

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой»

На правах рукописи
УДК 628.11

МОЛОТКОВА Юлия Игоревна

**ВАРИАНТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПО ВЫБОРУ ОБОРУДОВА-
НИЯ СТАНЦИЙ ВОДОПОДГОТОВКИ НАПОРНОГО ТИПА**

Магистерская диссертация
специальность 70 80 01 «Строительство зданий и сооружений»

Научный руководитель
кандидат технических наук, доцент
Ющенко Виктор Дмитриевич

Допущен к защите
«___» _____ 20___ г.
Зав. кафедрой «Теплогазоводо-
снабжение и вентиляция»
кандидат технических наук,
доцент

_____ Ю.В. Вишнякова

Новополоцк, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.....	5
ГЛАВА 1. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ	7
1.1. Общие сведения по проектированию объектов	7
1.2 Принципы проектирования систем водоснабжения малых населенных пунктов	8
ГЛАВА 2. КРАТКИЙ ОБЗОР ПО ОБОРУДОВАНИЮ СТАНЦИЙ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ НАПОРНОГО ТИПА	11
2.1. Общие сведения по составу подземных вод в Республике Беларусь.....	11
2.2. Методы и технологические решения по обработке подземных вод в Витебской области	14
2.3. Аэрационные системы напорных установок.....	17
2.4. Напорные фильтры и фильтрующие загрузки.....	21
2.5. Особенности эксплуатации напорных установок для обработки подземных вод.....	22
2.6. Выводы по главе 2.....	24
ГЛАВА 3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ.....	26
3.1. Выбор объекта исследования.....	26
3.2. Методика проведения исследований.....	30
ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ПО ВЫБОРУ ТИПА АЭРАЦИОННОЙ КОЛОННЫ.....	31
4.1. Анализ работы станции водоподготовки в проектом варианте.....	31
4.2. Выбор аэрационной колонны.....	31
4.3. Проведение эксперимента на аэрационной колонне.....	36
4.4. Выводы по главе 4.....	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	39
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	40
Приложение А Геолого-литологический разрез скважины в н.п. Нача....	43
Приложение Б Технологические схемы станции водоподготовки в н.п. Нача	44
Приложение В Результаты эксперимента.....	45

**ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ.
ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ**

Аммонийный азот	Соединение атомов азота и водорода, обладает химическими свойствами металлов, являются продуктами разложения и жизнедеятельности различных организмов, мг/дм ³ .
Вариантное проектирование	Разработка нескольких разнозначных и равноценных вариантов, при которых используются разные архитектурные, планировочные, конструктивные, инженерные и другие решения.
ВКХ	Водопроводно-канализационное хозяйство
ГОСТ	Национальный стандарт
Запах, привкус	Показатели качества воды, определяемым посредством органолептического метода. Меняется под воздействием состава растворенных элементов, температуры, значений рН и целого ряда иных факторов, баллы.
Нитраты	Соли азотной кислоты, содержащие однозарядный анион NO ₃ ⁻ и легко поддающиеся биологическому разложению, хорошо растворимы в воде, мг/дм ³ .
Нитриты	Соли азотистой кислоты, содержащие однозарядный анион NO ₂ ⁻ и являющиеся промежуточными продуктами биологического разложения азотсодержащих органических соединений, мг/дм ³ .
ПДК	Предельно-допустимая концентрация вещества, мг/л (мг/дм ³)
Перманганатная окисляемость	Это показатель, определяющий присутствие органических и минеральных элементов и представляет количество миллиграммов кислорода перманганата калия, необходимого для окисления 1 литра (1 дм ³) водного раствора. мгО ₂ /дм ³
ПНР	Пусконаладочные работы
Проектирование	Разработка комплекта документации, предназначенной для создания определенного объекта, его эксплуатации, ремонта и ликвидации, а также для проверки или воспроизведения промежуточных и конечных решений, на основе которых был разработан данный объект
СанПиН	Санитарные правила и нормы
С_{вв}	Взвешенные вещества, мг/дм ³
ТЭС	Технико-экономическое сравнение
Цветность	Природное свойство воды, обусловленное наличием в ней гуминовых веществ, которые вымываются в воду из почвы, градусы по платинокобальтовой

	шкале.
Eh	Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) — мера способности химического вещества присоединять электроны, мВ (милливольты).
pH	Водородный показатель pH - показатель, определяющий концентрацию ионов водорода в растворе в долях единицы

Водоснабжение – технологический процесс, обеспечивающий забор, подготовку, транспортировку и передачу абонентам питьевой воды.

Централизованная система водоснабжения – комплекс водохозяйственных сооружений и устройств, находящийся на праве собственности, хозяйственного ведения, оперативного управления или на ином законном основании у организаций ВКХ, предназначенный для добычи (изъятия), обработки, транспортировки, хранения, распределения питьевой воды для обеспечения водой всей совокупности потребителей и абонентов населенного пункта.

Подземные воды – это воды, находящиеся в горных породах в жидком, твердом и парообразном состоянии.

Водопроводная сеть – система трубопроводов и сооружений на них, предназначенных для транспортировки и передачи абонентам воды в системе водоснабжения.

Водопотребление – использование воды абонентом (субабонентом) на удовлетворение своих нужд.

Питьевая вода – вода после подготовки или в естественном состоянии, отвечающая установленным санитарными нормами требованиям и предназначенная для питьевых и бытовых нужд населения и (или) производства пищевой продукции.

Водоподготовка – обработка воды, поступающей из природного водоисточника, для приведения ее качества в соответствие с требованиями технологических потребителей.

Станция водоподготовки – комплекс зданий, сооружений и устройств для водоподготовки.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для малых населенных пунктов широко применяются централизованные системы водоснабжения из подземных источников. Как правило, вода подается из скважин на станцию водоподготовки и через регулирующие емкости (водонапорная башня или РЧВ с насосным оборудованием) подается к потребителям.

На первом этапе этого развития необходимо выполнить проектные работы, которые включают подготовительные стадии, оформление и утверждение результатов, оценку эффективности и другие виды работ. Этот процесс является наиболее ответственным моментом, определяющим дальнейшую жизнедеятельность рассматриваемого населенного пункта.

При этом должно выполняться вариантное проектирование, когда выбирается одна из возможных схем водоснабжения, как наиболее эффективная и экономическая.

Системы водоснабжения и водоотведения являются важными показателями жизнеобеспечения населения. От стабильного функционирования указанных систем зависит нормальная работа населенных пунктов, предприятий, здоровье и безопасность жителей.

Основной задачей коммунальных систем водоснабжения и водоотведения малых населенных пунктов Витебской области является повышение эффективности и надежности их функционирования наряду с поддержанием надлежащего качества и снижением затрат на оказание услуг [3].

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Данная диссертационная работа была выполнена по соответствующим программам Республики Беларусь.

Целью данной работы является изучение и проработка вопросов вариантного проектирования при подборе аэрационных колонн напорных станций обезжелезивания для малых населенных пунктов.

Для достижения поставленной цели были выделены и решены следующие *задачи*:

а) изучение литературных источников по технологии очистки природных вод в зависимости от их качества и производительности малых населенных пунктов;

б) изучение и анализ применяемого оборудования в напорных станциях обезжелезивания;

в) исследование и оценка проектных решений по применению аэрационных устройств перед подачей воды на напорные фильтры.

В качестве примера проектирования был выбран объект, расположенный в Полоцком районе Витебской области, для которого предложено три варианта аэрационных колонн станции обезжелезивания.

Для этого региона подземная вода характеризуется повышенным содержанием двухвалентного железа, окисляемости, цветности и аммонийных солей.

Выполнено технико-экономическое сравнение этих вариантов с учетом надежности работы и обеспечения нормативных показателей по качеству воды, принимая, что конечный продукт должен быть экологически чистым [7,6,5].

Научная новизна и значимость полученных результатов заключается в проектировании аэрационных систем станции водоподготовки в современных условиях на конкретном примере.

Практическая значимость данной магистерской диссертации заключается в применении аэрационных систем водоснабжения при проектировании станций обезжелезивания подземных вод для малых населенных пунктов в Витебской области.

Результаты работы были представлены на региональном семинаре по обработке подземных вод (июнь 2023 г.) Витебского учебного центра ЖКХ. Также на республиканском семинаре – декабрь 2023 г. и будут использованы УП «Витебскоблводоканал» при проектировании и реконструкции систем водоснабжения малых населенных пунктов.

По результатам работы будет подготовлена статья в сборник ПГУ (срок издания - 2024 г).

Данная магистерская диссертация на тему «Вариантное проектирование по выбору оборудования станций водоподготовки напорного типа» и состоит из 4 глав, содержит 45 страницы машинописного текста, 11 рисунков, 8 таблиц, 3 приложения и 41 литературных источников.

ГЛАВА 1. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

1.1. Общие сведения по проектированию объектов

Под проектированием понимается процесс поиска и принятия решения для последующей реализации воплощенного замысла при создании какого-то конкретного объекта [16]. Частности для повышения благосостояния населения проектирование систем водоснабжения сел, поселков и городов является одним из основных и важных разделов.

При проектировании необходимо учитывать множество факторов. Все проекты должны быть выполнены с соблюдением технических правовых актов.

В настоящее время, в основном, применяется система автоматизированного проектирования с ориентированием на широкое использование ЭВМ, но не исключая участия человека при решении наиболее сложных и творческих задач. Такую особенность называют *эргатичностью*, подразумеваемая разумное сочетание формализованных (машинных) и неформализованных (человеческих) процедур в процессе проектирования.

Нередко общую задачу проектирования, чтобы эффективней проводить этот процесс, разбивают на более простые и легко решаемые подразделы. Например, проектирование систем водоснабжения часто производят в несколько этапов. Вначале идет сбор и анализ исходной информации об объекте проектирования, выбор предполагаемого места строительства объекта, его функции, строительные, геологические и гидрогеологические, а также эксплуатационные характеристики. После этого формируется задание на проектирование и составляется состав проект.

Основой для проектирования систем водоснабжения населенных пунктов являются его генплан, т.ч. и ситуационный план. Их изучение позволит определить места расположения коммунально-бытовых зданий, сооружений и промышленных и предприятий. После этого на ситуационном плане выбирается местоположение элементов систем водоснабжения.

В общем, основные задачи проектирования объектов следующие:

- сначала необходимо установить последовательность действий с разработкой оптимальной организации самого процесса проектирования;
- сформулировать задачи реализации всего хода проектирования, если возможно, то разработать математическую модель и описание объекта;
- определить методы и алгоритмы выполнения проектных работ и выполнить формирование состава проекта.

На разных этапах проектирования предварительно необходимо сформулировать задачу выбора наилучшего варианта из множества допустимых проектных решений, которые удовлетворяют предъявленным требованиям по объекту. Т.е., в общем, для достижения цели проектирования требуется рассмотрение не одного, а многих технико-экономических вариантов по выбранному объекту, причем, к каждому могут применяться разные методы

решений, анализа и оценки. При этом специалисты проектной организации должны выполнить необходимые расчеты по выбору места размещения проектируемого объекта, характеристикам и стоимости материалов, производства строительных работ и т.д.

Чтобы сделать правильный, обоснованный и экономически эффективный выбор, для каждого варианта разрабатываются основные проектные решения. Окончательный выбор варианта осуществляется по согласованию с организацией, заказавшей проект, после чего проектная организация по нему начинает полноценную работу.

Таким образом, под вариантным проектированием понимается разработка нескольких разнозначных и равноценных вариантов, с использованием инженерных и других решения. В конечном итоге выбирается одна из возможных оптимальных или рациональных схем водоснабжения.

1.2. Принципы проектирования систем водоснабжения малых населенных пунктов

При проектировании системы водоснабжения малых населенных пунктов в первую очередь должно быть определено сколько воды и какого качества требуется подавать данному объекту. Для решения данных задач учитываются все возможные потребители воды и устанавливаются их требования к количеству и качеству подаваемой воды [1].

В данной работе будут рассмотрены вопросы проектирования аэрационных систем напорных станций обезжелезивания малых населенных пунктов. В этом случае, этапы проектирования и их содержание, которые должны быть взаимосвязаны между собой, следующие.

На первом этапе выполняется сбор информации и анализ по объекту. Определяются требования к количеству подаваемой воды (выполняется расчет водопотребления рассматриваемого населенного пункта), производится обследование источника водоснабжения, его санитарное состояние. Также определяется расчетная производительность водоочистных сооружений и требования к степени очистки воды (обычно нормативные показатели по СанПиН 10.124-99 РБ).

