

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Центр

Центр инженерного оборудования

(наименование)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки)

Водоснабжение и водоотведение городов и промышленных предприятий

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему

Разработка системы водоснабжения рабочего

посёлка Ильинка Икрянинского района

Астраханской области

Обучающийся

А.С. Бабулин

(инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный

руководитель

канд. техн. наук, доцент, И.А. Лушкин

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

Оглавление

Введение.....	4
Глава 1 Исходные данные и условия для разработки системы водоснабжения.....	8
1.1 Сведения о климатической, географической и инженерно-геологической характеристике района	8
1.2 Описание рельефа местности	9
1.3 Метеорологические и климатические условия.....	9
1.4 Инженерно-геологические и гидрогеологические условия	12
1.5 Сведения об особых природных климатических условиях территории, на которой располагается земельный участок, предоставленный для размещения объекта капитального строительства.....	13
1.6 Сведения о прочностных и деформационных характеристиках грунта в основании объекта капитального строительства	13
1.7 Уровень грунтовых вод, их химический состав, агрессивность грунтовых вод и грунта по отношению к материалам, используемым при строительстве подземной части объекта капитального строительства	14
1.8 Физико-механические свойства грунтов.....	14
1.9 Инженерно-геологические условия участка изысканий	16
1.10 Анализ проблем систем водоснабжения из открытых источников в Астраханской области	17
Глава 2 Анализ возможных технологий водоподготовки и очистки воды с учетом качества воды водоисточника и региональных особенностей, климатических и гидрогеологических условий	20
2.1 Национальные и федеральные проекты	20
2.2 Перспективные технологии водоподготовки и очистки воды.....	21
2.3 Классификация источников водоснабжения	22
2.4 Алгоритм выбора доступных технологий водоподготовки	25

2.5 Классификация качества исследуемой воды и выбор технологий водоподготовки	32
2.6 Обзор каждой из рекомендуемых технологических схем.....	32
Глава 3 Выбор технологических решений систем водоснабжения применяемых в работе	39
3.1 Эффективность хлорирования и УФ-обработки воды: сравнение технологий для централизованных систем водоснабжения.....	39
3.2 Выбор технологической схемы обработки воды.....	45
3.3 Системы водоподготовки на основе модулей полной заводской готовности	49
3.4 Анализ технологической схемы системы водоснабжения с модулем ультрафильтрации.....	54
3.5 Технико-экономический расчет	62
Заключение	64
Список используемых источников.....	66

Введение

Актуальность работы. В «России централизованные системы водоснабжения работают в 99,6% городов, 88% поселков городского типа и в 22% сельских населенных пунктов. Системой централизованного водоснабжения оборудованы 33,9 тыс. или 22% от общего количества сельских жителей. Около 9 млн. человек сельского населения страны не имеют доступа к качественной воде. Большинство систем водоснабжения не оборудованы необходимыми сооружениями и технологическим оборудованием для улучшения качества воды или работает неэффективно, при этом 65% локальных водопроводов нуждается в реконструкции и 10% – в полном восстановлении. В результате 75% сельского населения вынуждено пользоваться водой, не соответствующей санитарным нормам. Основная часть сельского жилищного фонда не оборудована инженерными коммуникациями, например, водопровод имеется в 39% сельских жилых домов, канализация – в 30%, центральное отопление – в 37%, горячее водоснабжение – в 17%» [30].

«По своим географическим и гидрологическим особенностям Нижнее Поволжье относится к территориям, постоянно испытывающим дефицит пресной воды. В районах Заволжья более 70% подземных вод имеют минерализацию от 1500 до 15000 мг/дм³ и не могут быть использованы без кондиционирования (рисунок 1). Сельское население Заволжья в основном использует для хозяйственно-питьевых нужд малые и средние реки» [25].

«Установлено, что антропогенное воздействие на Волгоградское водохранилище на протяжении последних десятилетий сохраняется на высоком уровне. Известно, что после сооружения каскада гидроэлектростанций скорость водообмена в бассейне р. Волги значительно снизилась, что привело к ухудшению условий для самоочищения воды [19]. Высокий уровень зарегулированности р. Волги нарушил условия жизнедеятельности речной и прибрежной экосистем. Высокая антропогенная нагрузка способствовала массовому развитию сине-зеленых водорослей на значительной акватории водоема и появлению мощных донных отложений, являющихся источником вторичного загрязнения воды» [2].

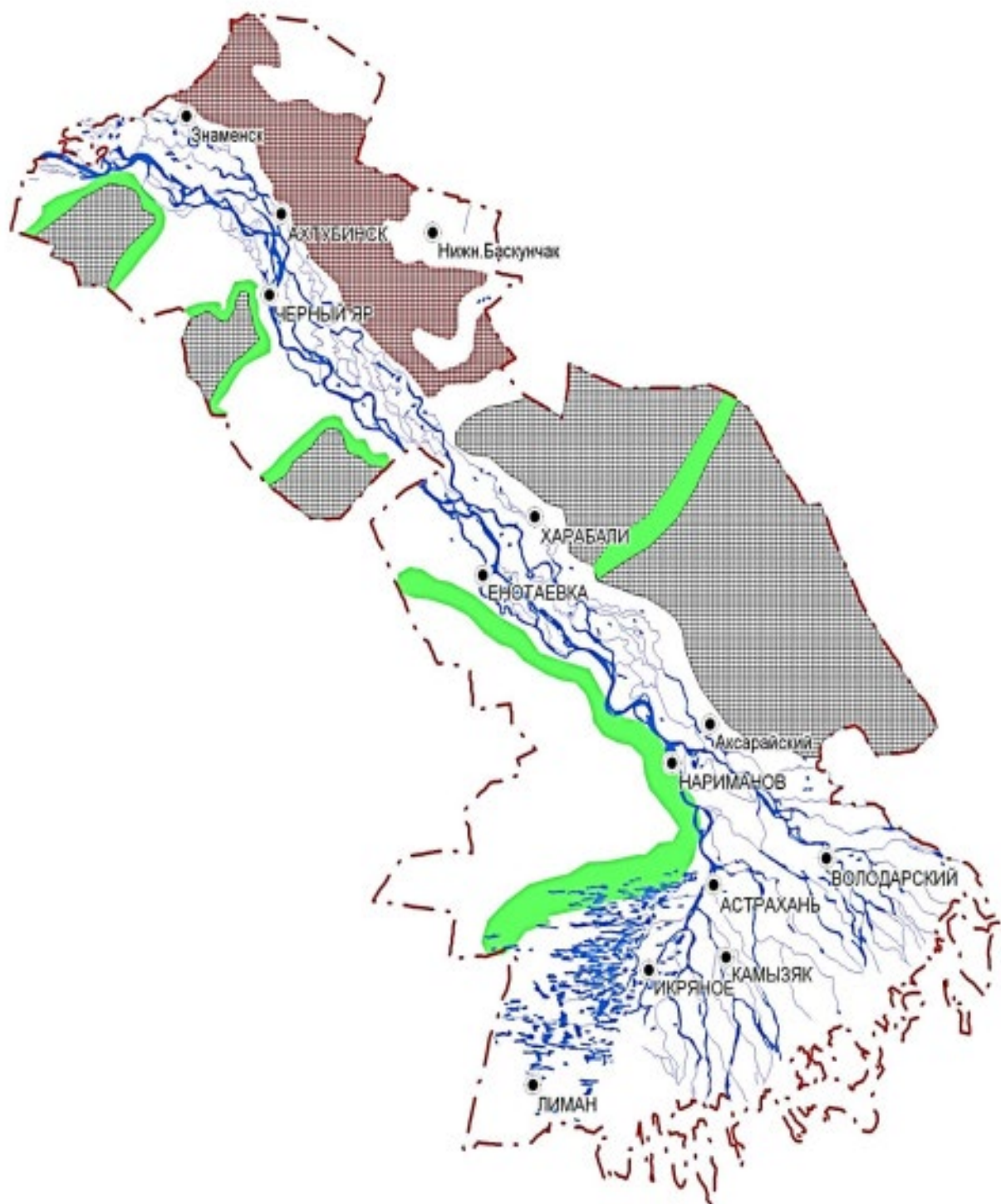


Рисунок 1 – Карта-схема использования подземных вод Астраханской области

Рабочий поселок Ильинка расположен в южной части Астраханской области, в 13 км к юго-западу от г. Астрахани и в 24 км на северо-восток от райцентра с. Икряное. Численность населения р.п. Ильинка составляет 5037 человек, население относится к городскому (по данным Управления

Федеральной службы государственной статистики по Астраханской области и Республике Калмыкия по состоянию на 01.01.2022). Жители р.п. Ильинка обеспечены централизованным техническим водоснабжением, очистка и обеззараживание воды не производится. Источником водоснабжения р.п. Ильинка является река Волга [24].

Объект исследования: Водоснабжение малых населенных пунктов.

Предмет исследования: Очистка воды для водоснабжения малых населенных пунктов.

Цель работы – обеспечение качественной питьевой водой и бесперебойным водоснабжением жителей рабочего посёлка Ильинка, Икрянинского района, Астраханской области из системы централизованного водоснабжения.

Для реализации цели поставлены следующие научно-технические задачи:

- анализ существующего состояния и проблем водоснабжения рабочего поселка Ильинка.
- анализ существующих технологических решений водоснабжения малых населённых пунктов.
- разработка мероприятий по водоснабжению рабочего поселка Ильинка, предназначенных для обеспечения потребителей необходимым количеством воды требуемого качества.

Методы исследований. Используются теоретические методы для решения вышеуказанных задач, разработанные согласно СП 31.13330.2012.

Научная новизна заключается в выборе методов и мероприятий при устройстве системы водоснабжения рабочего поселка Ильинка., со степенью очистки согласно СанПиН 2.1.4.1116-02 «Питьевая вода»

Практическая значимость работы заключается в том, что после разработки водозаборных сооружений и станции очистки воды системы водоснабжения, в том числе водозаборных сооружений, станции первого и

второго подъема, станции очистки воды, водовода и разводящих сетей. вода будет бесперебойно поступать до каждого потребителя.

Личный вклад автора состоит в сборе необходимых материалов для постановки и решения целей и задач. Разносторонний подход к решению вопроса об обеспечении питьевой водой населения рабочего поселка Ильинка в должном количестве и с необходимым качеством. Разработка рекомендации по устройству систем водоподготовки и по устройству сети водоснабжения.

