизмов и материалов во время выполнения общестроительных работ. По итогам ССР стоимость оборудования составляет 12 567 410 руб.

Стоимость затрат по монтажу и пусконаладочным работам C_{in} :

$$C_{in} = \text{СМР} + \text{ПНР} \quad (4.2)$$

где СМР – стоимость строительно-монтажных работ (13 987 620 + 8 037 720 = 22 025 340 руб.);

ПНР – стоимость пусконаладочных работ.

Согласно приказу одного из министерств, затраты на ПНР на стадии ТЭО закладывается в размере 13% от СМР (22 025 340 · 0,13 = 2 863 294,2 руб.)

$$C_{in} = 22\,025\,340 + 2\,863\,294,2 = 24\,888\,634,2$$

Затраты на электроэнергию, расходуемые на производственные нужды, Сэ, тыс. р/г. Расчет производится по формуле:

$$C_{э} = N_{м} \cdot T_{исп} \cdot C_{а} \quad (4.3)$$

где $N_{м}$ – суммарная заявленная максимальная мощность всех электродвигателей системы водоснабжения или водоотведения без учета резервных, кВт;

$T_{исп}$ – время использования оборудования за год, час.;

$C_{а}$ – тариф за 1 кВт ч отпущенной (активной) электроэнергии, руб.

Количество насосов принимается без учета резервных. Расчет стоимости электроэнергии представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Расчет стоимости электроэнергии

№	Наименование электрооборудования	Количество, шт.	Мощность одного электроприемника, кВт	Общее время работы за год, Тисп	Установленная мощность, кВт
1	Grundfos TP 125-130/6	1	5,5	8760	5,5
2	Grundfos DDI 2,5-10	1	0,015	365	0,015
3	Grundfos NB 100-200/211	1	7,5	219	7,5
4	УДВ-5А300Н-10-150	1	2,2	8760	2,2
5	Компрессор ED-21/6/8 DALI	1	110	121	110
Итого:					125,215

Так как общая присоединенная мощность электродвигателей менее 1000 кВт, то стоимость электроэнергии определяется по одноставочному тарифу:

$$C_{э} = ((5,5 + 2,2) \cdot 8760 + 0,015 \cdot 365 + 7,5 \cdot 219 + 110 \cdot 121) \cdot 2,58 \\ = 212\,617,74 \text{ руб./г}$$

C_0 – стоимость обслуживания или текущие затраты на оплату труда обслуживающего персонала (720 000 руб.);

К затратам C_m относятся затраты на расходные товары (реагенты и/или материалы), текущие и капитальные ремонты капитального объекта ВКХ

$$C_m = C_p + C_{\text{рем}} \quad (4.4)$$

где C_p – затраты на приобретение реагента;

Из раздела 3 необходимый суточный объем гипохлорита $W_{NaOCl}^{\text{сут}} = 39 \text{ л/сут}$, тогда необходимый годовой запас:

$$W_{NaOCl}^{\text{год}} = W_{NaOCl}^{\text{сут}} \cdot 365 = 39 \cdot 365 = 14235 \text{ л/год} \quad (4.5)$$

Стоимость одного литра гипохлорита натрия на II квартал 2020 г. составляет 77 руб. Таким образом, затраты на приобретение реагента:

$$C_p = W_{NaOCl}^{\text{год}} \cdot 77 = 14235 \cdot 77 = 1\,103\,025 \text{ руб.} \quad (4.6)$$

$C_{\text{рем}}$ – текущие и капитальные ремонты (составляет 8% от стоимости оборудования)

$$C_{\text{рем}} = C_{ic} \cdot 0,08 = 12\,567\,410 \cdot 0,08 = 1\,005\,392,8 \text{ руб} \quad (4.7)$$

$$C_m = 1\,103\,025 + 1\,005\,392,8 = 2\,108\,417,8 \text{ руб}$$

По согласованию с соответствующим федеральным органом исполнительной власти сметный норматив для непредвиденных расходов при разработке смет и сметных расчетов для строительства объектов производственного назначения (зданий и сооружений промышленного строительства) не может превышать 3 %. Согласно ССР $C_s = 988\,520$ руб.

Стоимость затрат на конец расчетного периода СЖЦ C_d состоит из демонтажных работ. Согласно МДС 81-36.2004 п.п.3.3.1. коэффициент (К) на демонтажные работы для строительных и монтажных работ сборных бетонных и железобетонных конструкций $K=0,8$. По МДС 81-37.2004 п.п.3.2.1. демонтаж оборудования, которое подлежит дальнейшему использованию, без надобности хранения (перемещается в цеху на другое место установки и т.п.) $K=0,6$. Тогда:

$$C_d = (13\,987\,620 + 8\,037\,720) \cdot 0,8 + 10\,167\,810 \cdot 0,6 = 23\,720\,958 \text{ руб.}$$

Таким образом, стоимость жизненного цикла данного проекта составляет:

$$\text{СЖЦ} = (0 + 410\,140 + 12\,567\,410 + 24\,888\,634,2) + (212\,617,74 + 720\,000 + 2\,108\,417,8 + 988\,520 + 0) + 23\,720\,958 = 65\,616\,697,74 \text{ руб.}$$

Уравнение текущей стоимости с учетом дисконтирования затрат во времени представлено формулой:

$$\text{СЖЦ}_D = \sum_{t1}^n \frac{\text{КАПИТ}(C_{ic}^{3+C} + C_{ic}^{PP} + C_{ic} + C_{in})}{(1+r)^n} + \sum_{t2}^n \frac{\text{ЭКСПЛ}(C_e + C_0 + C_m + C_s + C_{env})}{(1+r)^n} + C_d \quad (4.8)$$

где r – ставка дисконтирования, доли ед.;

$$r = i - p \quad (4.9)$$

i – процентная ставка, доли ед.(0,045);

p – годовой темп инфляции, доли ед. (0,03);

$$r = 0,045 - 0,03 = 0,015$$

n – расчетный период (10 лет).