Производится предварительный анализ исходной подземной воды по сезонам года, причем, расчетные максимальные значения запаха, мутности и цветности, перманганатной окисляемости, железа и сопутствующих загрязнений при проектировании сооружений станций водоочистки (обезжелезивания) следует определять по данным специализированных лабораторий за период не менее чем 2 предшествующих года [42]. Кроме этого, необходимо выполнять в период проектирования повторный отбор проб воды и их анализ непосредственно у водоисточника. При необходимости проводятся научные исследования по выбору технологических схем водоочистки.

В результате первого этапа должна быть сформулирована цель исходя из общих выражений характеристик проектируемого объекта и определены проблемные ситуации в изменении существующего положения. Достижение

цели, поставленной в техническом задании, должно достигаться наиболее эффективными и рациональными способами.

На втором этапе выполняется формулировка задач и идей (вопросов) проектирования и пути их решения, с выработкой вариантов возможных решений и проверка выбранных концепций на законодательное соответствие и правовым актам.

Если необходимо выполнить эксперимент, лабораторные испытания или детальные исследования, то продуктом этого должно быть создание опытного образца.

На следующем этапе выполняется составление (разработка) проектной документации (рабочие чертежи, пояснительные записки): описание проектируемого объекта (рабочие чертежи, технические условия), подбор методов изготовления продукции, определение объема производства, календарное планирование, контроль качества и приемочный контроль. Здесь же производится учет особенностей местности, климатических условий, мест расположения существующих объектов и коммуникаций, обеспечение надлежащего качества и сроков строительства, безопасности будущего объекта, вопросы ремонта и обслуживания.

В проекте предусматривается проектно-сметная документация, оптимизация расходов заказчика на приобретение материалов, аренду спецтехники, фонд оплаты труда, обязательные платежи.

Заключительным этапом проектирования является установление конкурентоспособности цен, реклама, нахождение рынков сбыта, обеспечение прибыли.

Готовый проект проходит обсуждение, согласования и экспертизы.

На начальном этапе проектирования систем водоочистки следует проводить предварительные микробиологические, химические и физические исследования состава воды источника, намеченного к использованию. Далее методы и степень очистки воды, состав и конструкция очистных сооружений определяются на основании оценки качества обрабатываемой воды и уточнении результатов инженерных изысканий, выполняемых непосредственно у подземного источника водоснабжения [37].

Проблемой прямого использования подземных вод для хозяйственно-питьевых нужд (без предварительной обработки) является наличие в них повышенного содержания железа, а в некоторых случаях марганца, аммиака, нитритов и нитратов.

В настоящее время очистка подземных вод от железа производится на специальных установках – станциях обезжелезивания. Наиболее простым и распространенным способом удаления железа из воды является аэрация и фильтрование через напорные или безнапорные фильтры.

Если же в исходной воде наблюдается содержание железорганические комплексы и низкие значения рН и щелочности, то обезжелезивание следует производить с использованием схем реагентной водоподготовки.

Вариантное проектирование подразумевает под собой выбор метода очистки воды на основании технико-экономического анализа, руководству-

ясь минимальными затратами и высоким технологическим эффектом очистки.

Основные этапы проектирования систем водоочистки напорного типа следующие: сбор информации и анализ, выбор метода очистки и оборудования, составление (разработка) проектной документации.

На основе результатов исследования и анализа источника водоснабжения предварительно определяются различные варианты методов очистки и состава сооружений водоподготовки, которые должны уточняться по результатам инженерных изысканий, выполняемых непосредственно у подземного источника водоснабжения.

Окончательный выбор метода очистки и состав водоочистного оборудования производится исходя из наиболее высокой эффективности очистки, а также из технико-экономических соображений и далее согласовывается с заказчиком.

ГЛАВА 2. КРАТКИЙ ОБЗОР ПО ОБОРУДОВАНИЮ СТАНЦИЙ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ НАПОРНОГО ТИПА

2.1. Общие сведения по составу подземных вод в Республике Беларусь

Подземные воды являются основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов в Республике Беларусь.

Все административные области Республики Беларусь значительно различаются по уровню обеспеченности подземными водами малых населенных пунктов. По общему объему подачи воды в малые населенные пункты на первом месте Минская область – 10 700 м³/сут, Витебская область занимает второе место - 10 260 м³/сут [11].

Формирование химического состава подземных вод в естественных условиях происходит за счет выщелачивания горных пород зоны активного водообмена. Легкорастворимые вещества были вынесены в более раннее геологическое время, и в горных породах остались труднорастворимые карбонаты и силикаты.

Установлено, что сложный состав воды (в основном, высокие концентрации цветности, железа, марганца, аммония и окисляемости) наблюдается в местности, где располагаются болотные массивы. Это характерно для Полесья, Полоцкой низины и других заболоченных территорий [1].

В этом случае вода нестабильного состава может привести к коррозии либо отложению в трубах, непосредственно или косвенно создавая условия, благоприятные для роста специфических бактерий. Кроме того, изменяются ее органолептические свойства. Показатели воды для хозяйственно-питьевых нужд также при ее использовании не соответствуют нормативным значениям СанПиН 10.124-99 РБ [44].

Контроль за состоянием подземных вод осуществляется в Республике Беларусь посредством пунктов наблюдений. Это наблюдательные скважины или группа скважин, гидрогеологические посты, оборудованные на различные водоносные горизонты (комплексы) и включенные в государственный реестр пунктов наблюдений НСМОС в Республике Беларусь [33].

Отбор проб воды из наблюдательных скважин осуществляется специалистами филиала «Белорусская комплексная геологоразведочная экспедиция» ГП «НПЦ по геологии». Состав подземных вод контролируется один раз в год, уровень грунтовых вод измеряется три раза в месяц.

Сеть мониторинга качества воды делится на следующие компоненты:

- государственная сеть предназначена для наблюдений за гидрогеологическими, гидрохимическими и иными показателями состояния подземных вод, выявления негативных процессов, оценки и прогнозирования их изменения, предотвращения вредных последствий и определения эффективности мероприятий, направленных на рациональное использование и охрану подземных вод.

Государственная сеть наблюдений за состоянием подземных вод организовывается с учетом границ речных бассейнов и включает в себя, в том числе фоновые и трансграничные пункты наблюдений.

-фоновые пункты наблюдений предназначены для осуществления наблюдений за состоянием подземных вод в их взаимодействии с биогеосферными явлениями без наложения на них региональных антропогенных воздействий и с учетом общей гидродинамической и гидрогеохимической зональности подземных вод.

-трансграничные пункты наблюдений предназначены для осуществления наблюдений за состоянием подземных вод, данные которых используются для оценки трансграничного воздействия на окружающую среду и представляются в рамках международного сотрудничества.

Под мониторингом подземных вод понимается система регулярных наблюдений за состоянием подземных вод по гидрогеологическим, гидрохимическим и другим показателям, оценки и прогноза его изменения в целях своевременного выявления негативных процессов, предотвращения их вредных последствий и определения эффективности мероприятий, направленных на рациональное использование и охрану подземных вод.

Перечень объектов, осуществляющих хозяйственную и иную деятельность, которая оказывает вредное воздействие на подземные воды, в том числе экологически опасную деятельность, приведен в Постановлении Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 11 января 2017 г. № 5 [36].

Количественное соотношение источников загрязнения в целом по республике представлено в таблице 2.1.

Таблица 2.1. - Перечень группы источников вредного воздействия на подземные воды

Наименование группы источников вредного воздействия	Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Г. Минск	Минская	Могилевская	Всего, шт.
Полигоны ТКО	29	28	29	19	3	29	21	158
Места хранения и захоронения промышленных отходов	5	11	20	8	6	16	13	79
Промплощадки предприятий	-	-	-	-	-	3	-	3
Места хранения нефтепродуктов	1	-	16	-	-	2	-	19
Поля фильтрации	4	4	3	4	-	1	-	16
Поля орошения	-	1	4	-	-	-	-	5
Захоронения непригодных пестицидов	1	3	1	1	-	-	1	7
Места добычи подземных полезных ископаемых (карьеры)	2	1	-	2	-	-	3	8
Прочие	-	-	1	1	-	1	-	3
Итого	43	48	75	35	9	52	39	301

Анализ состава воды проводится аккредитованной лабораторией «Центральная лаборатория» ГП «НПЦ по геологии» и специализированными лабораториями областей (т.ч. ВКХ).

Результаты анализа подземных вод в скважинах Республики Беларусь за 2022 г. показывают, что основными элементами, не удовлетворяющие ПДК, является мутность, цветность, концентрация суммарного (общего) железа, марганца и аммонийных солей. В некоторых случаях наблюдаются повышенные концентрации нитратов, общей жесткости, окисляемости, сульфатов и др. показателей [33].

Эти показатели, могут быть, обусловлены влиянием природных или антропогенных факторов.

К природным факторам относят: влияние атмосферных осадков, развитую гидрографическую сеть, слабую естественную защищенность, присутствие фульво- и гуминовых кислот, изолированность нижележащих водоносных комплексов от вышележащей водоносной толщи, защищенность от поверхностного загрязнения – степень перекрытости отложениями, препятствующими проникновению загрязняющих веществ с поверхности земли или из вышележащего водоносного горизонта.

Вышеперечисленные факторы во многом формируют качество подземных вод, для которых зачастую характерно высокое содержания железа и связанного с ним марганца, повышенные концентрации бора, бария двуокиси кремния и низкое содержание фтора [43].

Под антропогенными источниками загрязнения подразумевают хозяйственную деятельность человека, включая интенсивный водоотбор из скважин. Их влияние привносит в подземные воды самые разнообразные химические компоненты, вплоть до тяжелых металлов, пестицидов, нефтепродуктов и т.д. Из-за чрезмерного применения удобрений, а также попадания продуктов выщелачивания сточных вод или других органических отходов в поверхностные и подземные воды, в артезианских водах могут обнаруживаться марганец, аммонийный азот, нитраты и растворенные газы (например, бикарбонаты, сероводород, метан и др.) [46].

Содержание железа в природной воде связано с региональными, климатическими, ландшафтными и гидрологическими особенностями зоны нашего проживания. Именно поэтому его избыточная концентрация присутствует практически повсеместно, охватывая почти все водоносные горизонты пресных вод и групповых водозаборов по областям Республики Беларусь, независимо от принадлежности к тому или иному артезианскому бассейну [13].

Питьевое водоснабжение всех городов и районов Витебской области осуществляется из подземных источников (артезианских скважин).

В пределах Витебской области подземные воды по химическому составу в основном гидрокарбонатные магниево-кальциевые.

Состав артезианских подземных вод в Витебской области представлен в таблице 2.2

Таблица 2.2. - *Состав подземных вод в Витебской области

Наименование показателей	Значения показателей
рН (ПДК в пределах 6-9)	7,1-8,0
Общая минерализация, мг/дм ³ (ПДК=1000 мг/дм ³)	220-602
Жесткость общая, мг-экв/дм ³ (ПДК=7 мг-экв/дм ³)	3,81-8,0
Окисляемость перманганатная (ХПК) (ПДК=5 мгО ₂ /дм ³)	2,5-4,9
Хлориды Cl ⁻ , мг/дм ³ (ПДК=350 мг/дм ³)	2,-30
Сульфаты SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³ (ПДК=500 мг/дм ³)	4-15
Железо Fe суммарно (ПДК=0,3 мг/дм ³)	0,6-5,1
Марганец Mn суммарно (ПДК=0,3 мг/дм ³)	0-0,5
Натрий Na ⁺ (ПДК=200 мг/дм ³)	10-120
Калий K ⁺	0,9-2,4
Соли аммония в пересчете NH ₄ ⁺ , (ПДК=2 мг/дм ³)	0-4,5
Мутность (ПДК=2 мг/дм ³)	0-5,0
Цветность, (ПДК=20 град.)	10-40
Нитраты, мг/дм ³	10-25

* Анализы специализированных лабораторий по качеству воды УП «Витебскобл-водоканал» за период 2022-2023 гг.

В Витебской области (Полоцкий, Лиозненский, Докшицкий и Поставский районы) также находятся подземные водные источники, содержащие концентрации нитратов до 100 мг/дм³, сульфатов от 500 до 2500 мг/дм³, жесткость до 45 мг-экв/дм³.

На территории области выявлен целый ряд источников минеральных вод, среди которых по химическому составу выделяются хлоридно-сульфатные и сульфатно-хлоридные воды. Катионы кальция и магния постепенно сменяются натрием.

Большая часть разреза этой зоны представлена хлоридно-натриевыми водами. Их минерализация на больших глубинах определена в процессе откачки из эксплуатационных скважин. Например, в Витебской области, г. Лепель: в интервале 544-582м залегает хлоридная натриевая вода с минерализацией 40,8г/дм³, санаторий «Летцы» Витебского района в интервале 714-803,2м минерализация достигает 105г/дм³, г. Орша на глубине 768м она составляет 73,7 г/дм³. Аналогично и в других областях РБ.