На защиту выносятся:

- анализ состояния системы водоснабжения на данный момент;
- обоснование выбора типа водозаборных сооружений, станции очистки воды, системы водоснабжения, в том числе водозаборных сооружений, станции первого и второго подъема, станции очистки воды, водовода и разводящих сетей;
- оценка качества воды до и после модернизации систем водоснабжения рабочего поселка Ильинка.

Апробация работы:

Одни из основных положений опубликованы в работе автора:

Системы водоподготовки на основе модулей полной заводской готовности// Студенческие дни науки в ТГУ – 2024: научно-практическая конференция, Тольятти, 1–30 апреля 2024 года : сборник студенческих работ Тольятти : Издательство ТГУ, 2025.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 3 разделов, общих выводов, списка литературы из 48 наименований. Общий объем работы 72 страницы, включая 10 иллюстраций 13 таблиц.

Глава 1 Исходные данные и условия для разработки системы водоснабжения

1.1 Сведения о климатической, географической и инженерно-геологической характеристике района

В административном отношении участок изысканий расположен в р.п. Ильинка Икрянинского района Астраханской области. Ильинка – посёлок городского типа в Икрянинском районе Астраханской области России (рисунок 2). Административный центр и единственный населённый пункт муниципального образования «Рабочий посёлок Ильинка» со статусом городского поселения. Посёлок расположен в южной части области, в 13 км к юго- западу от Астрахани и в 24 км на северо-восток от райцентра села Икряное. В дельте Волги на берегу Волги, по обеим сторонам автодороги Р216 Астрахань — Лиман. Внутри посёлка протекает ерик Ножовский, прежнее название — Шантимир.

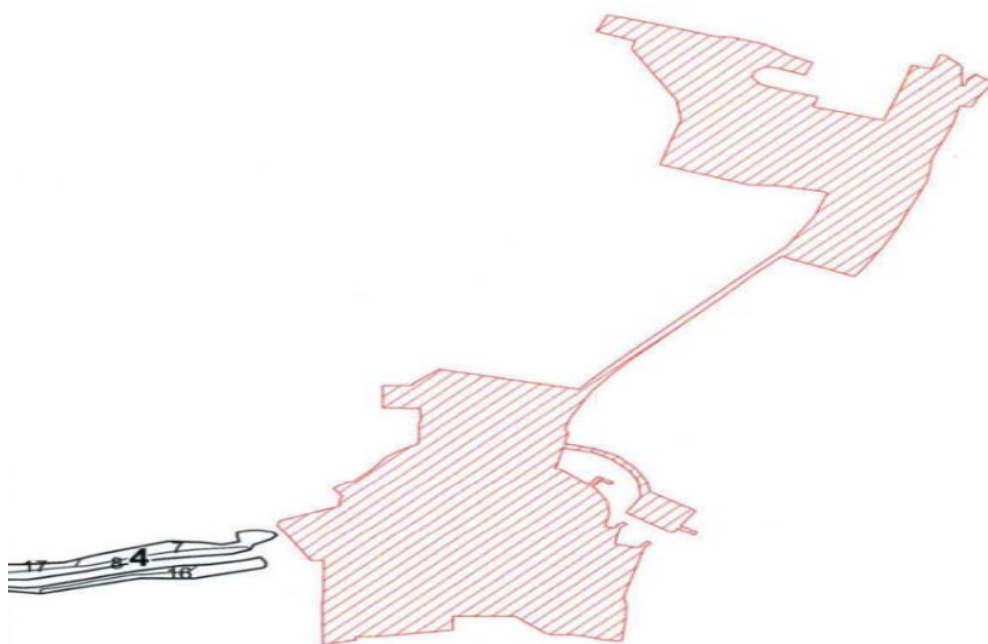


Рисунок 2 – Схема земельного участка р. п. Ильинка Икрянинского района Астраханской области

1.2 Описание рельефа местности

Участок изысканий расположен в р. п. Ильинка, Икрянинского района Астраханской области. В геоморфологическом отношении исследуемая территория расположена в пределах надпойменной террасы р. Волга. Абсолютные отметки в ее пределах по устьям выработок меняются от -35,20 до -14,31м.

1.3 Метеорологические и климатические условия

Климатические показатели изучаемого участка приведены по данным многолетних наблюдений метеостанции, расположенной в г. Астрахань. Климат района умеренно-континентальный. Согласно СП 131.13330.2020 номер района по климатическому районированию – IV Г. Годовой ход температуры воздуха в многолетнем аспекте характеризуется большой однородностью. Самым теплым месяцем в году является июль, самым холодным – январь. Климатические характеристики по метеостанции Астрахань предоставлены в соответствии с СП 131.13330.2020, также использованы данные электронного справочника «Климат России», Обнинск: ВНИИГМИ МЦД, Температурный режим изучаемого участка приведен в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Температура воздуха, °С

Месяцы года	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Средняя месячная и годовая	-4,7	-4,2	2,1	11,4	18,3	23,2	25,6	24,1	17,7	10,0	3,3	-1,9	10,4
Средняя минимальная	-8,7	-8,6	-3,1	5,0	12,4	17,7	19,8	18,0	12,0	5,2	-0,5	-5,4	5,4
Средний из абсолютных минимумов	-20,5	-19,4	-11,9	-2,3	5,1	11,7	15,2	12,2	4,9	-2,9	-9,4	-16,5	-23,4
Абсолютный минимум	-31,8	-33,6	-26,9	-8,9	-1,1	6,1	10,1	6,0	-2,0	-10,5	-25,8	-29,9	-33,6
	1883	2012	1954	1904	1918	1967	1973	1984	1986	1976	1931	1892	2012

Продолжение таблицы 1

Месяцы года	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Средняя максимальная	-2,0	-0,8	6,2	16,5	24,2	28,8	31,4	30,1	23,7	15,3	6,7	0,5	15,1
Средний из абсолютных максимумов	5,6	7,0	15,6	25,1	30,9	34,6	36,5	35,5	30,8	23,6	15,0	8,1	37,1
Абсолютный максимум	14,0	16,9	24,0	32,0	36,8	40,6	41,0	40,8	38,0	29,9	21,5	16,4	40,8
	2007	1958	1914	1950	1897	2015	1991	2007	2010	2001	1924	1961	2007

Таблица 2 – Расчетная температура воздуха, оС (СП 131.13330.2020)

Наименование пункта наблюдений	Расчётная температура воздуха, °С											
	Теплого периода		Наиболее холодных суток		Наиболее холодной пятидневки		Период со среднесуточной температурой воздуха					
							<0°С		<8°С		<10°С	
	0,95	0,98	0,98	0,92	0,98	0,92	продолжительность, суток	средняя температура	продолжительность, суток	средняя температура	продолжительность, суток	средняя температура
Астрахань	30	33	-26	-24	-22	-20	102	-3,5	165	-0,7	180	0,2

В соответствие с СП 131.13330.2020 число дней с переходом температуры через 0 С – 70 дней. Нормативная глубина сезонного промерзания грунтов в пределах изучаемой территории согласно СП 22.13330.2016 составляет:

- для суглинков и глин – 0.76 м;
- для супесей, песков мелких и пылеватых – 0.92 м;
- для песков гравелистых, крупных и средней крупности – 0.99 м;
- для крупнообломочных грунтов – 1.12 м.

Среднегодовая относительная влажность воздуха составляет 70%, среднемесячные значения относительной влажности воздуха колеблются в

интервале – 56-86%, достигая среднемесячного максимума в декабре-январе, минимума – в июле-августе. Среднее число дней с осадками за год – 77, 39 дней приходится на холодный период (XI-III), 38 на теплый период (таблица 3).

Таблица 3 – Среднее число дней с различным количеством осадков

Месяц	Количество осадков, мм							
	0	>=0.1	>=0.5	>=1.0	>=5.0	>=10.0	>=20.0	>=30.0
1	8.63	8.80	5.96	4.08	0.57	0.18	0.00	0.00
2	7.33	6.47	4.22	3.20	0.57	0.14	0.02	0.00
3	5.67	6.49	4.86	3.73	0.88	0.29	0.00	0.00
4	4.57	5.71	4.45	3.47	1.29	0.51	0.18	0.10
5	4.78	6.55	5.10	4.12	1.59	0.75	0.18	0.02
6	5.08	5.90	4.92	4.14	1.37	0.59	0.20	0.10
7	4.90	5.24	4.29	3.41	1.24	0.47	0.12	0.06
8	4.82	4.08	3.31	2.55	1.04	0.39	0.08	0.04
9	3.84	5.12	4.10	3.20	1.08	0.47	0.14	0.06
10	4.12	5.57	4.39	3.47	1.08	0.43	0.12	0.04
11	6.88	7.51	5.29	3.94	1.06	0.29	0.04	0.00
12	9.37	9.25	6.14	4.10	0.73	0.14	0.00	0.00
Год	70.00	76.69	57.04	43.39	12.49	4.65	1.06	0.41

Снежный покров – весьма невысокий. Снег появляется в конце ноября начале декабря, реже – в середине октября. В теплую зиму снежный покров может появиться только в конце января. Устойчивый снежный покров сохраняется в менее чем в 50% зим. Средняя декадная высота снежного покрова по постоянной рейке составила: средняя из наибольших за зиму – 8 см, максимальная – 28 см, минимальная – 1 см. Средние сроки схода снежного покрова – третья декада марта, в раннюю весну – начало февраля, при холодной и затяжной весне снег сходит только к середине апреля. Повторяемость зим с высотой снежного покрова до 15 см составляет 13 %. Наибольшая высота снежного покрова обеспеченности 5% составляет 14 см. Господствующими ветрами в районе являются восточные. Ветры, в основном, слабые, с редкими порывами (до 30 м/с). Средняя годовая скорость ветра достигает 3,0 м/с. Повторяемость штилей в течение года колеблется от 2.5 до 5.8%, в среднем в году -3.8 %. Преобладающее направление ветров – восточное (таблица 5.1.8.1). Среднее число дней с сильным ветром (15 м/с и

более) составляет 16 дней за год, наибольшее – 31 день. Среднее число дней со штилем составляет 80, наибольшее 170 дней.

1.4 Инженерно-геологические и гидрогеологические условия

По совокупности факторов инженерно-геологических условий, определяющих сложность изучения исследуемой территории и выполнение различного состава и объемов изыскательских работ, участок линейной части изысканий (водовод) отнесен к III категории сложности инженерно-геологических условий ввиду широкого распространения специфических грунтов, участок шпунтового ряда Ларсена отнесен ко II категории сложности ввиду однородного геолого-литологического строения, отсутствия специфических грунтов и опасных процессов, согласно СП 47.13330.2016 приложение Г. Изучаемая территория находится в пределах Прикаспийской низменности на юго-востоке Русской платформы, на аккумулятивной равнине, в значительной части осложнённой эоловыми формами рельефа.