$\text{СЖЦ}_D =$

$$\sum_0^{10} \frac{(0+410\,140+12\,567\,410+24\,888\,634,2)}{(1+0,015)^{10}} + \sum_0^{10} \frac{(212\,617,74+720\,000+2\,108\,417,8+988\,520+0)}{(1+0,015)^{10}} +$$

$$23\,720\,958 = 59\,821\,144,08 \text{ руб.}$$

Себестоимость очистки 1 м³:

$$C_b = \frac{\text{ЭКСПЛ}}{Q_{\text{год}}}, \text{ руб} \quad (4.10)$$

где ЭКСПЛ – Сумма годовых эксплуатационных затрат из формулы 4.8:

$$\text{ЭКСПЛ} = \sum_{t2}^n \frac{(C_e + C_0 + C_m + C_s + C_{env})}{(1+r)^n}, \text{ руб/год} \quad (4.11)$$

$$\text{ЭКСПЛ} = \sum_0^{10} \frac{(212\,617,74+720\,000+2\,108\,417,8+988\,520+0)}{(1+0,015)^{10}} = 3\,472\,135,97 \text{ руб/год}$$

$Q_{\text{год}}$ – годовой расход воды, м³/год.

$$Q_{\text{год}} = Q_{\text{сут}} \cdot 365, \text{ м}^3/\text{год} \quad (4.12)$$

$$Q_{\text{год}} = 3162,88 \cdot 365 = 1\,154\,451,2 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$C_6 = \frac{3\,472\,135,97}{1\,154\,451,2} = 3,01 \text{ руб}$$

Основные технико-экономические показатели проекта системы
приведены в таблице 4.2

Таблица 4.2 – Основные технико-экономические показатели.

Наименование показателей	Ед. изм.	Величина показателей
1	2	3
Годовая производительность системы водоснабжения	Тыс.м ³ /год	1 154,45
Общая сметная стоимость	Тыс. руб.	40 727,39
Сумма годовых эксплуатационных затрат	Тыс.руб./год	3 472,14
Себестоимость очистки 1 м ³ воды	Руб./м ³	3,01

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В Тюменском районе подземные воды отличаются высокими показателями по железу, марганцу, цветности, мутности, растворенным газам, органическим веществам. Чаще всего данные показатели превышают нормативную величину в несколько раз.
2. Существует множество технологических способов решения задачи по снижению уровня растворенной углекислоты в воде, уменьшению содержания в ней железа и марганца. Однако некоторые из них недостаточно эффективны, основаны на сложных технологических схемах или имеют высокую стоимость.
3. Установлено, что при высоких концентрациях в воде растворенной углекислоты удалить ее избыток на станциях обезжелезивания можно методом барботирования в свободном объеме. Оптимальными параметрами барботажа являются: интенсивность подачи воздуха 2-3 л/(с·м²) при продолжительности аэрации 10 мин.
4. Опытно выявлено, что использование комбинации из реагента-окислителя (гипохлорит) и фильтрующего материала «Бризант», в качестве загрузки для последующего фильтрования, позволяют добиться максимального эффекта удаления из воды железа и марганца (до 98%).
5. Выбранная технологическая схема является оптимальной для исходных качественных показателей воды. Разработанная станция водоподготовки позволит обеспечить эффективную очистку подземной воды от железа и марганца, тем самым добиться качества воды, которое будет соответствовать требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества".

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 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» (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 07.04.2009 № 20). – Текст : непосредственный.
2. Постановление правительства Тюменской области №58-п от 16 февраля 2015 г.
3. The safe drinking water act hi retrospect [Текст] // EPA Journal, - 1994. - Vol. 20, № 1. 15p
4. Николадзе, Г. И. «Улучшение качества подземных вод» [Текст] / Г.И. Николадзе. - М.: Стройиздат, 1987. - 239с.
5. Комарчев, М. Г. «Безреагентный способ удаления железа из воды» [Текст] / Б. М. Нестеренко, Г. И. Николадзе // Водоснабжение и санитарная техника. - 1987. - № 8. - С. 25-27.
6. Золотова, Е. Ф. «Очистка воды от железа, фтора, марганца и сероводорода» [Текст] / Е. Ф.Золотова, Г. Ю. Асс. - М. : Стройиздат, 1975. - 176 с. 106.
7. «Об утверждении проекта зон санитарной охраны питьевого водозабора» //2014 г. Правительство Тюменской области.
8. Scott Harmon. Iron Removal: A World Without Rules//2003 г. *Water Technology*
9. Мотузова, Г.В., Дегтярева, А.К. Формы соединений железа в почвенных растворах и дренажных водах на примере Яхромской поймы // Почвоведение.- 1993.-№ 1.- с. 110–114.
10. Водяницкий Ю.Н. Химия и минералогия почвенного железа. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2002, 236с.
11. Лапшин А.П., Игнатьева Л.П. Особенности химического состава питьевой воды города Тюмени // Сибирский медицинский журнал – 2014-№8 – с. 79-82.