2.2. Методы и технологические решения по обработке подземных вод в Витебской области

Одним из основных направлений развития водопроводно-коммунального хозяйства Витебской области является решение вопросов по улучшению качества подаваемой населению питьевой воды из централизованных систем водоснабжения.

Решение данной проблемы связано с проведением комплекса мероприятий по реконструкции существующих и строительству новых установок водоподготовки.

По принципу перемещения воды в сооружениях станции водоподготовки различают самотечные и напорные системы. В самотечных системах вода протекает самотеком, т.е. под действием силы тяжести. В напорных системах вода течет под давлением, создаваемым насосами.

Состав и технологическая схема работы самотечных систем представляет собой высотную схему с профилем основных сооружений станции водоочистки. Высотная схема составляется с наиболее низкорасположенного сооружения – резервуара чистой воды [5].

Многочисленные методы обработки воды можно классифицировать на следующие основные группы: улучшение органолептических свойств воды (осветление, обесцвечивание, дезодорация и др.); обеспечение эпидемиологической безопасности (хлорирование, озонирование, ультрафиолетовая радиация и др.), улучшение минерального состава (фторирование и обесфторирование, обезжелезивание и деманганация, умягчение или обессоливание и др.).

Метод обработки воды выбирают на основе предварительного изучения состава и свойства воды источника, намеченного к использованию, и их сопоставления с требованиями потребителя [9].

По результатам анализа подземных вод в скважинах Витебской области за 2022-2023 гг. установлено, что основными элементами, не удовлетворяющие ПДК, является концентрация суммарного (общего) железа, также в артезианских водах могут обнаруживаться марганец, аммонийный азот, нитраты и растворенные газы (например, бикарбонаты, сероводород, метан и др.), высокая цветность и перманганатная окисляемость [33].

Методы удаления марганца из воды подземных источников во многом схожи с ее обезжелезиванием аэрацией и реагентной обработкой и основаны на его окислении примесей, содержащих иона марганца (II) до марганца (III) и марганца (IV). Часто задачи удаления железа и марганца из воды решаются совместно.

В малых населенных пунктах Витебской области при небольших производительностях станций водоподготовки, наиболее рентабельным и часто применяемым способом водоподготовки является безреагентный метод очистки воды от железа упрощенной или интенсивной аэрацией с последующим фильтрованием на безнапорных или напорных фильтрах [45]. Аэрация может осуществляться перед каждым фильтром или в аэрационном устройстве, общем для всех фильтров станции.

К числу безреагентных методов удаления марганца из воды следует отнести: глубокую аэрацию с последующим отстаиванием и фильтрованием на скорых осветлительных фильтрах с сорбцией марганца на свежесформованных осадках гидроксиде железа и магния.

Реагентные методы очистки воды от растворенного железа применяются в случаях, когда при опытном обезжелезивании аэрационными методами не удается достигнуть требуемого эффекта. Обычно это происходит при больших концентрациях железа и его присутствия в трудноокисляемых формах. Реагенты в обрабатываемую воду вводятся с целью повышения рН и,

тем самым, они ускоряют процесс гидролиза железа и способствуют хлопьеобразованию, коагуляции хлопьев, окислению закиси железа. Как правило, в реактивных методах обезжелезивания применяется и аэрация, так как в этом случае уменьшается расход реагентов для подщелачивания и окисления.

Для подщелачивания воды наиболее эффективно применение извести, для окисления железа – хлора или озона, перманганат калия, озон, хлор и его производные или модифицированные фильтрующие загрузки, обладающие дополнительными окислительными свойствами, например, цеолиты, пиролюзит и др. [10].

Также на объектах Лепельского, Лиозненского и Докшицкого районов Витебской области применяется установки по удалению из подземной воды комплексных соединений железа, нитратов, жесткости реагентным, ионообменным методами или обратным осмосом.

Обезжелезивание воды непосредственно в водоносном пласте является одним из новых методов и технологических решений по обработке подземных вод в Витебской области, который пока мало изучен и в Республике Беларусь [45]. Данный метод был применен в малом населенном пункте в Докшицком районе Витебской области [37]. Основной водоносный слой на данном объекте являются мелко и среднезернистые пески, имеющие большую площадь межпорового пространства, что приводит к закреплению высокой концентрации кислорода на его зернах. Метод обезжелезивания воды в подземном водоносном пласте основан на тех же принципах окисления двухвалентного железа до трехвалентного, но непосредственно в водоносном пласте. При одновременном присутствии в воде и марганца происходит также его окисление до четырехвалентного. Рекомендуемое содержание железа в воде — не более 3–6 мг/л.

Сущность метода заключается в закачке в водоносный пласт обогащенной кислородом воды с целью формирования вокруг скважины окислительной зоны, в пределах которой при последующей откачке задерживаются железо и марганец.

В пределах окислительной зоны повышается окислительно-восстановительный потенциал, что обеспечивает окисление двухвалентных железа и марганца и задержание их в виде гидроксидов на зернах водонесущих пород водоносного пласта. Значительная роль в подземном обезжелезивании и обезмарганцевании воды принадлежит железо- и марганце-окисляющим бактериям.

Следует отметить, что его применение ограничено гидрогеологическими особенностями подземных слоев, которые должны быть достаточно пористыми для надлежащего насыщения воды кислородом.

Метод закачки воды в подземный пласт является наиболее дешевый и достаточно эффективный, но применяется только при определенных условиях. Эффективность данного метода оценивается исходя из минералогического состава водоносных слоев, строения этих горизонтов, а также химического состава подземных вод и производительности системы водоснабжения.

2.3. Аэрационные системы напорных установок

Подача воздуха в фильтры может осуществляться тремя способами: безнапорный (самоизлив), эжекторный, напорный с использованием компрессора.

В случае применения безнапорного варианта (обычно для крупных населенных пунктов) вода насыщается кислородом воздуха дважды в приемной камере и непосредственно в фильтре путем ее излива с высоты 500–600 мм [41]. В приемную камеру вода подается трубопроводом непосредственно от скважин. Для усиления насыщения воды кислородом воздуха этот трубопровод может оборудоваться дополнительном вакуумным эжектирующим устройством.

В фильтре насыщается кислородом воздуха при изливе ее из воронки концентрация кислорода в воде достигает 5–10 мг/л. Одновременно частично удаляется растворенная двуокись углерода. Воронка располагается в кармане открытого фильтра (рисунок 2.1).

Для малых населенных пунктов обычно используется напорная схема обработки подземной воды (за исключением применения биологического метода), когда она перед фильтрами насыщается кислородом воздуха посредством эжектора или компрессора (рисунок 2.2).

Принцип работы напорных фильтров с эжекторами следующий.

Эжектор – это простое устройство, позволяющее под действием вакуума засасывать воздух в трубу подачи воды (рисунок 2.3). За счёт того, что труба сначала сужается, а затем расширяется, изменяется скорость потока и возникает область пониженного давления, в которой происходит подсос воздуха (принцип работы - сопло Вентури) через специальное отверстие. Чтобы предотвратить вытекание воды наружу, вакуумный патрубок оснащается обратным клапаном. После эжектора вода поступает на фильтровальную установку.

Эжекторная система аэрации широко применяется при методе упрощенной аэрации.

К достоинствам этого метода относятся простота обслуживания, технологическая надежность, низкая себестоимость очистки, безреагентная обработка воды. Но, следует отметить, что одноступенчатая схема обработки воды сложного состава, когда кроме железа, содержатся дополнительные загрязнения (мутность, цветность, окисляемость, марганец, соли аммония и др.) на напорных фильтрах по методу упрощенной аэрации, имеет низкую технологическую и санитарную эффективность и надежность, т.е. фильтрат не соответствует по качеству нормативным показателям.

Со временем толщина пленки соединений железа на поверхности зерен загрузки увеличивается, начинается ее растрескивание и вынос мелких обломков железа в очищенную воду. Качество очищенной воды ухудшается и содержание железа в ней не удается снизить ниже 0,5–1,5 мг/л.

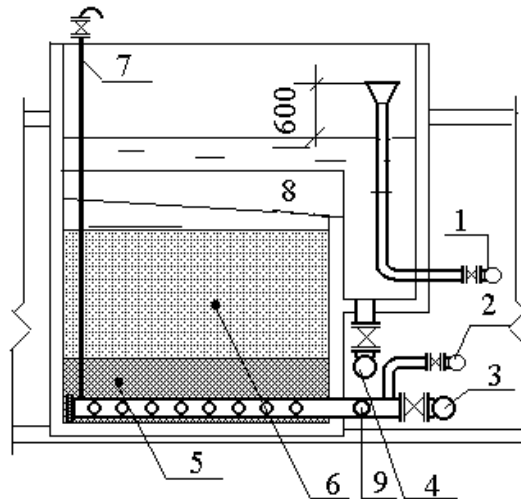


Рисунок 2.1. - Фильтр обезжелезивания воды

1 – подача исходной воды; 2 – отвод фильтрата; 3 – подача промывной воды; 4 – отвод промывной воды; 5 – поддерживающие слои фильтра; 6 – фильтрующий материал; 7 – воздушник; 8 – желоб; 9 – опорожнение фильтра

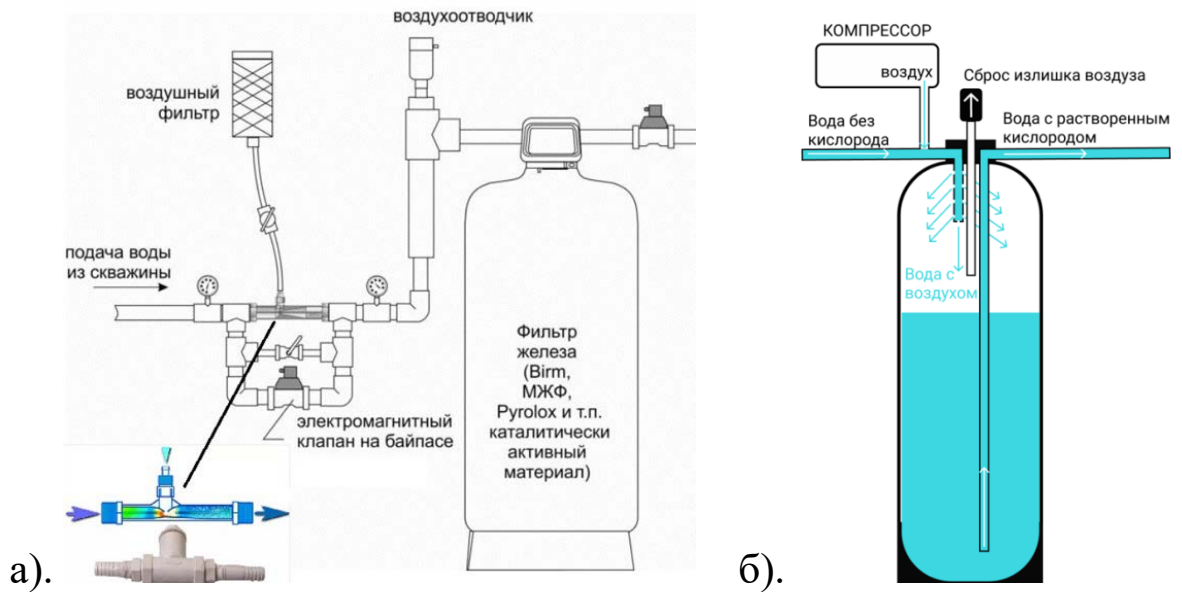


Рисунок 2.2. – Напорный фильтр с эжектором (а) и компрессором (б)

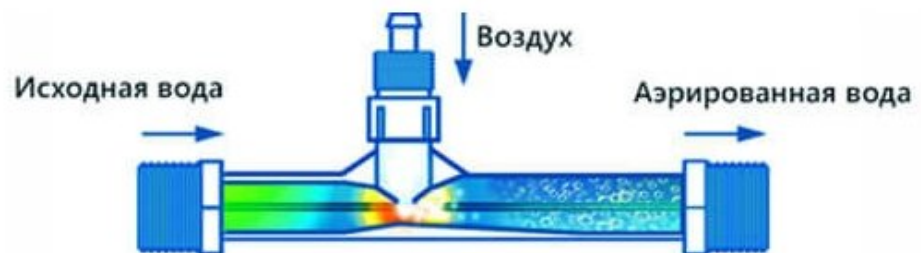


Рисунок 2.3. - Схема работы эжектора

При плохой промывке фильтров в толще загрузки образуются конгломераты соединений железа, достигающие размера в диаметре до 10–15 мм, объем загрузки увеличивается ее приходится часто менять. Без перегрузки фильтра в этом случае обойтись трудно. Все эти недостатки особенно проявляются при высоком, 5 мг/л и более, содержании железа в воде. Можно промывку фильтров осуществлять водо-воздушной системой, обеспечивающей более глубокое удаление загрязнений из загрузки, но для малой производительности станции водоподготовки это практически невозможно.