«Эоловая равнина сформировалась на поверхности обнажившегося морского дна, покрытого супесчаными отложениями, которые аккумуляровались на дне мелководного хвалынского моря. В условиях аридного климата главным рельефообразующим процессом является ветер и физическое выветривание. В результате сформировались бугристо-грядовые закрепленные, полужакрепленные пески, барханы, котловины выдувания. Гряды формируются из отдельных песчаных бугров, соединенных между собой седловинами, и чередуются с понижениями, имеющими единую западную и северо-западную ориентацию. Рассматриваемая территория характеризуется достаточно низким гипсометрическим положением поверхности, слабой выраженностью основных элементов рельефа, преобладанием аккумулятивных процессов рельефообразования над эрозионными. Абсолютные отметки в ее пределах по устьям выработок меняются от –35,20 до – 14,31 м» [7].

1.5 Сведения об особых природных климатических условиях территории, на которой располагается земельный участок, предоставленный для размещения объекта капитального строительства

«Основные черты современного рельефа заложены в период нижнехвалынской и верхнехвалынской трансгрессий моря, когда были образованы разновозрастные морские аккумулятивные равнины. Регион в четвертичное время испытывал неоднократные морские трансгрессии Каспия, которые происходили не только под влиянием изменения климата, но и благодаря новейшим тектоническим движениям. Они оставили мощный комплекс морских осадков, разделенных местами относительно маломощными континентальными образованиями, свидетельствующими о периодической смене трансгрессий глубокими регрессиями моря. Следовательно, формирование рельефа здесь происходило в результате взаимодействия внутренних и внешних процессов, новейших тектонических движений и трансгрессий и регрессий Каспия Слабая геоморфологическая выраженность отдельных новейших поднятий обусловлена исключительной молодостью аккумулятивных равнин. Характерным является непосредственное прямое выражение новейших поднятий в виде отдельных невысоких возвышенностей, отмечаемое для большей части солянокупольных структур правобережья р. Волги» [5].

1.6 Сведения о прочностных и деформационных характеристиках грунта в основании объекта капитального строительства

В геологическом строении участка работ принимают участие отложения верхнечетвертичного возраста, представленные делювиальными и делювиально-аллювиальными суглинками, аллювиальными песками и суглинками, сверху перекрытые почвенно-растительным и техногенным слоем. Просадка грунтов под действием собственного веса при замачивании отсутствует или не превышает 5см. Тип грунтовых условий по просадочности –I (первый).

1.7 Уровень грунтовых вод, их химический состав, агрессивность грунтовых вод и грунта по отношению к материалам, используемым при строительстве подземной части объекта капитального строительства

Грунтовые воды установились на глубине 0,3-8,2 м. (Абс. Отм. –32,13 – (–21,00) м). Водовмещающими грунтами являются суглинки ИГЭ-2 и пески ИГЭ-3. По характеру залегания грунтовые воды безнапорные со свободной поверхностью водного зеркала. Питание горизонта грунтовых вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков. Сезонные колебания уровня подземных вод составляют до 1,0-1,5 м. Грунтовые воды гидравлически связаны с уровнем воды в р. Волга и ер. Ножовский. При проектировании необходимо предусмотреть мероприятия, исключающие затопление сооружения и гидроизоляцию конструкций оснований. Кроме того, возможно образование временных техногенных линз и замачивание просадочных грунтов за счет утечек из водонесущих коммуникаций.

1.8 Физико-механические свойства грунтов

В результате статистической обработки пространственной изменчивости частных показателей физико-механических свойств грунтов, определенных лабораторными методами с учетом данных о геологическом строении и литологических особенностях грунтов в сфере воздействия проектируемых сооружений на основании требований ГОСТ 20522-2012 и ГОСТ 25100-2020 выделено 4 инженерно-геологических элемента (ИГЭ):

- ИГЭ-1 – Суглинок коричнево-бурый, легкий песчанистый, твердый, слабопросадочный, при водонасыщении мягкопластичный, незасоленный, ненабухающий;
- ИГЭ-2 – Суглинок серый, легкий песчанистый, мягкопластичный, непросадочный, ненабухающий;
- ИГЭ-3 – Песок серый, мелкий, средней плотности, водонасыщенный;

– ИГЭ-4 – Суглинок темно-серый, тяжелый пылеватый, полутвердый, непросадочный, ненабухающий.

В соответствии с таблицей 2 ГОСТ 25100-2020 -грунты ИГЭ-1, 2, 4 участка классифицируются: класс - дисперсные, подкласс - связные, тип - осадочные, виду – минеральные, подвид – глинистые грунты. грунты ИГЭ-3 участка изысканий классифицируются: класс - дисперсные, подкласс - несвязные, тип - осадочные, виду – минеральные, подвид – пески. Нормативные и расчетные значения показателей свойств грунтов по выделенным грунтовым элементам, а также статистические показатели их распределения в выборке приведены в приложении Е. Для просадочных суглинков ИГЭ-1 модуль деформации рассчитывался в интервале нагрузок 0.05–0.15 МПа по результатам компрессионных испытаний с применением поправочного коэффициента m_k , полученного по результатам определения корреляционной связи компрессионных испытаний с полевыми штамповыми испытаниями, выполненными трестом «Ростов ДонГИСИЗ» в 1990г. Модуль деформации для глинистых грунтов ИГЭ-2, 4 рассчитан в интервале нагрузок 0,1-0,2 МПа по результатам компрессионных испытаний с применением поправочного коэффициента m_k , полученного по таблице 5.1 СП 22.13330.2016. Удельное сцепление и угол внутреннего трения грунтов определялись в лабораторных условиях при полном водонасыщении для ИГЭ-1 и 2 в интервале нагрузок 0.05-0.15 Мпа, для ИГЭ-4 методом консолидированного сдвига в интервале нагрузок 0.10-0.30 Мпа. Классификация грунтов по пучинистости согласно ГОСТ 25100- 2020 Б.2.18 Таблица Б.24 не производилась, ввиду того что проектируемые сооружения залегают ниже глубины промерзания (Нормативная глубина сезонного промерзания грунтов в пределах изучаемой территории согласно СП 22.13330.2016 составляет: для суглинков и глин – 0.76 м; для супесей, песков мелких и пылеватых – 0.92 м), следовательно данные процессы не окажут влияния на проектируемые сооружения. Химический состав грунтов, проанализирован с точки зрения проявления ими агрессивных свойств к бетонным и железобетонным конструкциям. Агрессивность грунтов определяется концентрацией SO_4 и Cl -ионов в водных вытяжках из грунтов в

соответствии с СП 28.13330.2017, таблицей В.1, В.2. По степени засоленности легкорастворимыми солями грунты ИГЭ-1,2 согласно ГОСТ 25100-2020 Б.2.17 Таблицы Б.22 классифицируются как незасоленные. По степени засоленности среднерастворимыми солями грунты ИГЭ-1,2 согласно ГОСТ 25100-2020 Б.2.17 Таблицы Б.23 классифицируются как незагипсованные.

1.9 Инженерно-геологические условия участка изысканий

Установлено, что участок изысканий расположен в р.п. Ильинка Икрянинского района Астраханской области. Проектируемый водовод проходит по застроенной территории населенного пункта. Техногенная нагрузка на участок работ в настоящее время незначительна. Коммуникации, влияющие на строительство, имеют незначительное распространение, представлены сетями связи, электрокабелями, осложнены асфальтовыми и грунтовыми автодорогами. В результате маршрутных наблюдений определено отсутствие проявления опасных геологических и инженерно-геологических процессов на местности, геоморфологическое положение участка изысканий, намечены места бурения скважин с учетом положения оси трассы, возможности подъезда к точке и наличия различных подземных коммуникаций. По данным Российского Федерального Геологического Фонда на участке проектируемого строительства полезные ископаемые отсутствуют. В период строительства и эксплуатации проектируемого водопровода в сфере взаимодействия сооружения с геологической средой, возможны изменения инженерно-геологических условий исследуемой территории во времени и в пространстве. При проектировании оснований, сложенных просадочными грунтами, нужно учесть, что в результате строительных работ (нарушение естественного стока, ливневых и талых вод, их накопление и инфильтрация в местах насыпей, наполнение водоносного горизонта за счет утечек из водонесущих трубопроводов и канализации), может произойти замачивание просадочных грунтов, что может вызвать неравномерные осадки сооружений, поэтому должны предусматриваться. При проектировании необходимо предусмотреть мероприятия, исключающие возможность замачивания специфических грунтов. Район участка изысканий по сейсмической опасности

(Ильинка), согласно СП 14.13330.2018 по картам ОСР-2015 составляет при степени сейсмической опасности А (10%)- 5 баллов, В (5%)- 5 баллов, С (1%)- 6 баллов. Согласно таблице 1 СП 14.13330.2018 категории грунтов по сейсмическим свойствам - III, грунты ИГЭ-1 относятся ко II категории в естественных условиях и к III категории при их замачивании, ИГЭ-2 к III категории, грунты ИГЭ-3,4 относятся ко II категории. Сейсмичность площадки согласно СП 14.13330.2018 по карте ОСР-2015 А и В 5 баллов, по карте С-6 баллов. Другие проявления опасных инженерно-геологических процессов (эрозия, оползни, карст, суффозия), которые могли бы негативно повлиять на устойчивость поверхностных и глубинных грунтовых массивов территории, на дневной поверхности исследуемой территории не обнаружены.

1.10 Анализ проблем систем водоснабжения из открытых источников в Астраханской области

«Важнейшим источником для обеспечения водой городского и сельского населения Астраханского региона является река Волга с разветвленной сетью рек ее дельты. На долю поверхностных вод в нашем регионе приходится 99,7% водопотребления и обеспечения различных хозяйственных нужд. Поэтому от качества воды Астраханских водоемов зависит вся цепочка поставки воды, включающая водозабор, водоподготовку, водоотведение и потребление воды населением, и в конечном итоге санитарно-гигиенические характеристики потребляемой воды. В этой связи проблеме качества питьевой воды в регионе нельзя считать закрытой. Основными источниками загрязнения гидросферы Астраханского региона в первую очередь являются объекты, расположенные на сопредельных с Астраханью территориях, выше по течению реки Волга. Именно вниз по течению в Волгу попадает промышленные, бытовые и неочищенные стоки, загрязненные тяжелыми металлами, синтетическими моющими средствами, нефтепродуктами и прочими вредными примесями, причем в концентрациях, превышающих ПДК (предельно допустимая концентрация). Суммарные объемы таких сбросов могут составлять величину в 8-9 кубокилометров. Еще одной причиной загрязнения низовьев Астраханской области может служить

заиление, нарушающее проточность природных волжских водоемов и разрушающее хрупкую устойчивость экосистем дельты Волги и условия обитания, проживающих на этих территориях людей. Проблема такого замедленного водообмена в Астраханской области относится в первую очередь к жителям, проживающим в Икрянинском, Наримановском и Лиманском районах на территории западных подстепных ильменей. Свежая вода в этих ильменях обновляется только раз в году, и то только в годы весеннего половодья с высоким подъемом уровня воды в русле Волги. Не случайно проблема снабжение населения качественной водой считается одной из важнейших для этих территорий» [6] (рисунки 3 и 4).