12. Лизин, В.А. Водные ресурсы рек и озер Тюменской области // Вестник Тюменского государственного университета.-2011.-№2.- с.62-69.
13. Пупырев Е.И., Примин О.Г. Состояние водной отрасли и пути повышения надежности системы водоснабжения на примере г.Москвы
14. Дзюбо В.В., Алферова Л.И. «Ресурсы подземных вод Западно-Сибирского региона и их значимость для водоснабжения населения»
15. Веницианов Е.В. Приоритеты инновационного развития водного хозяйства России. Сборник материалов 8-ого Международного конгресса «Вода, экология. Технология», «Экватэк-2004», М., 2010
16. Кожин, В. Ф. «Очистка питьевой и технической воды» [Текст] / В. Ф. Кожин. - М. : Стройиздат, 1971. - 303 с
17. Ковальчук А.И., Вдовин Ю.П., Козлов А.В. Формирование химического состава подземных вод Зауралья. - М: Недра, 1980. – 183с.
18. Конторович А.Э., Зимин Ю.Г. Об условиях формирования химического состава подземных вод Западно-Сибирской низменности // Труды СНИИГГИМС, Вып. 78. – С83-95
19. Дзюбо В.В. Основные направления строительства, реконструкции и модернизации систем водоснабжения малой и средней мощности в Сибирском регионе//Строительство: новые технологии, новое оборудование. – 2007ю -№10 – С25-29
20. Dott W. Biological remediation processes - a challenge for the environmental hygiene: 3rd Eur. Meet. Environ Hyg. / W. Dott, P. Kampfer. - Zentralbl. Hyg. Und Um- weltmed. - 1991. - P. 36-39.
21. Дзюбо В.В. Состояние и проблемы систем водоснабжения малой и средней мощности в Сибирском регионе//Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2008. - №6 – С.72-81
22. Уварова В.И. Современное состояние качества подземных вод в пределах Тюменской области// Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения ИПСО СО РАН. – 2000

23. Festbettfilter zur Wasseraufbereitung — Aufbau und Bestandteile (Фильтры для водоподготовки. Конструкция и компоненты) Неофициальный перевод РУП «Стройтехнорм» Перевод с немецкого языка (de).
24. Покровский Д.С., Дутова Е.М., Балобаненко А.А., Покровский В.Д., Рехтин А.Ф. Гидрогеоэкологические условия водоснабжения населения юга Сибирского региона
25. Марченко, А. Ю. «Технология безреагентной обработки подземных вод с устойчивыми формами железа» [Текст]: автореферат дис. канд. техн. наук: 05.23.04 / А. Ю. Марченко. - Владивосток, 2000. - 18 с
26. Баранов С.В. Станции обеззараживания на основе мембранных электролизных установок – решение XXI века//Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение.-2018.
27. Веселовская Т.Г., Антюфеев М.А., Софронов М.О. Инновационный дезинфектант – новые возможности старой станции водоподготовки // Водоочистка, водоподготовка, водоотведение. - 2012.
28. Егоров Ю.В. Рациональное природопользование и охрана окружающей среды: учебное пособие / Ю.В. Егоров. Екатеринбург: УрФУ, 2013. 44 с.
29. Янченко Д.Ф. Обезжелезивание воды на катализаторе. Главное в промышленной очистке подземных вод// Водоочистка, водоподготовка, водоотведение. – 2013.
30. Ткаленко О.Ю. Железо – польза и вред для организма // Русский медицинский журнал-2013 г.
31. Смирнова Н.В. Влияние марганца на организм человека//Молодой врач - 2012 г.
32. Кулаков А.А. Особенности очистки водопроводной воды//Вода-magazine, № 11, 2011 г., М., ООО «Издательский дом «Эко-Медиа».
33. Всевожский В.А. Ресурсы подземных вод южной части Западно-Сибирской низменности. – М.: Наука, 1973. – 88с.
34. Найданов, В. П. «Технология кондиционирования подземных вод Кузбасса для целей питьевого водоснабжения» [Текст] / В. П. Найданов, Т. А.