При этом соли аммония, цветность и окисляемость практически не снижаются.

В таком случае применяют метод интенсивной (глубокой) аэрации в напорном варианте. Для подачи воздуха в основном используется компрессор. Часто при этом перед напорными фильтрами устанавливают аэрационные колонны различного типа.

Для станций водоподготовки может применяться компрессор типа air Pump (рис. 2.4 AP, сделано в США). Этот компрессор продается в России и Беларуси уже больше 10 лет, абсолютный лидер продаж среди компрессоров для напорной аэрации. Он специально предназначен для нагнетания воздуха и других газов в напорные трубопроводы водоснабжения. Не перегревается. Ресурс его графитовых подшипников рассчитан на 20-25 тысяч часов работы, после чего замена подшипников и тефлоновой прокладки поршня, и он снова в строю.



Рисунок 2.4. - Компрессор air Pump (AP)

Компрессоры с ресивером для станций водоподготовки малых населенных пунктов представлены очень широко (производство Россия, Китай). Производительность 50-600 л/мин. Могут быть одно и многопоршневые и косиальные, масляные и безмасляные.

Например, компрессор AP-2 (рис.2.5), двигатель которого охлаждается воздухом помещения за счет активной подачи одного встроенным вентилятором непосредственно через детали двигателя. Компрессор этот безмасляный. С открытым корпусом. На входе у него есть войлочный фильтр, требующий периодической очистки. В случае попадания воды внутрь камеры компрессор легко разбирается и чинится на месте без замены запчастей.

Есть у него и некоторые минусы. Этот компрессор тяжелый, шумноват и не очень удобен в монтаже. Дает сильную вибрацию, особенно на деревянные стены дома или контейнера водоочистных станций.



Рисунок 2.5. - Компрессор AP-2 с ресивером

Смешение воздуха с водой производится в расширительных вставках или струйных аэраторах. При применении метода интенсивной аэрации часто используется специальное оборудование – аэрационная колонна.

Схема работы аэрационной колонны с компрессором представлена на рисунке 2.6. При наличии разбора воды датчик (реле) потока включает воздушный компрессор, который подает воздух во входной трубопровод. Водовоздушная смесь поступает в корпус по входной трубе, доходящей приблизительно до 1/3 верхней высоты корпуса колонны. Корпус системы выполняет функцию контактной камеры воды и воздуха. За счет насыщения воды пузырьками воздуха происходит окисление растворенных газов, железа и других загрязнений. Удаление газов происходит посредством воздушного клапана, который также обеспечивает поступление воздуха внутрь при образовании вакуума. Удаление железа происходит посредством дальнейшего окисления и осаждения окислов в напорных фильтрах.

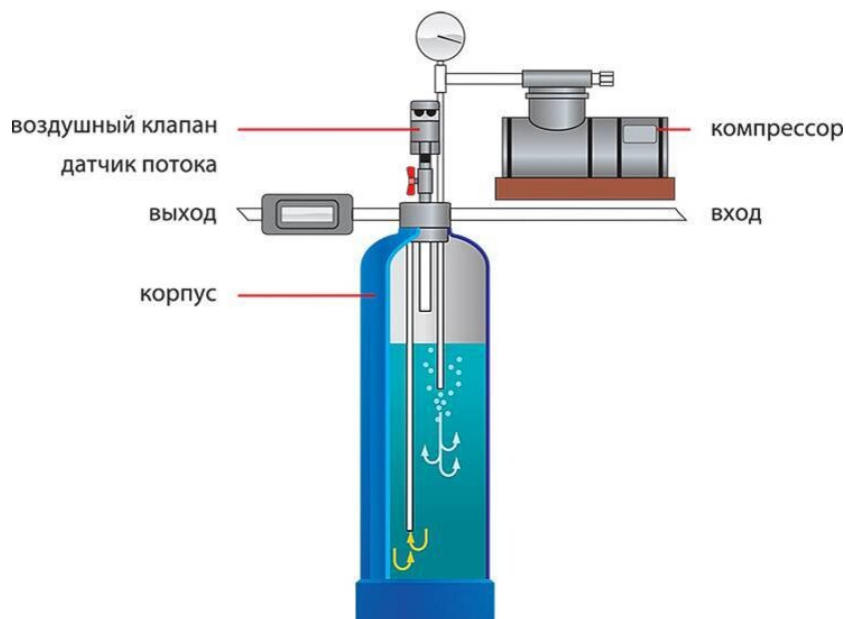


Рисунок 2.6. – Схема работы аэрационной колонны

2.4. Напорные фильтры и фильтрующие загрузки

Напорные вертикальные фильтры с зернистой загрузкой (рисунок 2.7) широко применяются для очистки подземных вод.

Фильтр представляет собой стальной вертикальный резервуар обычно заводского изготовления, диаметром 1,0-3,4 м. Могут быть и местного изготовления 0,5-0,9 м. Резервуар рассчитывается на давление 0,6 МПа. Загружается фильтр, как правило, высотой 1 м. Скорость фильтрации принимается 7-10 м/ч.

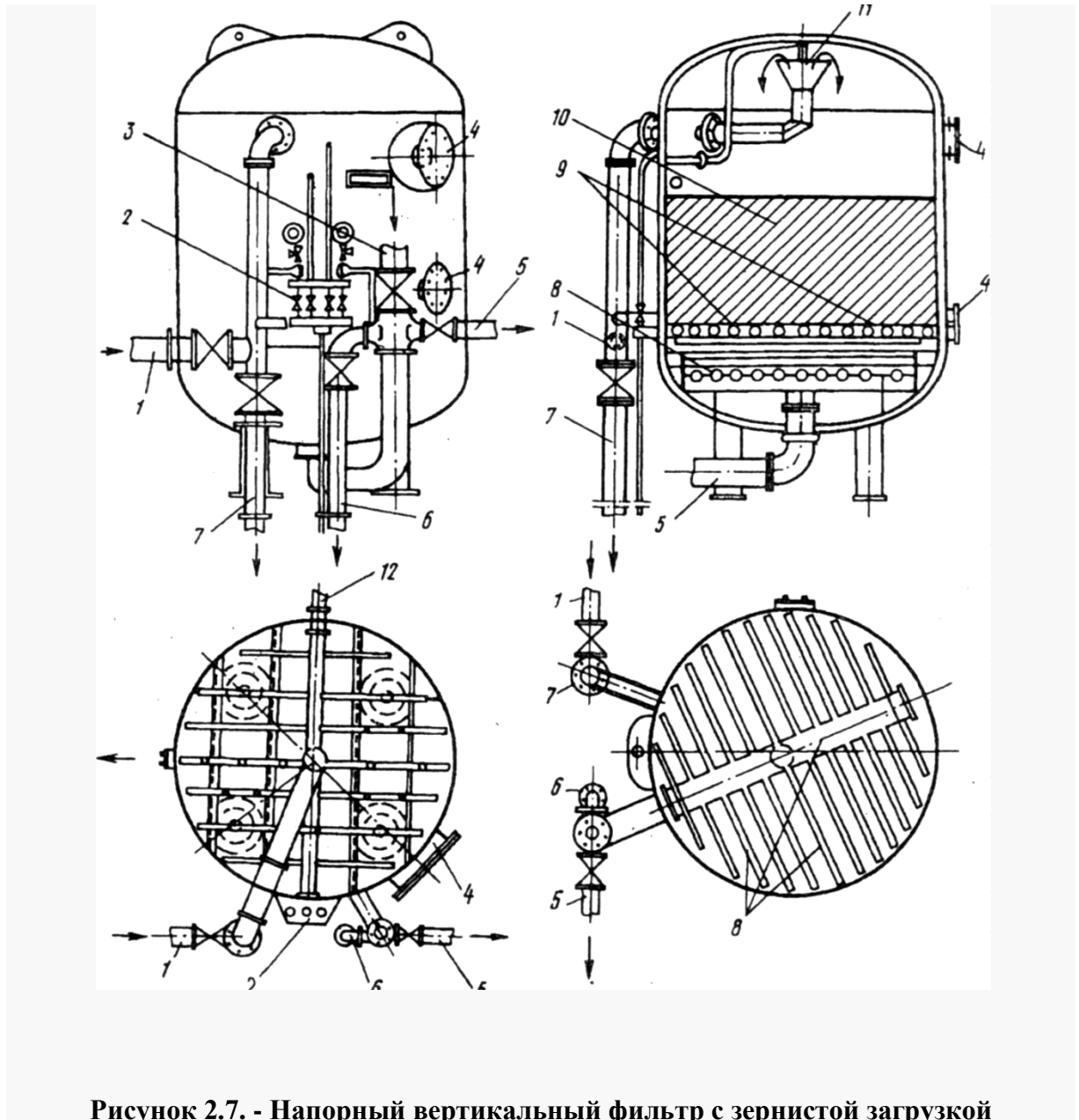


Рисунок 2.7. - Напорный вертикальный фильтр с зернистой загрузкой

1, 5 — подача исходной воды и отвод фильтрата; 2 — пробоотборники; 3, 7 — подача и отвод промывной воды; 4 — люки; 6 — сброс первого фильтрата и опорожнение; 8 — распределительная (дренажная) система; 9 — воздухораспределительная система; 10 — фильтрующая загрузка; 11 — распределительная воронка; 12 — подача воздуха; 13 — фильтрующая загрузка из вспененного полистирола; 14 — сетчатые элементы дренажа; 15 — трубчатая система сбора промывной воды

Важным условием, обеспечивающим качество процесса фильтрации, является выбор нижней дренажно-распределительной системы (ДРС). Выбор НДРУ значительно влияет на гидравлические процессы протекания обрабатываемой воды через фильтрующий материал и процесс регенерации, а, значит, и качество работы фильтра. Для металлических фильтров обычно используется щелевой колпачковый дренаж.

В последнее время стали применяться фильтры из стекловолоконистых материалов на эпоксидной смоляной основе. Особенно в качестве фильтров второй ступени. К недостаткам таких фильтров следует отнести устройство в нижней части одного щелевого колпака, что не обеспечивает равномерность распределения промывной воды по площади фильтра.

В качестве фильтрующей загрузки могут использоваться:

- инертные материалы; кварцевый песок, антрацит, дробленый и недробленый керамзит, колотый гранитный щебень, пемза и т. д.;
- модифицированные материалы (с нанесенной на них каталитической пленкой, чаще всего из соединений марганца), исключая необходимость периода вработки загрузки, так как она с самого начала ввода фильтров в эксплуатацию обеспечивает высокий эффект удаления железа и, при необходимости, марганца из воды: природные марганецсодержащие породы, например, пиролюзит, сорбенты АС, МС, ОДМ, ОДМ-2Ф, ОДМ-5Ф. Для удаления солей аммония могут применяться цеолиты, ионообменные смолы, модифицированные загрузки типа Virm, Promix и др.

Коммуникации фильтров оборудуются запорными и измерительными устройствами.

Для дезинфекции практически везде используются лампы бактерицидного облучения воды.

Фильтры, аэрационные устройства, коммуникации, бактерицидные лампы, баки промывной воды и насосные группы располагаются в павильонах из сэндвич панелей.

2.5. Особенности эксплуатации напорных установок для обработки подземных вод

Станция водоподготовки комплектуется фильтрами, которые относятся к классу вертикальных напорных фильтров, предназначенных для очистки воды подземных источников и доочистки воды систем централизованного и нецентрализованного водоснабжения от мелкодисперсных частиц и взвесей, железа, марганца, ионов аммония, сероводорода и других загрязнений. Работа фильтров полностью автоматизирована и не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала.

Каждый фильтр оборудован системой сброса избыточного воздуха. Попадание воздуха в загрузку и очищенную воду не допускается.

Управление фильтрами обезжелезивания осуществляется шкафом управления с контроллером. Контроллер передает сигнал запорные блоки,

которые производит открытие/закрытие клапанов.

Контроль за работой оборудования, обслуживание и ведение документации по эксплуатации на станции обезжелезивания осуществляет обслуживающий персонал и специалисты технических служб филиала согласно графиков ППР.

Контроль за соблюдением технологического режима работы оборудования комплекса осуществляют начальники участков филиала.

Техническое обслуживание в гарантийный период может осуществлять только квалифицированными специалистами, прошедшими обучение по техническому обслуживанию (ТО) на заводе-изготовителе, что подтверждается соответствующим сертификатом или специалистами официального сервисного центра.

График проведения ТО разрабатывается при пусконаладочных работах и зависит от качества и количества фильтруемой воды, но не реже одного раза в год.