Рисунок 3 – Предварительная схема расположения объекта водоснабжения р. п. Ильинка, часть 1 (Северная)

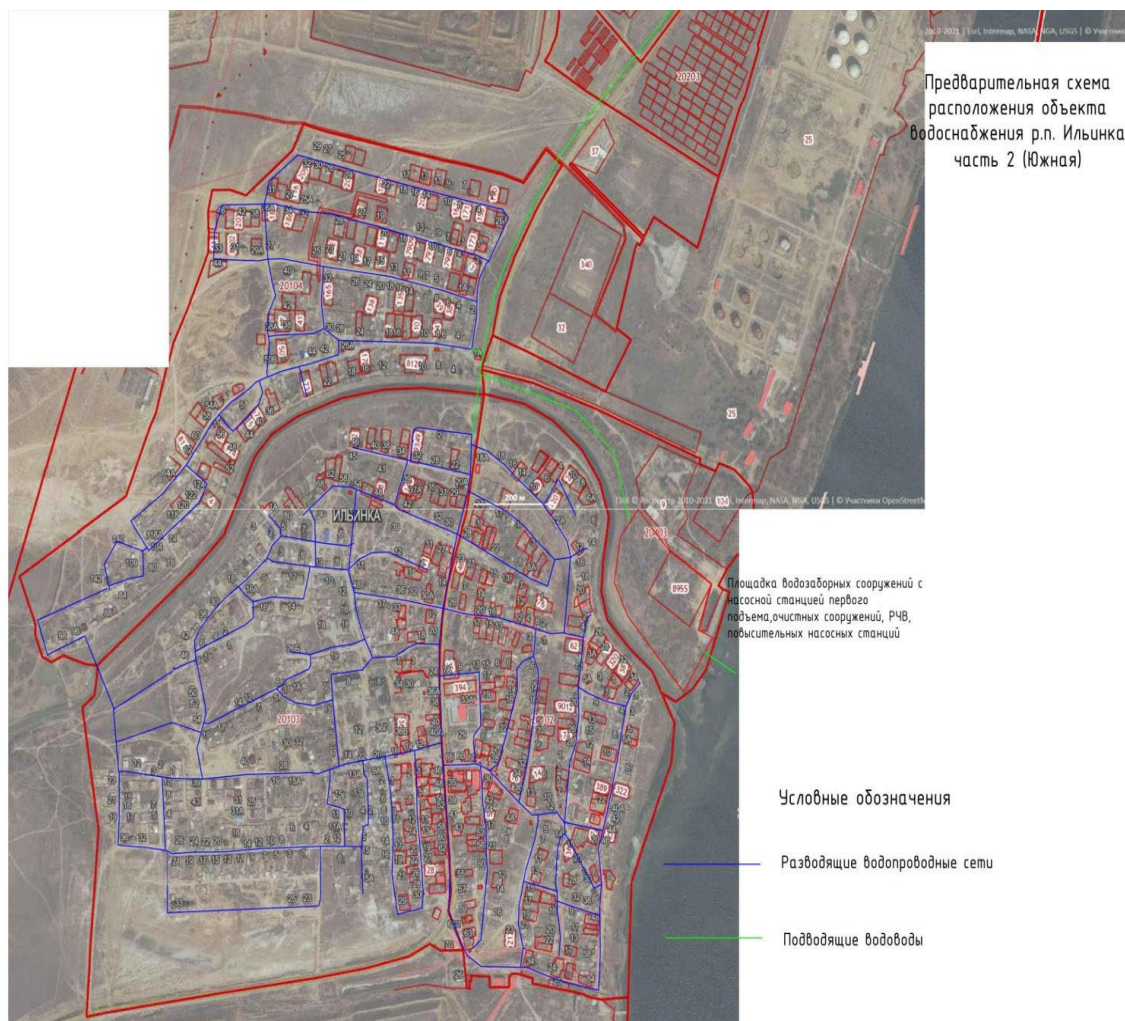


Рисунок 4 – Предварительная схема расположения объекта водоснабжения
р. п. Ильинка, часть 2 (Южная)

Вывод по главе 1:

Подземные водоисточники не пригодны для питьевого водоснабжения в виду значительного содержания минеральных веществ. Жилищно-коммунальная инфраструктура города пребывает в упадке. Это связано с состоянием городских сетей и водозаборных сооружений. Подаче воды из реки Волга осуществляется без всякой предварительной подготовки и очистке. Что представляет значительную опасность как в бактериологическом так и в химическом плане и не соответствует никаким требованиям, в том числе СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

Глава 2 Анализ возможных технологий водоподготовки и очистки воды с учетом качества воды водисточника и региональных особенностей, климатических и гидрогеологических условий

2.1 Национальные и федеральные проекты

Немаловажным фактором для комфортного проживания является наличие чистой питьевой воды из-под крана. Для решения этой задачи реализуется федеральный проект «Чистая вода», входящий в состав национального проекта «Жилье и городская среда», созданного по решению Президента России. По этой программе в 83 субъектах РФ ведется строительство и реконструкция объектов питьевого водоснабжения и водоподготовки. Так, в 2023 году было реконструировано и модернизировано 389 объектов питьевого водоснабжения и водоподготовки. Всего с 2019 года реконструировано и модернизировано 1 183 объекта водоснабжения. В настоящий момент доля городского населения, обеспеченного чистой питьевой водой из-под крана, составляет 94,9%, доля всего населения Российской Федерации, обеспеченного качественной питьевой водой, составляет 88,6%.

По итогам прошлого года наибольшее количество водоочистных объектов построено и реконструировано в Брянской области (43 объекта), Калужской и Костромской областях (по 16 объектов), Саратовской области и Республике Адыгея (по 14 объектов), Кабардино-Балкарской Республике, Владимирской и Московской областях (по 13 объектов). В 2024 году предусмотрены работы на 230 объектах.

Президент России Владимир Путин в послании федеральному собранию отметил важность реализации проекта по обеспечению чистой питьевой воды из-под крана: «Продолжим реализацию и нашего проекта «Чистая вода». Для многих наших городов и сельских поселений эта проблема чрезвычайно актуальная. Прежде всего речь идет о надежном снабжении качественной питьевой водой», – подчеркнул глава государства [40].

2.2 Перспективные технологии водоподготовки и очистки воды

Согласно протокола [31] для реализации федерального проекта «Чистая вода» был утверждён справочник: «Справочник перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных организациями оборонно-промышленного комплекса и учетом оценки риска здоровью населения».

На основании вышесказанного выбор технологической схемы будет производиться при помощи обязательного справочника, выпущенного под программу «Чистая вода». Применяемый справочник: «Справочник перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных организациями оборонно-промышленного комплекса и учетом оценки риска здоровью населения».

Система водоснабжения в процессе эксплуатации должна удовлетворять требованиям безопасности, надежности и экономичности. Безопасность системы водоснабжения учитывает требования экологического законодательства, промышленной безопасности, охраны труда и здоровья работников.

Недоучет требований надежности при проектировании, строительстве и эксплуатации систем может привести к нарушениям режима хозяйственно-питьевого водоснабжения. Под надежностью понимается способность системы гарантированно обеспечивать потребителей питьевой водой в необходимых количествах, требуемого в соответствии с санитарно-гигиеническим законодательством качества и под требуемым напором.

Одним из показателей надежности функционирования системы может служить вероятность её безотказной, безаварийной работы в течение рассматриваемого установленного времени.

2.3 Классификация источников водоснабжения

Для выбора технологических схем следует принимать среднегодовые данные показателей водоисточника, согласно таблице 4, начиная от предыдущего завершённого месяца на дату разработки технологической схемы за последние пять лет. Следует принимать максимальные суточные зафиксированные значения показателей загрязняющих веществ на основании данных аккредитованной физико-химической и микробиологической лаборатории.

При формировании мероприятий по строительству и реконструкции станций водоподготовки на перспективу необходимо:

- оценивать и подтверждать в соответствии с действующим законодательством объёмы ресурсов поверхностных и подземных источников, пригодных для питьевого водоснабжения; оценивать динамику изменения характеристик по качеству и объёму (расходу) прогнозных ресурсов и разведанных эксплуатационных запасов;
- в обязательном порядке предусматривать наличие проекта зоны санитарной (ЗСО) охраны, организация водоохранных зон и прибрежных водоохранных полос и обеспечением режима хозяйственной деятельности в ЗСО;
- организовать контроль и мониторинг качества источника водоснабжения с определением зависимости качественных показателей воды источника водоснабжения от внешних климатических, гидрогеологических, антропогенных воздействий;
- разработать мероприятия по снижению сброса загрязняющих веществ в источники водоснабжения, мероприятия по охране и восстановлению источников питьевого водоснабжения, с целью рационального использования природной воды.

Системы классификации природных вод (таблица 5) и способы как можно более краткой характеристики качества воды (индекс качества воды)

разрабатываются более чем сто лет. Выделено 625 и даже более классов, групп, типов и разновидностей вод. В.И. Вернадский считал, что число видов природных вод больше 1500 единиц.

В настоящее время в нашей стране утверждены предельно допустимые концентрации загрязнителей и методики их определения более, чем по 1500 ингредиентам. Для утверждения того или иного источника для нужд питьевого водоснабжения требуется комплексное исследование и заключение на возможность использования в качестве источника водоснабжения, которое выдается органами Роспотребнадзора [36].