- Краскова, В. А. Усольцев // Второй междунар. конгр. «Вода: экология и технология»: Тез докл. -М., 1996.
35. Постановление Правительства РФ от 22.12.2010 № 1092 (ред. От 25.05.2016) «О федеральной целевой программе «Чистая вода» на 2011-2017 годы»
36. Оценка запасов подземных вод по участкам действующих водозаборов МУП «Новотарманское ПЖЭРП» в Тюменском районе Тюменской области : отчёт о проведении работ по объекту / ГУПТО ТЦ «Тюменьгеомониторинг» ; руководитель Н.В. Чернега ; ответственный исполнитель Э.Э. Сулейманова. – Тюмень, 2012. – 101 с. - № ГР 71-11-219. – Текст : непосредственный.
37. Жулин, А. Г. Барботажные дегазаторы станций обезжелезивания (общие рекомендации к применению и расчету) / А. Г. Жулин, О. В. Сидоренко., Л. В. Белова – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2012. - № 3(639). – С. 39-48.
38. Кастальский, А. А. Проектирование устройств для удаления из воды растворенных газов в процессе водоподготовки / А. А. Кастальский. – Москва : Госстройиздат, 1957. – 186 с. – Текст : непосредственный.
39. Беликов С.Е. Водоподготовка. Справочник для профессионалов / С.Е. Беликова. Москва : Аква-Терм, 2007. – 240 с.
40. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84 : СП 31.13330.2012 (с Изменениями N 1, 2, 3, 4) : утв. Минрегион России 29.12.2011 : введ. в действие с 01.01.2013. – Москва, Стандартинформ, 2019. – 180 с. – Текст : непосредственный.
41. ГОСТ 4011-72. Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа (с Изменениями N 1, 2)
42. ГОСТ 4974-72 Вода питьевая. Методы определения содержания марганца
43. ГОСТ Р 55684-2013 (ИСО 8467:1993) Вода питьевая. Метод определения перманганатной окисляемости
44. ГОСТ 31868-2012. Вода. Методы определения цветности

45. ГОСТ 3351-74 Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности (с Изменением N 1)
46. ГОСТ 31862-2012 Вода питьевая. Отбор проб
47. Болотова, О.В. Исследования по снижению содержания углекислоты из подземной воды Тюменского региона [Текст] : диссертация на соискание ученой степени канд. тех. наук : 28.10.05 / О.В. Болотова ; ТюмГАСУ. - Нижний Новгород, 2005. - 161 с
48. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения [Текст]: утв. Минрегион России 29.12.2011 : дата введ. 01.01.2013. - М., 2012. -123 с.
49. Таблицы Шевелевых. Изд.6. 1984г. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. Издание 6.

« » _____ 2020 г.

**СВОДНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ СТОИМОСТИ
СТРОИТЕЛЬСТВА**

Станция водоподготовки в п. Новотарманский

(наименование стройки)

Составлена в ценах по состоянию на 2000г. с индексацией на 2 квартал 2020г.

№ п п	Номера сметных расчетов и смет	Наименование глав, объектов, работ и затрат	Сметная стоимость, тыс. руб.				Общая сметна я стоимо сть, тыс. руб.
			строитель- ных работ	монтаж ных работ	оборудов ания, мебели, инвентаря	проч их	
1	2	3	4	5	6	7	8
Глава 2. Основные объекты строительства							
1	02-01	Станция водоподготовки пос. Новотарманский	1741,77	936,13	2326,73		4403,89
2	02-02	Внутренние сети	566,36	33,92			600,28
	Итого по Главе 2. "Основные объекты строительства"		2308,13	970,05	2445,19		5004,17
Глава 5. Объекты транспортного хозяйства и связи							
2	05-01	Сети пожарной сигнализации		6,9			6,9
	Итого по Главе 5. "Объекты транспортного хозяйства и связи"			6,9			6,9
Глава 7. Благоустройство и озеленение территории							
	Итого по Главам 1-7		2308,13	976,95	2326,73		5011,07

	и1	Индекс пересчета на 2 квартал 2020 г. (Приложение к письму Минстроя России от 06.05.2020 №17207-ИФ/09; СМР - 8,01, оборудование - 4,37; прочие -10,83)	8,01	8,01	4,37	10,83	
Всего с учетом "Индекс пересчета на 2 квартал 2020 г. (Приложение к письму Минстроя России от 06.05.2020 №17207-ИФ/09; СМР - 8,01, оборудование - 4,37; прочие -10,83)"			13619,88	7826,41	10167,81		31614,1
Глава 8. Временные здания и сооружения							
4	ГСН-81-05-01-2001, п.5.9	Временные здания и сооружения - 2,7%	367,74	211,31			579,05
Итого по Главе 8. "Временные здания и сооружения"			367,74	211,31			579,05
Итого по Главам 1-8			13987,62	8037,72	10167,81		32193,15
Глава 9. Прочие работы и затраты							
Итого по Главам 1-9			13987,62	8037,72	10167,81		32193,15
Глава 10. Содержание службы заказчика. Строительный контроль							
5	Постановление Правительства РФ от 21.06.2010 г. №468	Строительный контроль - 1,28 проц.				347,68	347,68
Итого по Главе 10. "Содержание службы заказчика. Строительный контроль"						347,68	347,68
Глава 12. Проектные и изыскательские работы							
4		<i>Проектная документация</i>				1266,47	1266,47
4		<i>Рабочая документация</i>				802,18	802,18
5						8	
6	Постановление Правительства РФ от 05.03.2007г. №145	Экспертиза предпроектной и проектной документации - 27,3 проц.				345,75	345,75
7	МДС 81-35.2004 п.4.91	Авторский надзор- 0,2 проц.				64,39	64,39