При существенном изменении показателей качества исходной воды, ее давления или объёма водопотребления на объекте следует немедленно изменить настройки параметров промывки фильтров или время между промывками.

Рекомендуется периодически проверять текущее время на циферблате контроллера. После перерыва в подаче электроэнергии необходимо заново установить текущее время.

Фильтры после запуска в эксплуатацию не допускают длительных перерывов в работе с застаиванием воды в корпусе фильтра. Периодичность промывок фильтра зависит от состава и количества загрязнений в исходной воде и условий эксплуатации. Длительные задержки в проведении промывок приводят к быстрому росту микробиологических загрязнений в фильтрованной воде.

Если фильтр не использовался в течение длительного времени, до начала пользования водой во избежание образования микрофлоры в фильтрующем слое необходимо произвести его дезинфекцию и промывку.

Для непосредственной эксплуатации станции обезжелезивания необходимо вести и обеспечить хранение соответствующей документации на СОВ в специально отведенном месте (стенд, тумбочка, шкаф и т.п.):

- план и высотная схема сооружений водоподготовки с нанесением всех коммуникаций.
- оперативная технологическая схема сооружений водоподготовки.
- схема автоматизации и диспетчеризации сооружений водоподготовки.
- технологический регламент (инструкция) эксплуатации сооружений водоподготовки.

Для осуществления обезжелезивания и обезмарганцевания воды непосредственно в водоносном пласте можно предусматривать циклическую закачку воды, обогащенной кислородом в водоносный пласт через эксплуатационную или отдельную поглощающую скважину (скважины) для создания

окислительной зоны. Продолжительность закачки и забора воды из эксплуатационной скважины определяют при проведении инженерных изысканий и уточняют при проведении пуско-наладочных работ.

Обогащение воды кислородом воздуха осуществляют с помощью эжектора для очистки воздуха необходимо предусматривать соответствующие устройства. Для удаления растворенных газов из воды, подготовленной для введения в водоносный пласт, предусматривают дегазатор, рассчитываемый на продолжительность пребывания в нем воды от 3 до 5 мин.

Эксплуатация скважин производится как для водозаборных сооружений с учетом аэрации воды в отдельных сооружениях.

2.6. Выводы по главе 2

1. Основным источником водоснабжения малых населенных пунктов в Республике Беларусь являются подземные воды, причем проводится их мониторинг путем наблюдения за их состоянием, проведением анализа химического состава и определение загрязняющих веществ. Дается оценка и прогноз их изменений для предотвращения каких-то вредных последствий определяются мероприятия, направленные на рациональное использование и охрану подземных вод. На качество подземных вод влияют как антропогенные (хозяйственная деятельность человека, применение удобрений, захоронение отходов животноводства и др.), так и природные факторы (атмосферные осадки, температура и др.).

2. Основной проблемой использования подземных вод для хозяйственно-питьевых нужд в Витебской области без предварительной обработки является наличие в них мутности, цветности, окисляемости, железа, марганца, аммонийного азота, нитратов и растворенных газов. Решение качества водоснабжения малых населенных пунктов в Витебской области связано с проведением комплекса мероприятий по реконструкции существующих и строительству новых установок водоподготовки.

3. При выборе метода обработки подземных вод следует проводить предварительные микробиологические, химические и физические исследования состава воды источника, намеченного к использованию, которые должны выполняться непосредственно у подземного источника водоснабжения. Подготовка питьевой воды - технологический процесс для придания питьевой воде качеств, отвечающих установленным нормативным требованиям СанПиН 10-124 РБ 99.

4. Наиболее простым и распространенным способом удаления железа из воды является аэрация и фильтрование через напорные или безнапорные фильтры. Смешение воздуха с водой производится в расширительных вставках или струйных аэраторах. При применении метода интенсивной аэрации часто используется специальное оборудование – аэрационная колонна

5. Станция водоподготовки малых населенных пунктов комплектуется фильтрами, предназначенных для очистки воды из подземных источников и доочистки воды систем централизованного и нецентрализованного водо-

снабжения. Работа фильтров полностью автоматизирована и не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала.

6. При проектировании станций водоподготовки следует сопоставлять варианты принятых методов и технологических схем очистки подземной воды исходя из эффективности очистки, технико-экономических соображений, а также с учетом опыта эксплуатации сооружений, работающих в аналогичных условиях.

ГЛАВА 3. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

3.1. Выбор объекта исследования

Примером объекта проектирования был принят определенный объект с рассмотрением вариантов оборудования станции водоподготовки.

В качестве объекта проектирования был принят населенный пункт Нача Ветринского сельского совета Полоцкого района Витебской области.

Земельный участок, отведенный под проектирование, расположен в районе жилой усадебной застройки.

Населенный пункт расположен в 34 км в направлении к юго-западу от г. Полоцка, в 139 км от г. Витебска, расположена у реки Нача.

Рельеф участка спокойный, имеются удовлетворительные условия стока поверхностных вод. Участок располагается в водоохранной зоне реки Нача. Для района характерно сложное сочетание холмисто-рядовых возвышенностей замкнутых и полузамкнутых очертаний, внутри которых заключены котловинообразные заболоченные понижения.

Климат Полоцкого района умеренно-теплый. По агроклиматическому районированию исследуемая территория относится к северной умеренно теплой влажной агроклиматической области.

Среднегодовая температура воздуха – 5,2 градуса по Цельсию. Средняя температура воздуха в январе составляет минус 7,2 °С, в июле – плюс 17,5-18°С. Максимальная температура воздуха – плюс 36 °С, минимальная – минус 40 °С. Осадков выпадает 662 мм в год.

На площадке проектирования отсутствуют памятники истории, культуры и архитектуры, производственные предприятия, железные и автомобильные дороги, магистральные нефте- и газопроводы, аэродромы и др.

Геологическое строение площадки проектирования составляют:

- ИГЭ-1 – насыпной грунт (0,5м);
- ИГЭ-2 – супесь моренная прочная;
- ИГЭ-2а – супесь моренная пластичная.

По результатам геологических изысканий грунтовые воды до глубины 6м не встречены. Неблагоприятные геологические процессы не установлены.

Нормативная глубина сезонного промерзания под открытой (оголенной) поверхностью по данным Белгидромета для г. Полоцка составляет для супесей, насыпных грунтов – 129см.

Количество постоянно проживающего населения составляет 185 человек, в летний период 250 человек.

Водоснабжение н.п. Нача Полоцкого района осуществляется от насосной станции подземного типа над артскважиной №14519/67. Дебит скважины 9,0м³/час, марка установленного насоса Pedrollo 4SR8/17 производительностью 6,0м³/час, напором 100м, мощностью 3кВт. Глубина скважины составляет 43,5м, статический уровень воды – 7м, динамический – 30м.

Хозяйственно-питьевое водоснабжение данного района базируется на эксплуатации подземных вод и водоносного старооскольского и ланского терригенного комплекса (Dst+ln) среднего и верхнего девона.

Геолого-литологический разрез представлен в приложении А.

Система водоснабжения - тупиковая. Сети водопровода проложены из стальных труб $\Phi 57$ мм и полиэтиленовых $\Phi 63$ мм. Расчетное максимальное водопотребление с учетом реализации воды за предшествующий 2-х летний период составляет – 98,33 м³/сут.

По протоколу испытаний воды из скважины №14519/67 от 04.09.2018г. (лаборатории филиалов УП «Витебскоблводоканал», таблица 3.1), качество воды соответствует СанПиН 10-124 РБ 99 по всем показателям, кроме содержания железа (4,5 мг/дм³), мутности (4,8 мг/дм³), запаха (3 балла), цветности (38град) и аммония (3,8 мг/дм³).

Таблица 3.1. - Характеристика подземных вод, из существующей скважины №14519/67 н.п. Нача Полоцкого района

Показатель	Показатели исходной воды	Нормируемые показатели воды
Мутность, мг/л	4,8	1,5
Запах, баллы	3	2
Цветность, град	38	20
рН	7,25	6-9
Окисляемость, мгО ₂ /л	3,5	5
Fe _{общ} , мг/л	4,5	0,3
Mn _{общ} , мг/л	0,1	0,1
Аммоний, мг/л	3,8	2
Жесткость общ, мг-экв/л	5,2	7

Согласно таблице 3.1 к показателям воды, превышающие нормативные значения относятся мутность, запах, цветность, общее железо и аммоний.

Технологическая схема станции водоподготовки в исходном варианте приведена в приложении Б (рис. Б.1).

В таблице 3.2 приведен перечень и технические характеристики основного оборудования станции обезжелезивания в н.п. Нача Полоцкого района *до реконструкции*.

Таблица 3.2. - Перечень и технические характеристики основного оборудования станции обезжелезивания в н.п. Нача *до реконструкции*

п/п	Наименование	Кол-во, шт.
1	Напорный фильтр - модуль «Кристалл-Н» 900мм, производительностью 6,5м ³ /час	2 шт.
2	Технологические трубопроводы с запорно-регулирующей арматурой	1 компл.
2.1	Технологические трубопроводы для 2-х фильтров	1 компл.
2.2	Запорно-регулирующая арматура для 2 фильтров	1 компл.
2.3	Смеситель (эжектор)	2 шт

Продолжение таблицы 3.2

3	Фильтрующая загрузка	1 компл.
3.1	Кварцевый песок	1,91т
3.2	БАЗ	0,19т
4	Блок автоматизации (2 компрессора для пневмоуправления) PN=2x1,1кВт (1 раб., 1 рез.)	1 компл
5	Резервуар чистой воды, V=6,8м ³	1 компл
6	Насосная установка промывной воды	
6.1	Насос: Q=41,7 м ³ /час, H=12м, Pn=3,0кВт (1 раб, 1 рез)	2 шт
6.2	Запорно-регулирующая арматура для 2-х насосов	1 компл
6.3	Обвязочные трубопроводы для 2-х насосов	1 компл
7	Установка обеззараживания, УОВ-3,0м-10, Pn=0,2кВт (1 раб, 1 рез)	2 шт
8	Водомерный узел исходной воды	1 компл
9	Водомерный узел очищенной воды	1 компл
10	Водомерный узел промывной воды	1 компл
11	Щит управления (ЩУ)	1 компл
12	Контейнер утепленный (2,4x2,6x9,4м)	1 шт

До реконструкции обезжелезивание воды было предусмотрено методом упрощенной аэрации. К установке приняты 2 напорных фильтра Ф900 мм, включенных параллельно, и работающих одновременно поставки УП «Полимерконструкция» (как аналог).

Принцип работы принятой станции обезжелезивания: исходная вода из артезианских скважин, перед поступлением на напорный фильтр-модуль «Кристалл – Н», предварительно насыщается кислородом воздуха с помощью водовоздушного эжектора.

Далее исходная вода поступает в напорный фильтр, в толще загрузки которого происходит биоокисление и удаление из воды соединений железа и марганца, снижение мутности, цветности.

Фильтрация происходит сверху вниз. В качестве загрузки используется кварцевый песок с фракцией 1-2 мм. Промывка загрузки осуществляется очищенной водой снизу вверх. Вода подается в распределительную (дренажную) систему фильтра, равномерно распределяется по площади фильтра и поднимается вверх через загрузку с такой интенсивностью, что обеспечивается переход загрузки во взвешенное состояние. Отдельные зерна непрерывно соприкасаются друг с другом, в результате чего адсорбированные на них загрязнения оттираются и вместе с потоком промывной воды, выводятся из фильтра.

Тип установки напорный, без разрыва струи. Загрузка фильтров безреагентная: кварцевый песок (фракция 1-2мм), БАЗ. Подача воды на фильтрах при фильтровании сверху-вниз.

Регенерация фильтров происходит в автоматическом режиме. Продолжительность регенерации 5 минут, периодичность регенерации ориентировочно составляет 168 часов работы фильтра, окончательно определяется в зависимости от содержания солей железа в исходной воде. Регенерация загрузки – обратным током воды снизу-вверх, с интенсивностью 18 л/с*м².

Подача исходной воды на фильтры производится насосами первого подъема из существующей скважины.

После установки «Кристалл-НК-Р» - подача очищенной воды осуществляется в резервуар чистой воды объемом 6,8м³ для промывки фильтров и в сеть потребителю.

В станции предусматривается учет исходной, промывной воды и воды подаваемой потребителям, установка обеззараживания и предусматривается обводная линия подачи воды. Промывка фильтров происходит автоматически из РЧВ в час минимального водопотребления (ночное время).

При проведении реконструкции в данной технологической схеме были исключены эжектора, а подача воздуха осуществляется с помощью компрессоров в аэрационную колонну.

Работа фильтров была предусмотрена последовательная.

Технологическая схема станции водоподготовки после реконструкции приведена в приложении Б (рис. Б.2).