Таблица 4 – Данные по требованиям к источнику питьевого водоснабжения и соответствующим технологиям водоподготовки [42]

Показатели источника по ГОСТ 2761-84 Источники питьевого водоснабжения	Классы		
	1	2	3
1	2	3	4
Подземные воды			
Мутность, мг/ дм ³ (не более)	1,5	1,5	10
Цветность, градусы (не более)	20	20	50
pH, ед. pH	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0
Fe общ-, мг/ дм ³	0,3	10	20
Mn ²⁺ , мг/ дм ³	0,1	1	2
H ₂ S, мг/ дм ³	Отсутствие	3	10
F ⁻ , мг/ дм ³	1,5-0,7	1,5-0,7	5
Перманганатная окисляемость, мгО/ дм ³	2	5	15
Число бактерий группы кишечных палочек в литре (БГКП)	3	100	1000
Поверхностные воды			
Мутность, мг/ дм ³ (не более)	20	1 500	10 000
Цветность, градусы (не более)	35	120	200
Запах, (балл)	2	3	4
pH, ед. pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Fe общ, мг/ дм ³	1	3	5
Mn ²⁺ , мг/ дм ³	0.1	1	2
Фитопланктон, мг/ дм ³	1	5	50

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
Фитопланктон, кл/см	1 000	10 000	100 000
Перманганатная окисляемость, мг О/дм ³	7	15	20
БПК, мг О ₂ / дм ³	3	5	7
Число лактоположительных кишечных палочек в литре (ЛПКП)	1 000	10 000	50 000
Методы водоподготовки: Поверхностные водные источники 1 класс - фильтрация с реагентной обработкой или без нее, обеззараживание; 2 класс - коагулирование, отстаивание, фильтрация, обеззараживание; при наличии фитопланктона - микрофильтрация; 3 класс - основные методы - то же что и для 2-го класса, а также дополнительно: вторая ступень осветления, окислительные и сорбционные методы и более эффективные методы обеззараживания. Подземные источники водоснабжения 1 класс – не требуется обработка; 2 класс - аэрирование, фильтрация, обеззараживание 3 класс - предусмотренные во 2-м классе, с применением дополнительных - фильтрация с предварительным отстаиванием, использование реагентов и т.д.			

Таблица 5 – Классы поверхностных вод по определяющим природным ингредиентам [6,21,7,26,35]

Класс вод	Наименование классов вод	Ориентировочные концентрации определяющих ингредиентов	Период
A ₁	Цветные маломутные воды	Ц=20-200 °ПКШ, М < 20 мг/ дм ³ , Т = 0-25 °С, рН = 6,8-9,0 , ПО 6-10 мгО ₂ /л	t ₂
A ₂	Высокоцветные маломутные воды	Ц > 200-650 °ПКШ, М = 5-50 мг/л, Т = 0-30 °С, рН = 6-8, ПО 8-25 мгО ₂ / дм ³	t ₁
A ₃	Цветные маломутные воды с повышенной окисляемостью	Ц > 200-650 °ПКШ, М = 5-50 мг/ дм ³ , Т = 0-30 °С, рН = 6-8, ПО 8-25 мгО ₂ / дм ³	t ₂
B ₁	Воды со средними значениями цветности и мутности	Ц = 25-150 °ПКШ, М = 20-150 мг/л, Т = 0-30 °С, рН = 6-9, ПО 6-10 мгО ₂ / дм ³	t ₂
B ₂	Маломутные воды со средними значениями цветности	B ₁ кроме М. М = 5-50 мг/ дм ³	t ₂
B ₃	Воды со средними значениями цветности и мутности, содержащие в большом количестве фитопланктон и зоопланктон	B ₁ , дополнительно Ф = 10 ³ -10 ⁶ кл/мл	t ₂
B ₄	Воды со средними значениями цветности и мутности и повышенной окисляемости	B ₁ кроме ПО ПО = 10-25 мгО ₂ / дм ³	t ₂

Продолжение таблицы 5

Класс вод	Наименование классов вод	Ориентировочные концентрации определяющих ингредиентов	Период
C ₁	Мутные, малоцветные воды	$\text{Ц} < 20$ °ПКШ, $\text{М} = 250-1000$ мг/л, $\text{Т} = 0-25$ °С, $\text{рН} = 7-9$, $\text{ПО} 5-8$ мгО ₂ /дм ³	t ₂
C ₂	Высокомутные воды с преобладанием минеральных загрязнений	$\text{М} = 1000-5000$ мг/л, $\text{Т} = 0-35$ °С, $\text{рН} = 7-9$, $\text{ПО} 3-8$ мгО ₂ /дм ³	t ₁
C ₃	Высокомутные воды с повышенной окисляемостью	c ₂ , кроме ПО. $\text{ПО} = 8-18$ мгО ₂ /дм ³	t ₁
D ₁	Воды, содержащие в большом количестве фитопланктон и зоопланктон	$\text{Ц} < 200$ °ПКШ, $\text{М} < 5-50$ мг/л, $\text{Ф} = 103-106$ кл/мл, $\text{Т} = 0-30$ °С, $\text{рН} = 6,5-9$, $\text{ПО} \sim 5-8$ мгО ₂ /дм ³	t ₁
D ₂	Воды, содержащие в большом количестве фитопланктон и зоопланктон с повышенным содержанием органического вещества	D ₁ кроме ПО. $\text{ПО} = 8-25$ мгО ₂ /дм ³	t ₁
E	Жесткие, минерализованные воды	$\text{С} > 1000$ мг/л, $\text{ЖО} > 7$ мг-экв/л, $\text{М} < 1000$ мг/дм ³ , $\text{Ц} < 20-150$ °ПКШ	t ₂

В таблице: Ц – цветность, М – мутность, Т – температура, рН – водородный показатель, ПО – перманганатная окисляемость, С – общая минерализация, Ф – количество клеток фитопланктона, ЖО – жесткость общая, t₁ – период появления до 3 месяцев в году; t₂ – постоянное присутствие в течение года.

2.4 Алгоритм выбора доступных технологий водоподготовки

Выбор технологических решений при проектировании и строительстве новых сооружений должен быть обоснован с учетом состава и свойств обрабатываемой воды, требуемой обоснованной производительности, в том числе на перспективу, специфики работы имеющихся водоочистных сооружений, особенностей транспортировки воды потребителям (длина водопроводной сети, время нахождения воды в сети), требований нормативных документов санитарного и отраслевого законодательства, требований безопасности и надежности технологических процессов а также

требований принципа разумной достаточности состава сооружений для достижения эффективной очистки воды.

Необходимость совершенствования технологий очистки воды (реконструкция и модернизация) обусловлена, с одной стороны, имеющимся физическим износом и амортизацией существующих сооружений, а также, с другой стороны, изменению требований к качеству питьевой воды по сравнению с годами строительства сооружений и качественным изменением состояния водоисточника, что особенно актуально для поверхностных источников водоснабжения.

Обоснованность решений должна быть выполнена с учетом оценки риска комплексных факторов возможного ухудшения качества питьевой воды по технологическим пределам водоснабжения с ориентацией на конечного потребителя,

Цель выбора эффективных и оптимальных технологий водоподготовки, как и цель реконструкции или модернизации уже существующих сооружений, состоит в обеспечении гарантированного бесперебойного получения потребителями в достаточном количестве и обеспечивающем потребности в развитии инфраструктуры города качественной питьевой воды.

Алгоритм выбора эффективных оптимальных технологических решений состоит из следующих позиций:

- техническое обследование и анализ эффективности системы водоснабжения с целью повышения качества очистки воды или безопасности технологического процесса, выявлению проблемных зон по технологическим пределам системы водоснабжения, ранжирования отдельных рисков, учитывающих основные причины несоответствия качества питьевой воды гигиеническим требованиям.
- изучение рынка технологического оборудования и практического опыта применения технологий в аналогичных условиях (тип и качество водоисточника, проектная производительность, климатическая зона, особенно актуально для поверхностных

источников, гидрогеологические условия, региональные особенности, уровень эксплуатационных затрат, уровень автоматизации технологического процесса, уровень квалификации обслуживающего персонала, система транспортировки питьевой воды).

- в случае если нет реализованных аналогов целесообразно проведении цикла лабораторных, и (или) пилотных опытно-промышленных испытаний на конкретных объектах.
- анализа эффективности (в том числе, экономической) предлагаемой технологии для конкретных условий водоснабжения.

Принятие решения по выбору технологии осуществляется проектной организацией или поставщиком технологии и оборудования на основании лабораторных изысканий, а также сравнения различных вариантов (таблица 6). При этом согласно общепринятой практике организация, принимающая принципиальные технологические решения, должна нести финансовые обязательства по гарантии достижения показателей качества воды [41].

Таблица 6 – Основные технологические методы по очистке поверхностных вод

Методы водоподготовки	Удаляемые примеси, форма воздействия на них и условия применения	Код метода
I. Безреагентные методы обработки.		
Удаление грубодисперсных примесей в центробежном поле	Грубо- и тонкодисперсные примеси с плотностью частиц $>1000 \text{ кг/м}^3$	ГЦ
Отстаивание в ковшах и открытых отстойниках, в том числе с тонкослойными модулями и слоем взвешенного осадка, динамическое осветление	ГДП с концентрацией взвеси более $2000-5000 \text{ мг/дм}^3$	От
Фильтрация через сетчатые перегородки	ГДП с размером частиц более $20-40 \text{ мкм}$, $\Phi > 1000 \text{ кл/дм}^3$	СтФ

Продолжение таблицы 6

Методы водоподготовки	Удаляемые примеси, форма воздействия на них и условия применения	Код метода
Фильтрация через обсыпку фильтрующих оголовков	ГДП, плавающие вещества, щепа, листья, остатки растений водотоков и водоемов	ОбФ
Фильтрация через крупнозернистую среду в префильтрах	ГДП с размером частиц менее 1,0 мм	КПФ
Медленное фильтрование	ГДП, коллоидные взвеси и бактерии, $M < 50 \text{ мг/дм}^3$	МФ
Ультрафильтрация	ГПД, коллоидные вещества и бактерии с $M < 100 \text{ мг/л}$, ПО - до $80 \text{ мгО}_2/\text{л}$, болезнетворные бактерии и другие виды организмов, органические вещества, обуславливающие высокую цветность	УУФ
Обессоливание и умягчение обратным осмосом	$Ж < 35 \text{ мг-экв/дм}^3$, $C < 30 \text{ г/дм}^3$, $ПО < 7$, $M < 0,5 \text{ мг/дм}^3$	ОО
Биологическая предочистка в русле водотоков или во входных биореакторах с использованием прикрепленной микрофлоры	Органические и минеральные примеси, при $ПО > 5 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$, $T > + 5 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Phi > 500 \text{ кл/дм}^3$	БПБ
Аэрирование воды	Газообразные и летучие органические соединения, взвесь с плотностью $< 1000 \text{ кг/м}^3$, низкое содержание кислорода, наличие нефтепродуктов	А
Флотация без применения коагулянтов	Органические вещества при $ПО > 6-8 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ и содержании нефтепродуктов $> 1-2 \text{ мг/дм}^3$; интенсификация процессов коагулирования	ФлБ
Обработка воды УФ-облучением	Воды малоцветные и маломутные, болезнетворные микроорганизмы и вирусы	УФ-об
II. Реагентные методы обработки		
Обработка воды коагулянтами и флокулянтами	Тонкодисперсные и коллоидные взвеси, агрегативно и кинетически устойчивые, требующие агрегации и придания им когезионных и адгезионных свойств: снижения электрокинетических сил отталкивания	К(Ф)
Подщелачивание	Обеспечение запаса щелочности для повышения эффективности коагуляции при низких рН ($< 6,5$)	Щ
Хлопьеобразование скоагулированных частиц в свободном или стесненном объеме	Укрупнение и образование агломератов скоагулированных коллоидов и тонкодисперсной ($d < 0,1 \text{ мкм}$) взвеси минерального и органического происхождения	ХЛО