	Итого по Главе 12. "Проектные и изыскательские работы"					410,14	410,14
	Итого по Главам 1-12		13987,62	8037,72	10167,81	757,82	32950,97
Непредвиденные затраты							
8	МДС 81-35.2004 п.4.96	Непредвиденные затраты - 3%	419,63	241,13	305,03	22,73	988,52
	Итого "Непредвиденные затраты"		419,63	241,13	305,03	22,73	988,52
	Итого с учетом "Непредвиденные затраты"		14407,25	8278,85	10472,84	780,55	33939,49
Налоги и обязательные платежи							
9	МДС 81-35.2004 п.4.100	НДС - 20%	2881,45	1655,77	2094,57	156,11	6787,9
	Итого "Налоги и обязательные платежи"		2881,45	1655,77	2094,57	156,11	6787,9
	Всего по сводному расчету		17288,7	9934,62	12567,41	936,66	40727,39



XXI Международная научно-практическая конференция

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ — ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПОСЕЛЕНИЙ СИБИРИ И АРКТИКИ В XXI ВЕКЕ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ДИПЛОМ II степени

Награждается

Зарибная Анастасия Александровна

Тема доклада

*Качество подземной воды
используемой для водоснабжения
малых населенных пунктов Ташен-
ского района*

Секция

Вода: проблемы и решения

Научный руководитель

О.В. Сидоренко

Председатель орг
и.о. ректора ТИУ



Г.А. Щербаков

Г.А. Щербаков
В.В.Ефремова

Правительство Тюменской области
Тюменский индустриальный университет
Фонд инвестиционного агентства Тюменской области
Управление Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области,
Ханты-Мансийскому автономному округу - ЮГРЕ и
Ямало-Ненецкому автономному округу (ТЮМЕНЬСТАТ)
Филиал ФГБУ «ФКП Росреестра» по Тюменской области
Главное управление строительства Тюменской области
ООО «Палата профессиональной оценки»
ООО "ЭКО-Н сервис"
Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улутбека (Республика Узбекистан)
Восточно-казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева
(Республика Казахстан)
Инновационный Евразийский университет
(Республика Казахстан)
Московский университет геодезии и картографии (г. Москва)
Сибирский государственный университет геосистем и технологий (г. Новосибирск)

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЗЕМЕЛЬНО-КАДАСТРОВОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, УРБАНИЗАЦИИ И ФОРМИРОВАНИЯ
КОМФОРТНОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

Сборник статей

Том II



- акад. М. С. Осими). Аспирант PhD кафедры «Инженерные системы зданий и сооружений» ТГУ им. акад. М. С. Осими, научный руководитель Максимова Светлана Валентиновна. Особенности систем водоснабжения городов в горной местности. 540
- Максимов Лев Игоревич, Миронов Виктор Владимирович, Малеванная Марина Игоревна (Российская Федерация, г. Тюмень, ТГУ). Исследование техногенных отходов станций водоподготовки подземных вод в качестве сетевого альтернативного сырьевого источника для циркулярной экономики. 546
- Максимова Светлана Валентиновна, Воронов Андрей Александрович, Малышкина Елена Сергеевна (Российская Федерация, г. Тюмень, ТГУ). Исследование способности материалов на природной основе к удалению основных загрязнений поверхностного стока. 552
- Мозуляк Наталья Дмитриевна, Чекардовский Михаил Николаевич (Российская Федерация, г. Тюмень, ТГУ). Совершенствование коммунальной инфраструктуры г.Тюмени с учетом энергоэффективности системы вентиляции. 557
- Нижнемеренко Вера Вячеславовна (Российская Федерация, г. Тюмень, ТГУ), магистрант кафедры «Теплогазоснабжения и вентиляции», научный руководитель Афонин Константин Викторович. Распределение воздуха по помещению. 561
- Огнева Надежда Владимировна, (Российская Федерация, г. Ишим, ИПИ им П.П.Еришова (Филиал) ТюмГУ), научный руководитель Кадысева Анастасия Александровна. Исследование температурных режимов речной воды и их влияние на процесс коагуляции. 564
- Павлова Мария Николаевна (Российская Федерация, г. Тюмень, ТГУ), магистрант кафедры «Теплогазоснабжения и вентиляции», научные руководители Жилина Татьяна Сергеевна, Загорская Алла Александровна. Интеграция альтернативных источников энергии в систему теплоснабжения ИЖС на примере метаногенерирующей установки. 569
- Сидоренко Ольга Владимировна, Заривная Анастасия Юрьевна (Российская Федерация, г. Тюмень, ТГУ). Снижение концентрации углекислоты в подземной воде барботированием. 574
- Смелов Ярослав Сергеевич, Кузьмина Дарья Алексеевна (Россий-

та. – 2017. – № 4(33). – С. 65 – 73.

Научные руководители: Жилина Т.С. кандидат технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, ТИУ, г. Тюмень
Загорская А.А. старший преподаватель кафедры техносферной безопасности, ТИУ, г. Тюмень

УДК 628.16

Сидоренко О.В.

Кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения ТИУ, г. Тюмень

Заривная А.Ю.

Магистрант кафедры водоснабжение и водоотведение, ТИУ, г. Тюмень

СНИЖЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОТЫ В ПОДЗЕМНОЙ ВОДЕ БАРБОТИРОВАНИЕМ

Аннотация: Приведены результаты экспериментальных исследований по удалению растворенной углекислоты из подземной воды барботированием в статических условиях при разных режимах подачи воздуха.