В таблице 3.3 приведен перечень и технические характеристики основного оборудования станции обезжелезивания в н.п. Нача Полоцкого района *после реконструкции*.

Таблица 3.3. - Перечень и технические характеристики основного оборудования станции обезжелезивания в н.п. Нача *после реконструкции*

п/п	Наименование	Кол-во, шт.
1	Напорный фильтр - модуль «Кристалл-Н» 900мм, производительностью 6,5м ³ /час	2 шт
2	Технологические трубопроводы с запорно-регулирующей арматурой	1 компл
2.1	Технологические трубопроводы для 2-х фильтров	1 компл
2.2	Запорно-регулирующая арматура для 2 фильтров	1 компл
2.3	Блок аэрации в комплекте: аэрационная колонна с кольцами Палля, два безмасляных компрессора, датчик потока	1 компл
3	Фильтрующая загрузка для первого фильтра	
3.1	Сорбент АС	1 компл
4	Фильтрующая загрузка для второго фильтра	
4.1	Сорбент АС	1 компл
4.2	Цеолит	1 компл
4	Блок автоматизации (2 компрессора для пневмоуправления) РN=2x1,1кВт (1 раб., 1 рез.)	1 компл
5	Резервуар чистой воды, V=6,8м ³	1 компл
6	Насосная установка промывной воды	
6.1	Насос: Q=41,7 м ³ /час, H=12м, Рn=3,0кВт (1 раб, 1 рез)	2 шт
6.2	Запорно-регулирующая арматура для 2-х насосов	1 компл
6.3	Обвязочные трубопроводы для 2-х насосов	1 компл
7	Установка обеззараживания, УОВ-3,0м-10, Рn=0,2кВт (1 раб, 1 рез)	2 шт
8	Водомерный узел исходной воды	1 компл
9	Водомерный узел очищенной воды	1 компл

Продолжение таблицы 3.3

10	Водомерный узел промывной воды	1 компл
11	Щит управления (ЩУ)	1 компл
12	Контейнер утепленный (9,4x2,6x2,4м)	1 шт

Принцип работы принятой станции обезжелезивания: исходная вода из артезианских скважин, перед поступлением на напорный фильтр-модуль «Кристалл – Н», предварительно насыщается кислородом воздуха в аэрационной колонне с помощью компрессора.

Аэрационная колонна заполнена кольцами Палля.

Далее исходная вода поступает в первый напорный фильтр, в котором предусмотрена загрузка – сорбент АС, далее во второй фильтр, в котором предусмотрена загрузка – сорбент АС (высота загрузки 0,5м) и цеолит (высота загрузки 0,5м).

Регенерация фильтров происходит в автоматическом режиме. Регенерация первого фильтра предусмотрена в понедельник, среду, пятницу, второго фильтра – вторник и четверг. Расход на промывку составляет 5 м³/ч.

3.2. Методика проведения исследований

Цель: выполнить вариантное проектирование по выбору типа аэрационной колонны перед фильтрами после реконструкции.

Для данного малого населенного пункта подземная вода характеризуется повышенным содержанием двухвалентного железа, цветности и аммонийных солей (см. выше). В качестве индикатора по эффективности работы аэрационной колонны определен основной загрязнитель – общее железо.

Для достижения поставленной цели были выделены и решены следующие задачи:

а) изучение литературных источников по технологии очистки природных вод в зависимости от их качества и производительности малых населенных пунктов;

б) изучение и анализ применяемого оборудования в напорных станциях обезжелезивания;

в) исследование и оценка проектных решений по применению аэрационных устройств перед подачей воды на напорные фильтры;

Последовательность работ по подбору аэрационной колонны была принята следующая:

- подача воздуха в колонну с аэрационным струйным смесителем;
- использование колец Палля;
- использование насадки колонны из обрезков труб ПВХ.

Характеристика аэрационной колонны приведена в главе 4.

Определение общего железа производилось при помощи теста (оценочный результат) и по ГОСТ 4011-72 в лабораторных условиях.

В каждом варианте работа аэрационной колонны принималась не менее 2-х суток. Исследования проводились в апреле 2022 г.

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ПО ВЫБОРУ ТИПА АЭРАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

4.1. Анализ работы станции водоподготовки в проектном варианте

Первоначально принятая технологическая схема станции обезжелезивания с системой аэрации с помощью эжекторов и напорными фильтрами с загрузкой из кварцевого песка (см. таблицу 3.2) не обеспечивала в очищенной воде нормируемые показатели железа ($0,3 \text{ мг/дм}^3$) и аммония (2 мг/дм^3).

Эксплуатация станции в течение 2020 г. показала, что мутность воды в фильтрате составила свыше 5 мг/дм^3 , цветность воды до 35 град., железо $2,3 \text{ мг/дм}^3$ и соли аммония $3,2 \text{ мг/дм}^3$.

Установлено, что при концентрации железа в исходной воде до $3,5 \text{ мг/дм}^3$ и высокой концентрации других загрязняющих веществ, например, аммонийного азота порядка $3,8 \text{ мг/дм}^3$, практически весь кислород подаваемого воздуха эжекторами идет на окисление железа, в результате чего концентрации показателей азотной группы снижаются не более, чем на 10-15%.

Таким образом, в ходе исследований работы станции водоподготовки было принято решение о реконструкции ее технологической схемы при очистке подземной воды.

4.2. Выбор аэрационной колонны

Подача воздуха с помощью компрессоров вместо эжекторов непосредственно перед фильтрами улучшает процесс удаления железа до $1,5 \text{ мг/дм}^3$, при этом азотная группа по показателю солей аммония (аммиака) также не достигает нормируемых показателей ($2,8-3,0 \text{ мг/дм}^3$).

Только при дополнительном устройстве аэрационной колонны перед фильтрами, их перевод с параллельной схемы работы на последовательную, замене в первом фильтре загрузки из песка на сорбент АС, а во втором - двойной слой: сорбент АС и цеолит позволило достичь положительных результатов по загрязнениям в фильтрате: железо до $0,3 \text{ мг/дм}^3$, аммоний до $1,4-1,6 \text{ мг/дм}^3$.

Особое внимание было уделено системы воздушной аэрации колонне с подачей сжатого воздуха компрессором. Основными задачами аэрации являются:

- окисление растворенного (двухвалентного) железа до трехвалентного с соответствующим его переводом во взвешенное состояние;
- насыщение воды кислородом с целью интенсификации автокаталитического окисления железа на специальных фильтрующих материалах (АС и МС, ОДМ-2Ф, ОДМ-5Ф и т.п.) и увеличения срока их эксплуатации;
- отдувка растворенных газов, в т.ч. производных угольной кислоты.

Существует три способа подачи воздуха в фильтры, которые подробно описаны в главе 1.

В качестве *вариантного проектирования* были рассмотрены следующие способы насыщения воздухом исходной подземной воды: работа компрессора совместно с аэрационной колонной, также работа компрессора совместно с ней же, но, заполненной различными видами насадок.

Аэрационные колонны представляют собой пластиковый корпус фильтра, оснащенный специальным оголовком для подачи и отвода воды и распределения воздуха, воздухоотделительным клапаном.

Основные технические характеристики аэрационной колонны приведены в табл.4.1

Таблица 4.1. - Технические характеристики аэрационной колонны

Наименование	Габаритные размеры, Д x В	Присоединительные размеры	Пропускная способность
	мм	"/мм	м ³ /час
Аэрационная колонна 8"	217 x 1 400	1"/32	0,5
Аэрационная колонна 10"	268 x 1 665	1"/32	0,9
Аэрационная колонна 12"	317 x 1 615	1"/32	1,2
Аэрационная колонна 14"	372 x 1 950	1½"/50	2,0
Аэрационная колонна 16"	423 x 1 950	1½"/50	2,5
Аэрационная колонна 18"	491 x 2 000	1½"/50	3,6
Аэрационная колонна 21"	555 x 2 005	1½"/50	4,5
Аэрационная колонна 24"	626 x 2 205	1½"/50	6,5
Аэрационная колонна 30"	780 x 2 216/ 2 120	1½"/50	10
Аэрационная колонна 36"	932 x 2 565/2 500	1½"/50	15
Аэрационная колонна 48"	1 233 x 2 760/2 799	-/80	27

Состав комплекта аэрационной колонны:

- компрессор, способный нагнетать воздух в нужном объеме, преодолевая давление воды в системе водоснабжения и монтажный комплект для обвязки компрессора (в том числе напорный шланг для подачи воздуха);
- колонна (корпус) подходящего размера;
- оголовок аэрации — это пластиковая болванка с системой каналов для движения воды и воздуха;
- трубы подходящего диаметра и длины;
- рассекатель;
- датчик протока;
- кран шаровый и обратный клапан 3/8";
- воздухоотводный клапан.

Для достижения наибольшего эффекта аэрации исходной воды корпус аэрационной колонны наполняют различными видами насадок.

По способу установки выделяется несколько видов насадок:

- регулярные (упорядоченные) – насадка, элементы которой правильно уложены, что обеспечивает их лучшую смачиваемость. К регулярным относятся хордовая, блочная и кольцевая насадки.

- нерегулярные (неупорядоченные) – элементы насадки расположены хаотично, загружаются в установку навалом. Такая насадка обладает меньшей удельной поверхностью, чем упорядоченная, ее проще загружать. Нерегулярные насадки бывают кольцевые, седлообразные, пропеллерные и витые. Эта форма чаще всего применяется для водоподготовки питьевой воды.

Элементы кольцевой насадки представляют собой цилиндрические тонкостенные кольца, наружный диаметр которых обычно равен высоте кольца. Диаметр насадочных колец изменяется от 10 до 150 мм.

К кольцевым насадкам относятся кольцо Рашига, Палля, Лессинга и с крестообразной перегородкой (рисунок 4.1).

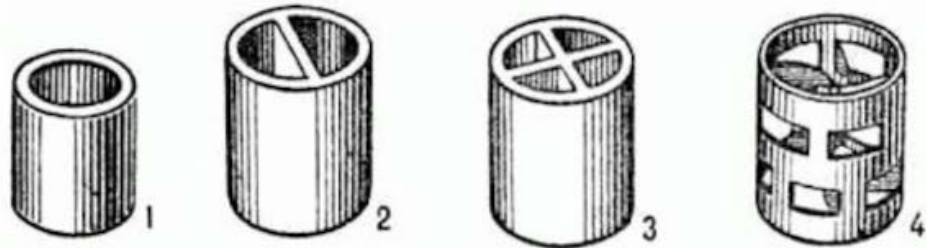


Рисунок 4.1. – Кольцевые насадки
1- кольцо Рашига; 2 – кольцо Лессинга;
3 – кольцо с крестообразной перегородкой; 4– кольцо Палля

К основным характеристикам насадки относят ее удельную поверхность f ($\text{м}^2/\text{м}^3$) и свободный объем e ($\text{м}^3/\text{м}^3$). Еще одной характеристикой насадки является ее свободное сечение S ($\text{м}^2/\text{м}^2$), которое равно по величине ее свободному сечению объему, т.е. $S=e$.

К насадкам нерегулярного типа относятся кольца Палля, которые предназначены в основном для засыпки навалом, и обладают меньшим гидравлическим сопротивлением и несколько большей эффективностью по сравнению с кольцами Рашига.

Кольца Палля широко применяются в качестве башенных насадок в химической, нефтехимической, коксовальной промышленности, в ТЭЦ и охране окружающей среды, в частности, в технологиях водоподготовки и очистки сточных вод.

Преимущества

1. Большая пропускная способность и более низкое гидравлическое сопротивление.

2. Большая эффективность разделения и степень смачивания за счёт перфорированной структуры.

3. Развёрнутая структура насадки облегчает равномерную засыпку насадки и этим снижает потери давления.

4. Большая эффективность разделения и степень смачивания за счёт перфорированной структуры.

Кольца Палля изготавливаются из таких материалов, как: металл, пластмассы – полипропилен (ПП), полиэтилен (ПЭ), ПВХДФ, а также керамики (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Кольца Палля
а) пластмассовые; б) стальные, в) керамические

В установках водоподготовки используются пластмассовые кольца Палля. Основными элементами данной конструкции являются лепестки, завернутые на 90° и расположенные по высоте в шахматном порядке. Чётко и точно выраженные перемычки придают насадке высокую механическую прочность и одновременно высокую пустотность.

Малый вес и высокая прочность позволяют получать высокую насыпную высоту без промежуточных несущих решёток. Отличия этой насадки - высокие допустимые нагрузки при больших потоках газа и жидкостей и очень низкая потеря давления, кроме того насадка нечувствительна к загрязнениям и различным отложениям.

При замене обычных насадочных тел насадкой Палля в аэрационной колонне может быть значительно увеличена производительность и значительно уменьшены затраты на энергию.