Продолжение таблицы 6

Методы водоподготовки	Удаляемые примеси, форма воздействия на них и условия применения	Код метода
Обработка хлором (гипохлоритом натрия, кальция)	Органические вещества, обуславливающие цветность воды, трудноокисляемая органика (ПО < 15 мгО ₂ /дм ³) и наличие отдельных ингредиентов (железа, марганца, сероводорода), болезнетворные бактерии и другие микроорганизмы	Хл
Обработка воды озоном	Маломутныевысокоцветныеводы; трудноокисляемые органические вещества, обуславливающие цветность, запах и привкус; обезжелезивание, деманганизация удаление сероводорода, нефтепродуктов, фенолов, болезнетворные бактерии и другие виды микроорганизмов	ОЗ
Обработка воды УФ-облучением	Воды малоцветные и маломутные, болезнетворные микроорганизмы и вирусы	УФ-об
Обессоливание на ионообменных фильтрах	С < 2-3 г/дм ³ ; ЖО < 10-15 мг-экв/дм ³ ; М < 1,5-5 мг/дм ³ ; Ц < 20 °ПКШ	ПО
Обессоливание реагентное	С < 3-5 г/дм ³ ; ЖО < 15 мг-экв/дм ³ ; М < 150 мг/дм ³ , Ц < 150 °ПКШ	ОсР
Реагентное отстаивание, в т.ч. отстаивание с микропеском	Органические минеральные примеси (М < 2500 мг/дм ³ , Ц < 250 °ПКШ)	ОтР
Реагентное осветление в слое взвешенного осадка с рециркуляцией	те же, что и в предыдущем пункте	ОВОР
Реагентное скорое фильтрование, включая контактные, динамические осветлители (гравий, песок, инертная плавающая загрузка)	Коагулированная взвесь с размером частиц < 100 мкм после предочистки М < 200 мг/дм ³ , Ц < 200° ПКШ	СкФР
Реагентное умягчение	ЖО < 30 мг-экв/дм ³ ; М < 50 мг/дм ³	УМР
Снижение солесодержания электролизом	С < 10 мг-экв/ дм ³ ; М < 1,5 мг/ дм ³ ; Ц < 200° ПКШ; содержание железа до 0,3 мг/ дм ³	ЭД
Сорбционная доочистка в стационарном слое адсорбента	Ароматические органические вещества, нефтепродукты < 1 мг/ дм ³ , азот аммонийный, фенолы, пестициды, ПАВ, диоксины, хлорорганические соединения; М < 10 мг/ дм ³ , Ц < 200° ПКШ	СрГУ
Сорбция с вводом мелкогранульных или порошковых сорбентов в очищаемую воду	Неприятные привкусы и запахи; азот аммонийный, нефтепродукты, ПАВ, пестициды	СрПУ
Стабилизационная реагентная обработка	При индексе Ланжелье IL > и < 0; при показателе стабильности Пс > 1; при показателе коррозионной активности Пк > 0,35 (при t = 8-25 °С)	СтР

Продолжение таблицы 6

Методы водоподготовки	Удаляемые примеси, форма воздействия на них и условия применения	Код метода
Стабилизационная фильтрационная обработка воды	те же (уточняются технико-экономическими расчетами)	СтФ
Флотация с применением реагентов	Органические вещества обуславливающие цветность, $PO < 15 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$; нефтепродукты и масла $2-15 \text{ мг}/\text{дм}^3$	ФлР
Фторирование	Содержание фтора $< 1,5 \text{ мг}/\text{дм}^3$	Фт

На основании представленных в таблицах 1, 2, 3, 4, 10 данных выбор технологии водоподготовки может быть представлен следующим образом (таблица 7).

Таблица 7 – Алгоритмизация выбора технологий водоподготовки (поверхностная вода)

Класс вод	Группа примесей	Период	Рекомендуемые технологические схемы	Код
A1	II	t2	Хл → К(Ф) → ХлО → ОтР → СкФР → УФ-об → ХЛ; Хл → К(Ф) → ОтР → СкФР → ХЛ II → УФ-об; К → УУФ → ХЛ;	T1
A3	II	t2	ОЗ1 → К(Ф) → ФлР → СкФР → ОЗ2 → СрГУ → УФ-об → ХЛ; К → УУФ → ХЛ	T2
	II, III	t1	БПБ → К(Ф) → СкФР → ОЗ → СрПУ → СкФР ₂ → УФ-об → ХЛ; К → УУФ → ХЛ	T3
	II, III	t2	БПБ → К(Ф) → СкФР → ЮЗ → СрГУ → УФ-об → ХЛ; ХЛ I → К(Ф) → ОтР → СкФР → ХЛ II → УФ-об; К → УУФ → ХЛ	T4
A2	II, III	t2	БПБ → ОЗ1 → К(Ф) → ХлО → РО → СкФР → ОЗ2 → ГУ → УФ-об → ХЛ; Щ* → ХЛ I → К(Ф) → ОтР → СкФР → ХЛ II → УФ-об; К → УУФ → ХЛ	T1
	II, III	t1	ОЗ → К(Ф) → ХлО → ОтР → СкФР → ОЗ2 → СрПУ → СкФР ₂ → УФ-об → ХЛ; К → УУФ → ХЛ	T2

Продолжение таблицы 7

Класс вод	Группа примесей	Период	Рекомендуемые технологические схемы	Код
B1	I, II	t2	ХЛ—>К(Ф)—>СкФР—>СрПУ—>СкФР ₂ —>УФ-об—>ХЛ; ХлI —>К(Ф)—>ОтР —>СкФР—>Хл II—>УФ-об; К—>УУФ—>Хл	T1
B2	I, II	t2	БПБ—>К(Ф)—>СкФР—>ОЗ—>СрГУ—>УФ-об—>ХЛ;	T2
B3	I, II	t2	ХлI —>К(Ф)—>ОтР —>СкФР—>Хл II—>УФ-об; К—>УУФ—>Хл	
C1	I	t2	ОбФ(ГЦ)—>БПБ—>К(Ф)—>ОВОР—>СкФР—>УФ-об—>ХЛ;	T1
	I, II	t2	ОбФ(ГЦ)—>БПБ—>К(Ф)—>ХлО—>ОтР—>С—>кФР—>ОЗ—>СрГУ—>УФ-об—>ХЛ;	T2
	I, II, III	t1	От—>БПБ—>К(Ф)—>СкФР ₁ —>СрПУ—>СкФР ₂ —>УФ-об—>ХЛ;	T3
		t2	ХлI —>К(Ф)—>ОтР —>СкФР—>Хл II—>УФ-об	
C2	I, II,	t2	От—>БПБ—>К(Ф)—>ОВОР—>СкФР—>УФ-об—>ХЛ; От—>БПБ—>К(Ф)—>ХлО—>ОР—>СкФР—>ОЗ—>СрГУ—>ХЛ;	T1 T2
C3	I, II	t2	ХлI —>К(Ф)—>ОтР —>СкФР—>Хл II—>УФ-об От—>ОбФ—>К(Ф)—>КПФ—>ОЗ—>СрПУ—>СкФР—>УФ-об—>ХЛ; ХлI —>К(Ф)—>ОтР —>СкФР—>Хл II—>УФ-об	T3
D1	I,	t2	СтФ(МФ)—>БПБ—>К(Ф)—>СкФР ₁ —>ОЗ—>СрГУ—>УФ-об—>ХЛ;	T1
	I, II	t1	СтФ(МФ)—>БПБ—>К(Ф)—>СкФР—>ОЗ—>СрПУ—>СкФР ₂ —>УФ-об—>ХЛ;	T2
D2	I, II, III	t1	Щ*—>ХлI —>К(Ф)—>ОтР —>СкФР—>Хл II—>УФ-об Фл—>БПБ—>К(Ф)—>Хл—>От—>СрПУ—>СкФР—>УФ-об—>ХЛ;	T3
E	IV	t2	От—>К(Ф,Щ)—>ОВОР—>СкФР—>УФ-об—>ХЛ; К—>УУФ—>ОО—>Хл	T1
	IV	t1	От—>БПБ—>К(Ф)—>ОВОР—>СкФР ₁ —>СрПУ—>СкФР ₂ —>УФ-об—>ХЛ; К—>УУФ—>ОО—>Хл	T2
	IV	t2	ОбФ—>К(Ф)—>ОВОР—>СкФР—>ОЗ—>СрГУ—>УФ-об—>ХЛ; ОбФ—>К(Ф)—>ОтР —>СкФР—>ОЗ—>СрГУ—>УФ-об—>Хл	T3
	IV	t2	ОбФ—>К(Ф)—>СкФР—>ОО(ЭД)—>СрГУ—>УФ-об—>Хл	T4

* Щ – подщелачивание; используется при pH < 6,5 для повышения запаса щелочности.