Ключевые слова: водоснабжение, подземные воды, химический состав воды, дегазация, барботирование, углекислота.

Тюменская область обладает значительными ресурсами пресных подземных вод, которые, как правило, можно получить почти на всей ее территории. Разнообразие природно-климатических и гидрогеологических условий оказывает влияние на формирование химического состава подземных вод и возможности их использования как источника водоснабжения.

Основным и наиболее надежным источником централизованного водоснабжения населенных пунктов и промышленных объектов Тюменского района является Куртамышский водоносный горизонт. Определяющими факторами формирования подземных вод которого являются рыхлые, хорошо проницаемые породы, наличие регионального подстилающего водупора и отсутствие в толще континентальных пород выдержанных водупоров, что обеспечивает тесную связь водоносных горизонтов как между собой, так и с поверхностными природно-климатическими факторами. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и нисходящей фильтрации из вышележающих водоносных горизонтов [1].

Для подземных вод описываемого горизонта характерно повышенное содержание железа, марганца, перманганатной окисляемости, а также растворенных газов (сероводорода и свободной углекислоты).

Учитывая сложный химический состав подземной воды для возможности подачи ее на хозяйственно-питьевые нужды в ряде населенных пунктов предусмотрены водоочистные сооружения, технологическая схема которых включает такие этапы, как предварительное окисление, коагуляция, двух или трехступенчатое фильтрование в напорном режиме и обеззараживание.

Как показал опыт эксплуатации данных ВОС, принятые технологические схемы не всегда обоснованы, перенасыщены различными реагентами, не рассчитаны на удаление растворенных газов и не обеспечивают требуемые СанПиН [2] показатели качества воды на выходе.

Объектом исследования является подземная вода п. Новотарманский. Исходная подземная вода характеризуется следующими показателями: железо общее – до 24,4 мг/дм³, марганец – до 2,67 мг/дм³, перманганатная окисляемость - 17 мгО₂/дм³, присутствует запах сероводорода.

На данный момент в п. Новотарманский имеются две станции обезжелезивания: старая (упрощенная аэрация в напорном варианте) и новая (блочная станция ЛСВ 500-100). Технологическая схема новой станции включает: предварительное окисление и коагуляцию, фильтрование (6 фильтров, загрузка - кварцевый песок, фракции 0,5-1,2 мм), сорбционные фильтры, обеззараживание (УФО). Максимальная производительность станции 400 м³/сут. Так как блочная станция ЛСВ рассчитана на содержание железа в исходной воде не более 7 мг/дм³, было принято решение эксплуатировать данные станции последовательно. Несмотря на это, качество воды после очистки не удовлетворяет требованиям СанПиН (таблица 1).

Таблица 1

Качество воды п. Новотарманский

Наименование показателя	Единицы измерения	Значение показателя		Нормативы (ПДК), не более
		исходная вода	после очистки	
1	2	3	4	5
Цветность	град ПКШ	20-25	15-20	20
Мутность	мг/дм ³	87,7-117,2	0,6-3,2	1,5
pH	-	6,3-6,5	6,5-6,9	6-9
Жесткость общая	мг-экви/дм ³	6,78-8,5	6,2-8,5	7,0
Железо общее	мг/дм ³	13,7-29,5	0,2-2,5	0,3
Марганец	мг/дм ³	0,86-2,0	0,2-1,6	0,1
Аммиак (по азоту)	мг/дм ³	2,8-3,6	1,7-3,3	2,0
Перманганатная окисляемость	мгО ₂ /дм ³	6,8-7,7	3,6-5,6	5,0

При проведении предварительно обследования было выявлено, что в подземной воде п. Новотарманский присутствует растворенная углекисло-

та в количестве 100 – 110 мг/дм³, которая не была учтена в технологической схеме ЛСВ.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований по удалению растворенной углекислоты из подземной воды п. Новотарманский. Исследования проводились в лаборатории кафедры водоснабжения и водоотведения ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет».

Учитывая данные [3, 4] удаление углекислоты проводилось барботирование. На первом этапе исследования проводились в статических условиях. Воздух подавался в стеклянный цилиндр с исходной водой от компрессора через отверстия диаметром 3-4 мм. В процессе исследований изменялись следующие параметры: расход воздуха от 5 до 23 л/ч (интенсивность подачи воздуха от 0,7 до 3,3 л/(с·м²)); продолжительность барботажа от 5 до 15 мин. Температура воды составляла 10-12°С. Результаты исследований представлены в таблице 2 и на графике (рисунок 1).