Технические характеристики колец Палля представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2. - Технические характеристики колец Палля

Наименование	Диаметр x высота, мм	Плотность, кг/м ³			Удельная поверхность, м ² /м ³	Свободный объем, %
		PP	PPH	PVDF		
Кольца Палля						
- пластмассовые	Ф15x15	110	110	198	320	88
	Ф25x25	69	69	128	209	91
	Ф38x38	52	38	99	127	94
	Ф50x50	45	80	84	100	95
	Ф75x75	43	75	73	72	96
	Ф90x90	42	90	67	59	96
-металлические	Ф16x16	93,1			338	408
	Ф25x25	94,8			218	403
	Ф38x38	96,08			141	326

Продолжение таблицы 4.2

	Ф50х50	95,9	107	322
	Ф75х75	97	74	262
	Ф90х90	98	65	293
- керамические				
	Ф25х25	600	220	75
	Ф38х38	540	150	78
	Ф50х50	555	120	78
	Ф80х80	520	75	80

Кольца Рашига представляют собой простые кольца без дополнительных устройств. Эти кольца наиболее дешевы и просты в изготовлении; они хорошо зарекомендовали себя на практике и являются самым распространённым видом насадок. Насадки из колец Рашига изготавливают как упорядоченными (при диаметре колец от 50 мм более), так и неупорядоченными (при диаметре от 10 до 50 мм).

Кольца Рашига изготавливаются из материалов: металл, пластмасса, керамика, вторичный фторопласт.

Технические характеристики колец Рашига представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3. - Технические характеристики колец Рашига

Наименование	Диаметр х высота, мм	Плотность, кг/м ³	Удельная поверхность, м ² /м ³	Свободный объем, %
Кольца Рашига				
- пластмассовые				
	Ф16х16	94	260	91
	Ф25х25	112	205	90
	Ф38х38	70	130	89
	Ф50х50	68	93	90
	Ф80х80	66	90	95
-металлические				
	Ф15х15	660	350	92
	Ф25х25	240	220	92
	Ф35х35	570	160	93
	Ф50х50	430	100	94
	Ф70х70	440	75	94
	Ф100х100	310	48	96
- керамические				
	Ф15х15	700	310	71
	Ф25х25	600	195	75
	Ф35х35	520	135	78
	Ф50х50	500	95	79
	Ф70х70	530	72	78
	Ф80х80	535	60	78

При проведении экспериментов по аэрационной колонне 10'' на станции водоподготовки н.п. Нача в первом варианте принимаем ее конструкцию с гидравлическим смесителем, за счет энергии водовоздушного потока. Нарез-

занные кольца из труб ПВХ диаметром 15 мм и длиной 40 мм. На последнем этапе используются пластмассовые кольца Палля с наибольшей удельной поверхностью по сравнению с кольцами Рашига.

4.3. Проведение эксперимента на аэрационной колонне

1. Подача воздуха в колонну 10” с аэрационным струйным смесителем. Колонна была установлена после водомерного узла перед фильтрами. Подающий трубопровод 40 мм был оборудован сужающим устройством с отводом 5 мм для подачи сжатого воздуха от компрессора.

Принцип действия аэрационной колонны (см. рисунок 4.3) основан на работе нагнетаемого и растворенного в воде кислорода, который вступая в реакцию с ионами металлов, окисляет их.

Водовоздушная смесь поступает с помощью компрессора по присоединенному к оголовку трубопроводу в колонну, проходит внутрь колонны 50-70 мм от ее верха. В нижней части этого трубопровода устроено разбрызгивающее устройство, в верхней части колонны установлен вантуз с трубкой на 1/3-1/4 часть высоты колонны для удаления накапливающегося в верхней части колонны воздуха. Также в этой части создается воздушная подушка, способствующая более полному контакте воды и воздуха, за счет этого происходит наиболее полное растворение кислорода воздуха в воде. Вода, обогащенная кислородом воздуха, уходит из колонны по трубе, опущенной до дна колонны.

Давление воды на входе поддерживалось частотным устройством на скважине порядка 0,3 МПа. После пуска колонны в работу перед фильтрами, загруженными сорбентом АС на высоту 1,0 м в трубопроводе фильтра определялась концентрация общего железа при различной подачей воздухе от компрессора.



Рисунок 4.3 - Принцип действия аэрационной колонны

Расход сжатого воздуха регулировался вентилем и измерялся ротаметром типа РС. Устанавливалось воздуховодяное соотношение от 1:1 до 5:1 компрессором типа АС-2, максимальной производительностью 0,45 м³/мин. Производительность станции водоподготовки по воде составляло 5 м³/ч.

2. Колонна была загружена на 0,5 высоты (в опорожненном состоянии) плавающими трубками из ПВХ. Далее также производился эксперимент по аналогии п.1.

3. Колонна была загружена на 0,5 высоты (в опорожненном состоянии) плавающими кольцами Палля. Далее также производился эксперимент по аналогии п.1.

Результаты эксперимента приведены в приложении В (табл. В.1), а в графическом исполнении на рисунке 4.4.

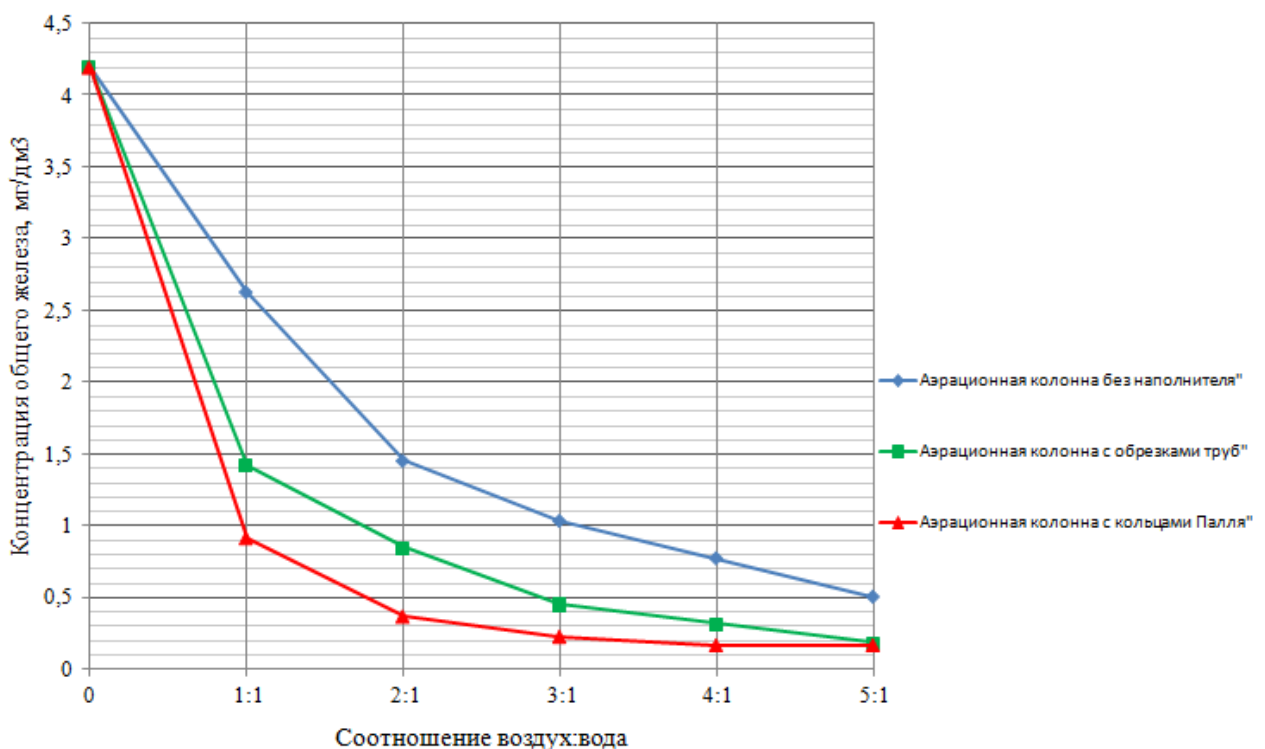


Рисунок 4.4 – График зависимости концентрации железа при воздушно-водяном соотношении

Выполнено технико-экономическое сравнение этих вариантов с учетом надежности работы и обеспечения нормативного показателя по качеству воды, принимая, что конечный продукт должен быть экологически чистым.

Анализируя график зависимости концентрации железа при воздушно-водяном соотношении (рис. 4.4) видно, что обеспечение нормативного показателя по общему железу ($\leq 0,3 \text{ мг/дм}^3$) достигается при воздушно-водяном соотношении 4:1 в двух случаях – при заполнении аэрационной колонны обрезками труб и при заполнении аэрационной колонны кольцами Палля.

При сравнении данных вариантов с точки зрения энергозатрат, то для аэрационной колонны без наполнителя требуется подача воздуха значительно большего объема, чем для аэрационной колонны, заполненной обрезками

труб либо кольцами Палля. Следовательно, потребляемая мощность компрессора в первом случае будет выше, чем в двух остальных случаях.

Результаты технико-экономического сравнения приведены в приложении В (табл. В.2).

4.4 Выводы по главе 4

В качестве *вариантного проектирования* были рассмотрены следующие способы насыщения воздухом исходной подземной воды: работа компрессора совместно с аэрационной колонной, также работа компрессора совместно с ней же, но, заполненной различными видами насадок.

Были рассмотрены 3 варианта применения аэрационной колонны с подачей воздуха от компрессора:

1. Подача воздуха в колонну 10” с аэрационным струйным смесителем. Колонна была установлена после водомерного узла перед фильтрами.

2. Колонна была загружена на 0,5 высоты плавающими трубками из ПВХ.

3. Колонна была загружена на 0,5 высоты (в опорожненном состоянии) плавающими кольцами Палля.

Для каждого варианта был выполнен эксперимент по эффективности удаления железа в фильтрах с предварительной аэрацией в аэрационной колонне (см. рисунок 4.4).

Анализируя график зависимости концентрации железа при воздушно-водяном соотношении видно, что обеспечение нормативного показателя по общему железу ($\leq 0,3 \text{ мг/дм}^3$) достигается при воздушно-водяном соотношении 4:1 в двух случаях – при заполнении аэрационной колонны обрезками труб и при заполнении аэрационной колонны кольцами Палля.

Выполнено технико-экономическое сравнение этих вариантов с учетом надежности работы и обеспечения нормативного показателя по качеству воды, принимая, что конечный продукт должен быть экологически чистым.

В дальнейшем, при очистке подземных вод, в которой присутствуют различные загрязнения и, прежде всего, железо, аммоний и др., рекомендуется применять аэрационные колонны с насадками из обрезков труб или кольца Палля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным источником водоснабжения малых населенных пунктов в Республике Беларусь являются подземные воды.

Основной проблемой использования подземных вод для хозяйственно-питьевых нужд в Витебской области без предварительной обработки является наличие в них мутности, цветности, окисляемости, железа, марганца, аммонийного азота, нитратов и растворенных газов.

При выборе метода обработки подземных вод следует проводить предварительные микробиологические, химические и физические исследования состава воды источника, намеченного к использованию, которые должны выполняться непосредственно у подземного источника водоснабжения.

Наиболее простым и распространенным способом удаления железа из воды является аэрация и фильтрование через напорные или безнапорные фильтры. Смешение воздуха с водой производится в расширительных вставках или струйных аэраторах. При применении метода интенсивной аэрации часто используется специальное оборудование – аэрационная колонна.

При проектировании станций водоподготовки следует сопоставлять варианты принятых методов и технологических схем очистки подземной воды исходя из эффективности очистки, технико-экономических соображений, а также с учетом опыта эксплуатации сооружений, работающих в аналогичных условиях.

В качестве *вариантного проектирования* были рассмотрены следующие способы насыщения воздухом исходной подземной воды: работа компрессора совместно с аэрационной колонной, также работа компрессора совместно с ней же, но, заполненной различными видами насадок.

Для каждого варианта был выполнен эксперимент по эффективности удаления железа в фильтрах с предварительной аэрацией в аэрационной колонне.

Выполнено технико-экономическое сравнение этих вариантов с учетом надежности работы и обеспечения нормативного показателя по качеству воды, принимая, что конечный продукт должен быть экологически чистым.

В дальнейшем, при очистке подземных вод, в которой присутствуют различные загрязнения и, прежде всего, железо, аммоний и др., рекомендуется применять аэрационные колонны с насадками из обрезков труб или кольца Палля.