2.5 Классификация качества исследуемой воды и выбор технологий водоподготовки

Согласно таблицы 5 исследуемая вода (Таблица 8) относится к:

Таблица 8 - Ориентировочные концентрации определяющих ингредиентов

Класс вод	Наименование классов вод	Ориентировочные концентрации определяющих ингредиентов	Период
A ₁	Цветные маломутные воды	Ц=20-200 °ПКШ, М < 20 мг/ дм ³ , Т = 0-25 °С, рН = 6,8-9,0, ПО 6-10 мгО ₂ /л	t ₂

Для данной воды оптимальной схемой очистки, согласно таблицы 7, являются 3 варианта очистки (Таблица 9):

Таблица 9 - Рекомендуемые технологические схемы

Класс вод	Группа примесей	Период	Рекомендуемые технологические схемы	Код
A ₁	II	t ₂	Хл —> К(Ф) —> ХлО —> ОтР —> СкФР —> УФ-об —> ХЛ; Хл —> К(Ф) —> ОтР —> СкФР —> ХЛ II —> УФ-об; К —> УУФ —> ХЛ;	T ₁

2.6 Обзор каждой из рекомендуемых технологических схем

Рассмотрим рекомендуемые технологические схемы (Таблицы 10-12)

Таблица 10 – Рекомендуемая схема

№1: (Хл —> К(Ф) —> ХлО —> ОтР —> СкФР —> УФ-об —> ХЛ):

Методы водоподготовки	Удаляемые примеси, форма воздействия на них и условия применения	Код метода
Обработка хлором (гипохлоритом натрия, кальция)	Органические вещества, обуславливающие цветность воды, трудноокисляемая органика (ПО <15мгО ₂ /дм ³) и наличие отдельных ингредиентов (железа, марганца, сероводорода), болезнетворные бактерии и другие микроорганизмы	Хл
Обработка воды коагулянтами и флокулянтами	Тонкодисперсные и коллоидные взвеси, агрегативно и кинетически устойчивые, требующие агрегации и придания им когезионных и адгезионных свойств: снижения электрокинетических сил отталкивания	К(Ф)
Хлопьеобразование скоагулированных частиц в свободном или стесненном объеме	Укрупнение и образование агломератов скоагулированных коллоидов и тонкодисперсной (d<0,1 мкм) взвеси минерального и органического происхождения	ХлО

Продолжение таблицы 10

Методы водоподготовки	Удаляемые примеси, форма воздействия на них и условия применения	Код метода
Реагентное отстаивание, в т.ч. отстаивание с микропеском	Органические минеральные примеси ($M < 2500$)	ОтР
Реагентное скорое фильтрование, включая контактные, динамические осветлители (гравий, песок, инертная плавающая загрузка)	Коагулированная взвесь с размером частиц < 100 мкм после предочистки $M < 200$ мг/дм ³ , Ц < 2000 ПКШ	СкФР
Обработка воды УФ-облучением	Воды малоцветные и маломутные, болезнетворные микроорганизмы и вирусы	УФ-об
Обработка хлором (гипохлоритом натрия, кальция)	Органические вещества, обуславливающие цветность воды, трудноокисляемая органика (ПО < 15 мгО ₂ /дм ³) и наличие отдельных ингредиентов (железа, марганца, сероводорода), болезнетворные бактерии и другие микроорганизмы	Хл

Таблица 11 – Рекомендуемая схема

№2: (Хл → К(Ф) → ОтР → СкФР → Хл II → УФ-об):

Методы водоподготовки	Удаляемые примеси, форма воздействия на них и условия применения	Код метода
Обработка хлором (гипохлоритом натрия, кальция)	Органические вещества, обуславливающие цветность воды, трудноокисляемая органика (ПО < 15 мгО ₂ /дм ³) и наличие отдельных ингредиентов (железа, марганца, сероводорода), болезнетворные бактерии и другие микроорганизмы	Хл
Обработка воды коагулянтами и флокулянтами	Тонкодисперсные и коллоидные взвеси, агрегативно и кинетически устойчивые, требующие агрегации и придания им когезионных и адгезионных свойств: снижения электрокинетических сил отталкивания	К(Ф)
Реагентное отстаивание, в т.ч. отстаивание с микропеском	Органические минеральные примеси ($M < 2500$)	ОтР
Реагентное скорое фильтрование, включая контактные, динамические осветлители (гравий, песок, инертная плавающая загрузка)	Коагулированная взвесь с размером частиц < 100 мкм после предочистки $M < 200$ мг/дм ³ , Ц < 2000 ПКШ	СкФР
Обработка хлором (гипохлоритом натрия, кальция)	Органические вещества, обуславливающие цветность воды, трудноокисляемая органика (ПО < 15 мгО ₂ /дм ³) и наличие отдельных ингредиентов (железа, марганца, сероводорода), болезнетворные бактерии и другие микроорганизмы	Хл
Обработка воды УФ-облучением	Воды малоцветные и маломутные, болезнетворные микроорганизмы и вирусы	УФ-об

Таблица 12 – Рекомендуемая схема

№3: (К—>УУФ—>Хл):

Методы водоподготовки	Удаляемые примеси, форма воздействия на них и условия применения	Код метода
Обработка воды коагулянтами и флокулянтами	Тонкодисперсные и коллоидные взвеси, агрегативно и кинетически устойчивые, требующие агрегации и придания им когезионных и адгезионных свойств: снижения электрокинетических сил отталкивания	К(Ф)
Ультрафильтрация	ГПД, коллоидные вещества и бактерии с $M < 100$ мг/л, ПО - до 80 мгО ₂ /л, болезнетворные бактерии и другие виды организмов, органические вещества, обуславливающие высокую цветность	УУФ
Обработка хлором (гипохлоритом натрия, кальция)	Органические вещества, обуславливающие цветность воды, трудноокисляемая органика (ПО < 15 мгО ₂ /дм ³) и наличие отдельных ингредиентов (железа, марганца, сероводорода), болезнетворные бактерии и другие микроорганизмы	Хл

Рассмотрим каждый метод подробнее:

Обработка хлором (гипохлоритом натрия, кальция) - используется в практике водоподготовки США, стран Западной Европы и России с начала прошлого века. К настоящему времени этот метод получил во всем мире широкое распространение благодаря достаточно высокой надёжности бактерицидного действия, возможности простого оперативного контроля за процессами обеззараживания, экономичности, простоте конструктивного оформления и возможности получения дезинфицирующего реагента в готовом виде. Анализ публикаций за последние годы показало, что хлорирование по сравнению с другими методами обеззараживания питьевой воды по-прежнему широко используется в практике водоподготовки. Обладает широким спектром бактерицидной эффективности, устойчивостью в обрабатываемой воде, мягкостью технологического использования и контроля, способностью консервировать обработанную воду в течение довольно продолжительного промежутка времени, относительной доступностью и приемлемой стоимостью [20]. Изучив основные методы обезвреживания питьевой воды можно сделать вывод, что хлорирование воды эффективный и экономически

выгодный метод в сравнении с остальными на данный момент, поэтому отказаться от хлорирования на сегодняшний день не представляется возможным [41]. Хлорирование воды является одним из самых распространенных методов, применяемых для обеззараживания питьевой вода. Самым ценным качеством хлорирования является такое явление, как последствие [37].

Обработка воды коагулянтами и флокулянтами – используется для ускорения удаления из воды грубодисперсных и коллоидных органических и минеральных примесей, а также значительной части микробиологических загрязнений. Для интенсификации образования микрохлопьев весьма широко используется метод контактной коагуляции, при котором в объём смесителя вводится дополнительная контактная среда, имеющая развитую удельную поверхность [17]. При обработке способом концентрированного коагулирования волжской воды достигнуто дополнительное уменьшение ее мутности и цветности [30]. Флокулянт – это вещество, которое ускоряет слипание примесей и неустойчивых частиц в воде, интенсифицируя образование хлопьев, укрупняя их размеры. Флокулянты с их зарядом и очень высокой молекулярной массой, адсорбируют дестабилизированные частицы и объединяют их вдоль полимерной цепи. В результате, на этапе флокуляции происходит образование более крупных хлопьев, что приводит к уплотнению осадка. Флокулянт, как правило, дозируется совместно с коагулянтом [32].

Хлопьеобразование скоагулированных частиц в свободном или стесненном объеме – это процесс формирования агрегатов (хлопьев) из мелких частиц, которые находятся в жидкой среде и подвергаются коагуляции. Свободный объем – в этом случае частицы свободно перемещаются в жидкости и могут сталкиваться друг с другом случайным образом. При столкновении они могут образовывать агрегаты, если между ними действуют силы притяжения. Стесненный объем – здесь движение частиц ограничено каким-либо препятствием или ограниченным пространством. Это может быть, например, поток жидкости через фильтр или мембрану.

Реагентное отстаивание, в т.ч. отстаивание с микропеском — обеспечивает удаление взвешенных веществ, органических соединений и других загрязняющих компонентов. Этот процесс часто применяется после предварительной коагуляции и флокуляции, когда требуется дополнительное отделение образовавшихся хлопьев. Использование микропеска в процессе реагентного отстаивания значительно улучшает эффективность отделения взвесей. Микропесок представляет собой мельчайшие частицы песка диаметром около 100 мкм, которые обладают большой удельной поверхностью и способны быстро связывать загрязнения.

Реагентное скорое фильтрование — это метод очистки воды, который используется для удаления из неё различных примесей и загрязнений. Он основан на применении химических реагентов, которые помогают ускорить процесс фильтрации и улучшить качество очищенной воды. Контактные осветлители представляют собой специальные сооружения, в которых происходит контакт обрабатываемой воды с ранее внесённым в неё коагулянтом. Они используются для очистки воды от взвешенных частиц и других загрязнений. В процессе реагентного скорого фильтрования вода проходит через слой фильтрующего материала, например, гравия, песка или инертной плавающей загрузки. Эти материалы помогают удалить из воды нерастворимые соединения и другие загрязнения. Процесс реагентного скорого фильтрования включает в себя несколько этапов: Добавление химических реагентов. В воду добавляются химические вещества, которые могут вступать в реакцию с загрязнениями и образовывать нерастворимые соединения. Это позволяет ускорить процесс осаждения и фильтрации загрязнений. Прохождение через фильтр. Вода проходит через фильтрующий материал, который может быть изготовлен из различных материалов, таких как песок, гравий, активированный уголь и т. д. Фильтрующий материал помогает удалить нерастворимые соединения и другие загрязнения из воды.

Очистка фильтра. После прохождения через фильтр вода становится более чистой, но сам фильтр может засоряться. Поэтому его необходимо

периодически очищать от накопившихся загрязнений. Повторение процесса. Процесс реагентного скорого фильтрования может повторяться несколько раз, чтобы достичь желаемого уровня очистки воды. Этот метод широко используется в различных областях, включая водоподготовку для питьевого водоснабжения, очистку сточных вод и промышленную водоочистку. Однако перед применением реагентного скорого фильтрования необходимо провести анализ воды и определить оптимальные условия для процесса очистки. Динамические осветлители представляют собой разновидность контактных осветлителей, в которых процесс очистки воды происходит в условиях непрерывного потока. Они также используются для удаления взвешенных частиц из воды.