Таблица 2

Снижение содержания углекислоты при барботировании

Продолжительность барботажа, мин	Концентрация углекислоты, в мг/дм ³ , при расходе воздуха, л/ч (интенсивность, л/(с·м ²))		
	23 (3,3)	16 (2,3)	5 (0,7)
0 (исходная вода)	98,0	90,2	92,4
5	46,2	48,84	68,2
10	26,4	26,4	55
15	17,6	13,2	37,4

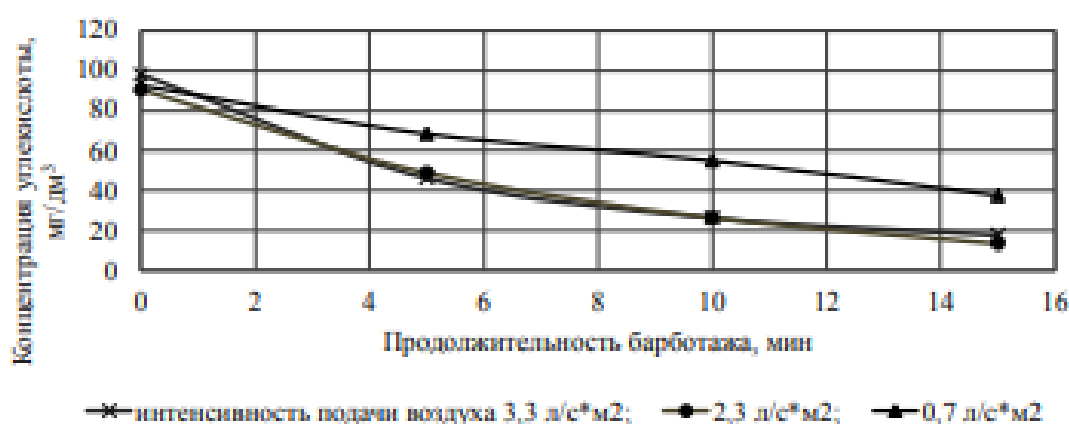


Рисунок 1. Влияние продолжительности барботажа на снижение содержание углекислоты при разной интенсивности подачи воздуха

В процессе барботирования отмечено значительное изменение цветности воды (рисунок 2).

При максимальном расходе воздуха (23 л/ч) изменение цветности стало заметно через 5 минут, при минимальном (5 л/ч) - через 8 минут, что свидетельствует о процессах окисления железа кислородом воздуха. Концентрация сероводорода в процессе исследований не измерялась, но в исходной воде отмечен четкий запах сероводорода, который не ощущался уже через 5 минутного барботирования.

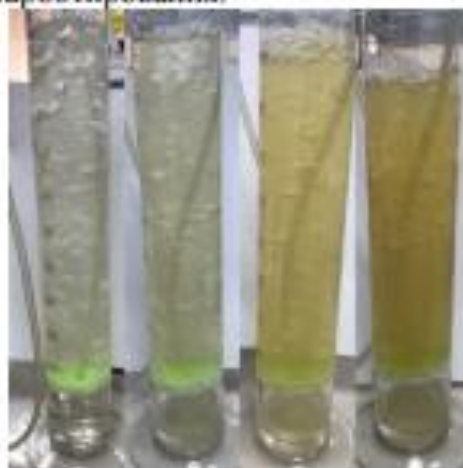


Рисунок 2. Изменение цветности воды в зависимости от продолжительности барботаж (слева направо: исходная, через 5 мин, через 10 мин, через 15 мин.)

Результаты всех опытов были приведены к удельному расходу воздуха ($q_{\text{уд}}$, м³/м, количество воздуха, приходящегося на единицу объема воды,) и представлены на графиках (рисунок 3-4).

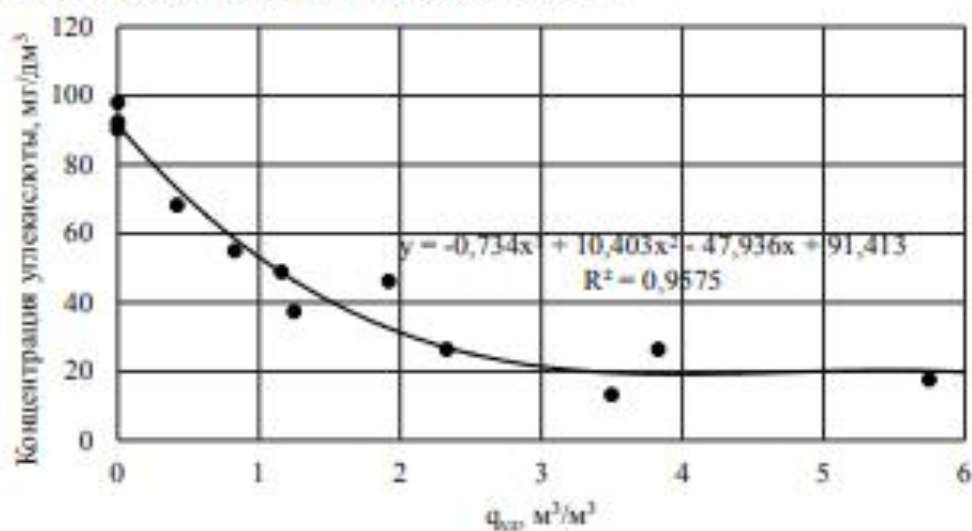


Рисунок 3. График зависимости снижения содержания углекислоты от удельного расхода воздуха