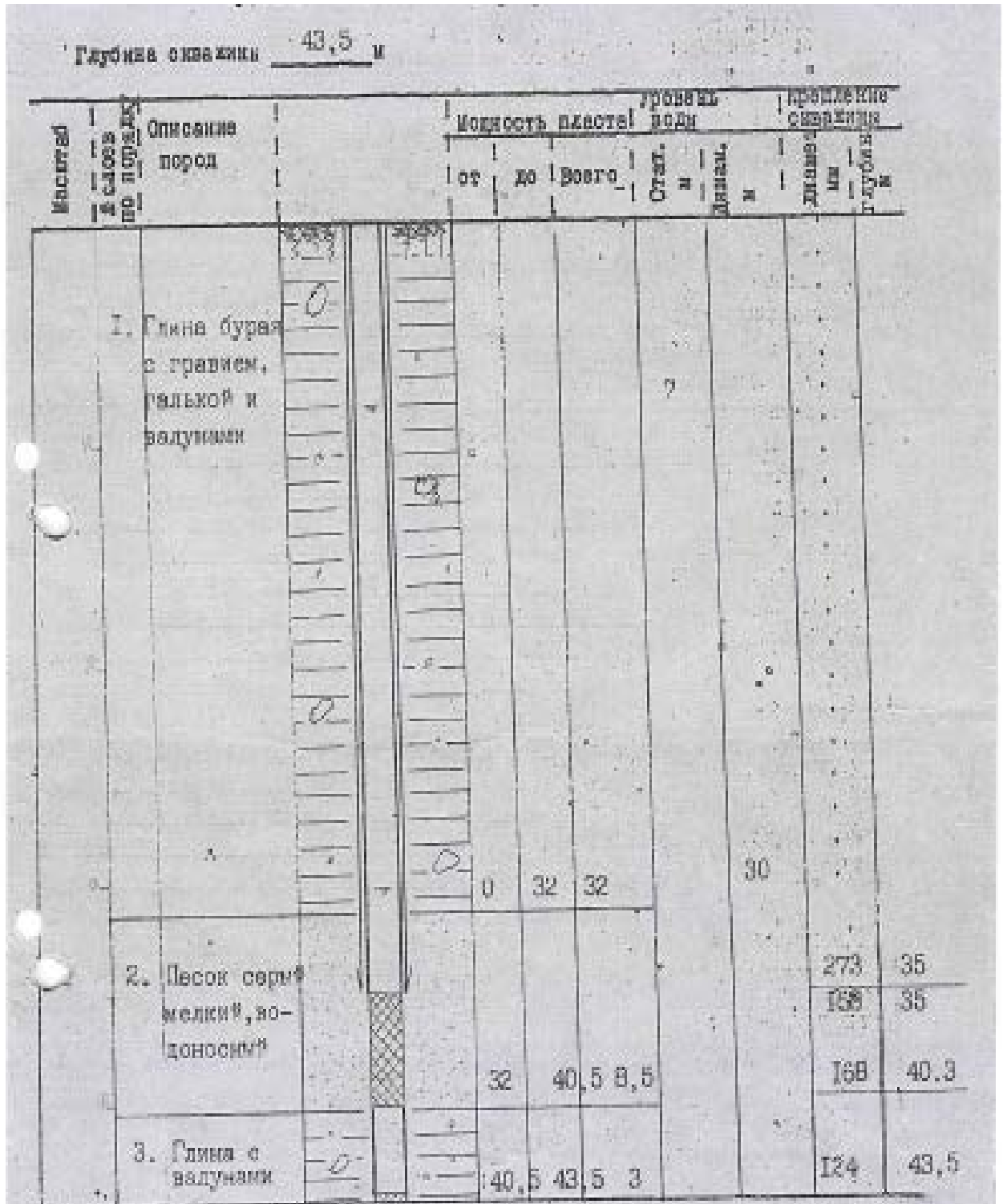
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Н.Н. Водоснабжение / Н.Н. Абрамов. - М.: Стройздат, 2003. – 237 с.
2. Бахмат, А.Б. Сравнительный анализ организационно-правовых форм управления предприятий водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) / А.Б. Бахмат / Наука – образованию, производству, экономике. Материалы третьей междунар. науч.-техн. конф. в 2-х т. Т. 2 – Минск: БНТУ. – 2006 – 212 с.
3. Белан А.Е. Проектирование и расчет устройств водоснабжения / А.Е. Белан, П.Д. Хоружий. – 2-е изд, перераб.и доп. – Киев: Будивельник, 1981. – 137 с.
4. Белан А.Е. Технология водоснабжения / А.Е. Белан. - М., 2005. – 264 с.
5. Беликов С.Е. Водоподготовка: Справочник / С.Е. Беликов. - М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.
6. Бибилова, Т.С. Изменения водохозяйственных характеристик России, Белоруссии и Украины в постсоветский период / Т.С. Бибилова. - М.: Изв. РАН, 2007. – 106 с.
7. Закон Республики Беларусь «О питьевом водоснабжении» от 24 июня 1999г. №271-3 – 32 с.
8. Велюго Е.С. Причины загрязнения подземных вод железом с учетом его гидрогеохимических особенностей на территории Республики Беларусь. Полоцкий Государственный Университет. Серия F. Строительство. Прикладные науки: Е.С. Велюго, 2021. – 4с.
9. Водные ресурсы в Республике Беларусь 2023 [Электронный ресурс] / Национальное агентство инвестиций и приватизаций РБ. – 44 с.
10. Водные ресурсы Республики Беларусь, их использование и охрана. - Минск: ЦНИИКиВР, 2017. - 124 с.
11. Водный Кодекс Республики Беларусь: Кодекс Республики Беларусь от 30 апреля 2014 г. № 149-3 (ред. от 05.01.2022 г.) // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. - Минск: Амалфея, 2022. - 76 с.
12. Галай, Е.И. Использование природных ресурсов и охрана природы / Е.И. Галай. - Минск: Высшая школа, 2007. – 252 с.
13. Гуринович А.Д. Системы питьевого водоснабжения с водозаборными скважинами: Планирование, проектирования, строительство и эксплуатация / А.Д. Гуринович. - МН.: УП «Технопринт»; 2004. – 244 с.
14. Гуринович А.Д. Современное состояние и стратегические задачи водного хозяйства Беларуси, Научная статья в журнале «Чистая вода: проблемы и решения», Издательство: АО «Институт микроэкономики» (Москва), № 1-2, 2012 г., стр.111-116. (Электронный ресурс). Режим доступа: Дата доступа: 16.09.2019.
15. Дементьева, А.В. География Белоруссии / А.В.Дементьева. – Минск-1977. – 235 с.

16. Дзюбо В.В. О фильтрующих материалах и параметрах работы водоочистных фильтров. / Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета / В.В. Дзюбо. Т.21.№1. - 11 с.
17. Дмитриев В.Д. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения / В.Д. Дмитриев, Б.Г. Мишуков. М., 2007. – 383 с.
18. Душкин С.С. Эксплуатация водоснабжения и водоотведения / С.С. Душкин, И.О. Краев. Киев: ГСДО, 2003. – 119 с.
19. Закачка воды в подземный водоносный пласт скважины из пылевидного и средне-мелкозернистого песка при малом водопотреблении. Полоцкий Государственный Университет/ Е.И. Рашкевич, В.Д. Ющенко. Строительство. Прикладные науки. 2022.
20. Золотова Е.Ф. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода / Е.Ф. Золотова. – М: Стройиздат. 1975. – 176 с.
21. Инновации в технологии очистки подземных вод сложного состава. Полоцкий Государственный Университет / В.Д. Ющенко, Е.С. Веллого, Т.В. Козицин. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки, 2019.
22. Кадацкая, О.В. Гидрохимическая индикация ландшафтной обстановки водосборов/ О.В. Кадацкая, - Минск: Наука и техника,1987. - 135 с.
23. Китиков В.О. Анализ тенденций и рисков развития водопроводно-канализационного хозяйства в Республике Беларусь на современном этапе / В. О. Китиков, В. Л. Гурский, А. О. Болтрукевич // Экономическая наука сегодня: сб. науч. ст. / БНТУ; ред. кол. С.Ю. Солодовников [и др.]. – Минск, 2019. - Выпуск № 9. - 152-168 с.
24. Концепция совершенствования и развития жилищно-коммунального хозяйства до 2025 года, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь 29.12.2017, № 1037.
25. Кудельский А.В. Региональная гидрогеология и геохимия подземных вод Беларуси / А.В. Кудельский, В.И. Пашкевич. – Минск: Белорусская наука. 2014. – 271 с.
26. Кудельский А.В. Подземные воды Оршанской впадины / А.В. Кудельский. – Минск: Белорусская наука. 2019. – 131 с.
27. Кулаков В.В. Методические рекомендации по опытно-технологическим исследованиям условий обезжелезивания и деманганации подземных вод в водоносном горизонте / В.В. Кулаков, Б.С. Архипов, С.А. Козлов. – Хабаровск, 1999. – 62 с.
28. Логинов, В.Ф. Водный баланс речных водосборов Беларуси / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек. - Минск: Тонпик, 2006. - 161 с.
29. Миланова, Е.В. Использование природных ресурсов и охрана природы: учеб. пособие / Е.В. Миланова, А.М. Рябчиков. - Минск: Высшая школа, 1986. - 286 с.
30. Мониторинг подземных вод Республики Беларусь [Электронный ресурс] // Результаты наблюдений 2022 года. – Режим доступа: <http://nsmos.scientist.by/sites/default/files/2023-08/3%20GROUND%20WATER%20Monitoring%202022.pdf>. – Дата доступа: 28.08.2023.

31. Николадзе Г.И. Водоснабжение / Г.И. Николадзе, М.А. Сомов. – Москва.: Стройиздат, 1995 – 373 с.
32. Николадзе Г.И. Обезжелезивание природных и оборотных вод / Г.И. Николадзе. – М: Стройиздат, 19787 г. – 163 с.
33. Николадзе Г.И. Улучшение качества подземных вод / Г.И. Николадзе. – М: Стройиздат, 1987 г. - 239 с.
34. Организационно-экономические аспекты региональной централизации управления водопроводно-канализационным хозяйством (на примере Витебской области) // Экономическая наука сегодня: сб. науч. ст. / БНТУ; ред. кол. С.Ю. Солодовников [и др.]. – Минск, 2019. - Выпуск № 9. - 152-168 с.
35. Основные пути и решения проектирования систем водоподготовки малых населенных пунктов в Республике Беларусь. Полоцкий Государственный Университет / В.Д. Ющенко, Е.С. Велюго, Е.И. Рашкевич, В.П. Просолов. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки, 2021.
36. Техничко-экономическое, природоохранное и социальное обеспечение строительства объектов водоснабжения со станциями обезжелезивания Витебской области. Полоцкий Государственный Университет / В.Д. Ющенко, Е.И. Рашкевич. Строительство. Прикладные науки, 2021.
37. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 11 января 2017 г. № 5 «Об определении количества и местонахождения пунктов наблюдения локального мониторинга окружающей среды, перечня параметров, периодичности наблюдений и перечня юридических лиц, осуществляющих проведение локального мониторинга окружающей среды» - 35 с.
38. СН 4.01.01-2019. Строительные нормы республики Беларусь. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Министерство архитектуры и строительства РБ. Минск. 2020. – 73 с.
39. Чайковский Г.П. Обезжелезивание и деманганация подземных вод / Г.П. Чайковский, В.В. Кулаков, Е.В. Сошников: Учебное пособие. – Хабаровск: ДВГУПС, 1998. – 90 с.
40. Фрог Б.Н. Водоподготовка / Б.Н. Фрог, А.П. Левченко. – М.: Издательство МГУ, 2003. – 680 с.
41. Экологический доклад по стратегической экологической оценке проекта стратегии управления водными ресурсами в Республике Беларусь в условиях изменения климата на период до 2030 года. Минск, май 2020г. – 200 с.

Геолого-литологический разрез скважины в н.п. Нача



Результаты эксперимента

Таблица В.1. - Результаты эксперимента по выбору аэрационной колонны

Тип аэрационной колонны	Концентрация общего железа (мг/дм ³) в трубопроводе фильтрата при воздушно-водяном соотношении					
	0	1:1	2:1	3:1	4:1	5:1
Колонна без наполнителя	4,2	2,63	1,45	1,03	0,77	0,5
Колонна с обрезками труб		1,42	0,84	0,45	0,31	0,18
Колонна с кольцами Палля		0,91	0,36	0,22	0,16	0,16

Таблица В.2. - Технико-экономическое сравнение вариантов

Тип аэрационной колонны	Соотношение воды/воздух	Количество воздуха, подаваемого компрессором, м ³	Производительность компрессора, м ³ /мин	Мощность компрессора, кВт
Колонна без наполнителя	5:1	27	0,450	4,0
Колонна с обрезками труб	4:1	16	0,300	3,0
Колонна с кольцами Палля	3:1	12	0,220	2,2