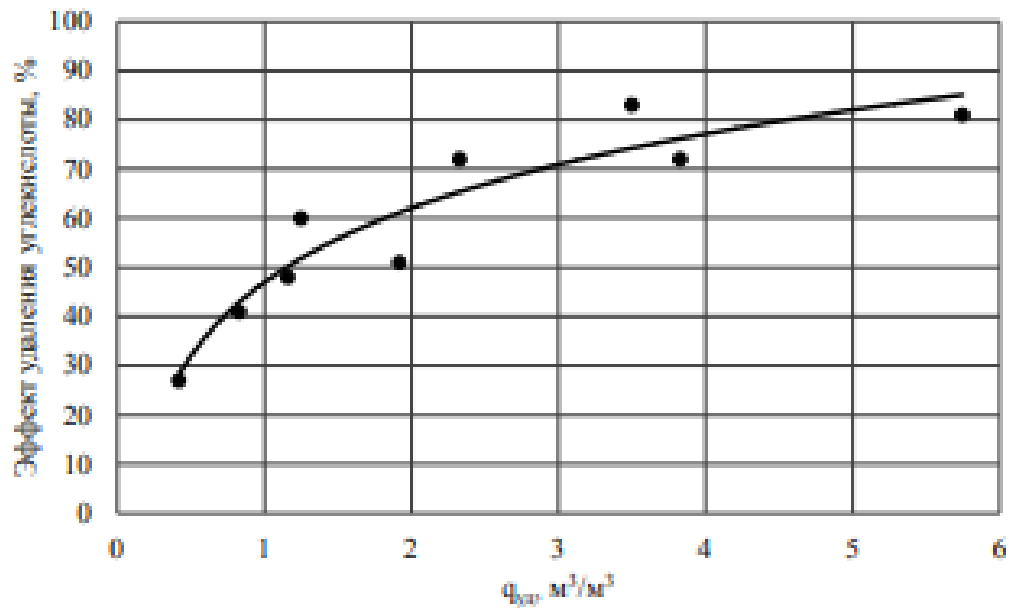


Рисунок 4. График зависимости эффекта удаления углекислоты от удельного расхода воздуха

Из графика (рисунок 3) видно, что в статических условиях требуемого (менее $40 \text{ мг}/\text{дм}^3$ [5]) снижения углекислоты можно достичь при удельном расходе воздуха $q_{\text{воз}} = 2,0 \div 3,5$, что соответствует интенсивности подачи воздуха $2\text{-}3 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ при продолжительности аэрации не более 10 мин (рисунок 1). Дальнейшее увеличение $q_{\text{воз}}$ практически не влияет на снижения содержания углекислоты в воде.

Максимальный эффект удаления углекислоты 81-83 % был достигнут при 15-ти минутном аэрации с расходом воздуха $2,3 - 3,2 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$.

Данные проведенных исследований позволяют проанализировать влияние различных параметров (расход воздуха, продолжительность аэрации) на процесс дегазации. При этом, в реальных условиях (в противоточном режиме) с учетом достаточно низких температур подземной воды ($3\text{-}5^\circ\text{C}$) не следует ожидать столь значительных эффектов удаления углекислоты.

Выводы:

- удаление избыточного содержания растворенных газов (углекислоты, сероводорода) на станциях обезжелезивания подземной воды возможно методом барботирования в свободном объеме.

- в статических условиях максимальный эффект удаления углекислоты составил 81-83 %.

- оптимальными параметрами барботажа, позволяющими снизить концентрацию CO_2 ниже рекомендуемых $40 \text{ мг}/\text{дм}^3$, являются: интенсивность подачи воздуха $2\text{-}3 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$, продолжительности аэрации не более 10 мин.

Библиографический список

1. Оценка запасов подземных вод по участкам действующих водозаборов МУП «Новотарманское ПЖЭРП» в Тюменском районе Тюменской области : отчёт о проведении работ по объекту / ГУПТО ТЦ «Тюменьгео-мониторинг» ; руководитель Н. В. Чернега ; ответственный исполнитель Э. Э. Сулейманова. – Тюмень, 2012. – 101 с. – № ГР 71-11-219. – Текст : непосредственный.
2. 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 : утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 07.04.2009 № 20. – Текст : электронный // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации Техэксперт : официальный сайт. - 2020. – URL : <http://docs.cntd.ru/document/901798042/> (дата обращения : 02.04.2020).
3. Жулин А. Г. Барботажные дегазаторы станций обезжелезивания (общие рекомендации к применению и расчету) / А. Г. Жулин, О. В. Сидоренко, Л. В. Белова – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2012. – № 3(639). – С. 39-48.
4. Кастаньский А. А. Проектирование устройств для удаления из воды растворенных газов в процессе водоподготовки / А. А. Кастаньский. – Москва : Госстройиздат, 1957. – 186 с. – Текст : непосредственный.
5. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84* (с Изменениями N 1, 2, 3, 4) : утв. Минрегион России 29.12.2011 ; введ. в действие с 01.01.2013. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 180 с. – Текст : непосредственный.

УДК 628.292

Смелов Я. С.

Магистрант кафедры водоснабжения и водоотведения, ТИУ, г. Тюмень

Кузьмина Д. А.

Бакалавр кафедры водоснабжения и водоотведения, ТИУ, г. Тюмень

УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ КАК ЭЛЕМЕНТОВ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Аннотация: в статье рассматриваются направления повышения эффективности работы насосных станций водоотведения, как ключевого звена в городской системе сбора и транспортировки сточных вод. Обоснована