Обработка воды УФ-облучением — это метод обеззараживания, который используется для уничтожения бактерий, вирусов и других микроорганизмов в воде. Он основан на применении ультрафиолетового излучения с определённой длиной волны, которое разрушает ДНК или РНК микроорганизмов, что приводит к их гибели. Этот метод широко используется в различных областях, включая водоподготовку для питьевого водоснабжения, очистку сточных вод и промышленную водоочистку. Однако перед применением УФ-обработки необходимо провести анализ воды и определить оптимальные условия для процесса очистки. Преимущества метода: Высокая эффективность уничтожения широкого спектра микроорганизмов. Отсутствие химических веществ, которые могут остаться в воде после обработки. Простота и надёжность оборудования. Недостатки метода: Не влияет на химические загрязнители в воде. Требуется регулярной замены УФ-ламп. Эффективность может зависеть от мутности и цветности воды [18].

Принцип ультрафильтрации основан на фильтровании через поверхность мембраны, имеющей множество пор, размеры которых сопоставимы с размером удаляемых примесей. Ультрафильтрационная мембрана имеет размер пор 0,001–0,1 мкм. Ультрафильтрация позволяет

производить очистку от коллоидных и взвешенных веществ, а также от некоторых содержащихся в воде бактерий и вирусов [22]. Мембранная ультрафильтрация используется для решения различных задач: от обработки артезианских вод, содержащих минимальное количество загрязнений, до илоразделения в процессах очистки сточных вод [28].

Выводы по главе 2:

Выбор технологической схемы будет производиться при помощи обязательного справочника, выпущенного под программу «Чистая вода». Применяемый справочник: «Справочник перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных организациями оборонно-промышленного комплекса и учетом оценки риска здоровью населения». Согласно данного справочника вода в реке Волга в месте водозабора относится к цветным маломутным водам, а следовательно для их очистки будет необходимо принять одну из следующих схем очистки:

$X_{\text{Л}} \rightarrow K(\Phi) \rightarrow X_{\text{ЛО}} \rightarrow O_{\text{ТР}} \rightarrow C_{\text{кФР}} \rightarrow \text{УФ-об} \rightarrow X_{\text{Л}};$

$X_{\text{Л}} \rightarrow K(\Phi) \rightarrow O_{\text{ТР}} \rightarrow C_{\text{кФР}} \rightarrow X_{\text{Л II}} \rightarrow \text{УФ-об};$

$K \rightarrow \text{УУФ} \rightarrow X_{\text{Л}}.$

Глава 3 Выбор технологических решений систем водоснабжения применяемых в работе

3.1 Эффективность хлорирования и УФ-обработки воды: сравнение технологий для централизованных систем водоснабжения

Обеспечение населения качественной питьевой водой остается одной из ключевых задач современного общества, особенно в регионах с высокой антропогенной нагрузкой. Река Волга, являясь основным источником водоснабжения для многих городов и населённых пунктов, подвергается значительному загрязнению вследствие промышленной деятельности, сельского хозяйства и бытовых стоков. «Ряд техногенных аварий и возросшее загрязнение водоисточников от промышленных предприятий заставили обратить внимание на широкий перечень токсичных показателей антропогенного происхождения» [15]. Это делает необходимым применение эффективных методов обеззараживания воды перед её поступлением в систему централизованного водоснабжения [8]. «Современные очистные сооружения представляют собой одно из величайших достижений в области здравоохранения за последнее столетие. Они играют важную роль в сохранении экосистем и здоровья людей, удаляя патогенные микроорганизмы, загрязняющие вещества. Современные очистные сооружения состоят из множества технологических операций, опираются на множество физических, биологических и химических механизмов и подвержены существенным внешним динамическим возмущениям, сильным нелинейностям, сильно различающимся постоянным времени системы для различных процессов и целей очистки» [44].

Среди наиболее распространенных технологий обеззараживания воды выделяются хлорирование и ультрафиолетовое (УФ) облучение. Хлорирование остается одним из самых экономически доступных и надежных методов, особенно для крупных городов, где требуется длительное остаточное действие дезинфектанта. «Самым оптимальным способом является

хлорирование в силу своей низкой стоимости и простоты работы. Данный метод не нанесет вред человеческому здоровью при небольших концентрациях и эффективно справится с уничтожением бактерий» [1]. «Альтернативным «бесхимическим» или физическим, методом стало обеззараживание воды УФ-излучением. Бактерицидное УФ-излучение эффективно в отношении вирусов и простейших, стойких к воздействию хлорсодержащих реагентов. УФ-обработка воды не приводит к образованию вредных побочных продуктов, даже если доза превышена многократно» [38].

Цель данной статьи — провести сравнительный анализ хлорирования и УФ-обработкой для массового водоснабжения городов и населенных пунктов Астраханской области. Особое внимание будет уделено таким аспектам, как экономическая доступность, безопасность для человека и окружающей среды, а также эффективность против широкого спектра микроорганизмов.

Хлорирование является одним из наиболее распространенных методов обеззараживания воды, особенно в системах массового водоснабжения городов и населённых пунктов. Этот метод основан на использовании хлора или его соединений (например, гипохлорита натрия) для уничтожения патогенных микроорганизмов. Хлорирование широко применяется по всему миру благодаря своей экономической доступности, надежности и способности обеспечивать длительное остаточное действие.

Преимущества хлорирования:

- длительное остаточное действие. Одним из ключевых преимуществ хлорирования является его способность обеспечивать длительный остаточный эффект. Это особенно важно для протяженных водопроводных сетей, где существует риск вторичного бактериального загрязнения воды, «последствие (не происходит вторичного роста микроорганизмов воде)» [3]. Остаточный хлор продолжает действовать даже после подачи воды в распределительную сеть, предотвращая рост патогенных микроорганизмов. Например, в крупных городах, таких как Москва и

Санкт-Петербург, хлорирование используется как основной метод обеззараживания воды для обеспечения её безопасности при транспортировке на большие расстояния.

- экономическая доступность. Хлорирование является одним из самых экономически доступных методов обеззараживания воды. Стоимость реагентов, таких как гипохлорит натрия, значительно ниже, чем затраты на внедрение и обслуживание УФ-оборудования. «Организация процесса УФ-обеззараживания требует больших капитальных вложений по сравнению с хлорированием» [4]. Это особенно важно для регионов с ограниченным бюджетом, таких как Астраханская область. Например, в ряде небольших населённых пунктов региона хлорирование остаётся единственным доступным методом обеззараживания воды из-за его низкой стоимости.
- широкий спектр действия. Хлор эффективно уничтожает широкий спектр микроорганизмов, включая бактерии, вирусы и простейшие. Это особенно актуально для реки Волги, которая может содержать высокие концентрации органических и неорганических загрязнителей. Например, исследования показывают, что хлорирование успешно справляется с такими патогенными микроорганизмами, как *Escherichia coli* и *Salmonella*, которые часто встречаются в поверхностных водах. «Из химических средств широко применяют хлор и хлорсодержащие соединения (Cl_2 , ДТСК, ГКН), диоксид хлора, обеспечивающие обеззараживание воды от всех видов микроорганизмов: бактерий, вирусов, риккетсий, спор бацилл, ботулинического токсина» [34].
- история применения и надёжность. Хлорирование используется в системах водоподготовки уже более 100 лет и зарекомендовало себя как надёжный метод. Например, в США и Европе хлорирование было внедрено в начале XX века и до сих пор остаётся основным методом обеззараживания воды в большинстве городов. В России

хлорирование также широко применяется, включая крупные города, такие как Москва, Санкт-Петербург и Казань.

Недостатки хлорирования:

- образование побочных продуктов. Одним из основных недостатков хлорирования является образование побочных продуктов дезинфекции, таких как тригалометаны и другие хлорорганические соединения, которые могут быть опасны для здоровья человека [29]. Это особенно важно учитывать при обработке воды из реки Волги, которая характеризуется высоким уровнем загрязнения органическими веществами. Например, в Астраханской области повышенное содержание органики в воде может привести к увеличению концентрации тригалометанов, что требует дополнительных мер контроля качества воды.
- изменение вкуса и запаха воды. Применение хлора может привести к изменению органолептических свойств воды, что снижает её потребительские характеристики. Например, жители некоторых населённых пунктов Астраханской области отмечают специфический запах хлора в водопроводной воде, что иногда вызывает недовольство потребителей.

Ультрафиолетовое (УФ) облучение представляет собой современный метод обеззараживания воды, основанный на использовании ультрафиолетового излучения для уничтожения патогенных микроорганизмов. Этот метод применяется в системах водоподготовки благодаря своей экологичности и высокой эффективности против большинства микроорганизмов.

Преимущества УФ-обработки:

- отсутствие химических добавок. Одним из ключевых преимуществ УФ-обработки является отсутствие необходимости использования химических реагентов.

- безопасность для человека и окружающей среды. «УФ-обработка воды не приводит к образованию вредных побочных продуктов, даже если доза превышена многократно. УФ-облучение не оказывает негативного воздействия на здоровье человека и окружающую среду. Обработка воды ультрафиолетом не приводит к изменению органолептических свойств» [43].
- высокая эффективность против микроорганизмов. УФ-облучение эффективно уничтожает широкий спектр микроорганизмов, включая бактерии, вирусы и простейшие. Ультрафиолетовое облучение напротив, обеспечивает 100% инактивацию болезнетворных бактерий [33].

Недостатки УФ-обработки:

- отсутствие остаточного эффекта. Один из главных недостатков УФ-обработки заключается в отсутствии остаточного действия. После прохождения через УФ-реактор вода больше не защищена от вторичного загрязнения, что делает этот метод менее подходящим для протяженных водопроводных сетей.
- зависимость от качества исходной воды. Эффективность УФ-обработки напрямую зависит от качества исходной воды. Высокая мутность, содержание взвешенных частиц и органических веществ могут снижать проникающую способность ультрафиолетового излучения, что требует дополнительных этапов предварительной очистки. «Необходима предварительная очистка жидкости – фильтрация, отстаивание, обеспечивающие удаление крупнодисперсных частиц» [23].
- дороговизна оборудования. Установка и обслуживание УФ-оборудования требуют значительных финансовых затрат. Стоимость УФ-ламп и их регулярная замена увеличивают эксплуатационные расходы. Например, срок службы УФ-ламп составляет в среднем 8000–12000 часов, после чего их необходимо менять. Это делает УФ-

обработку менее экономически доступной по сравнению с хлорированием.

- энергоемкость процесса. УФ-обработка требует значительных энергозатрат для поддержания работы ламп. Это особенно важно учитывать при внедрении технологии в регионах с ограниченными энергетическими ресурсами.

На основе проведённого анализа можно заключить, что хлорирование остаётся наиболее предпочтительным методом обеззараживания воды для городов и населённых пунктов. Этот вывод основан на следующих ключевых факторах:

- длительное остаточное действие. Хлорирование обеспечивает длительный остаточный эффект, что особенно важно для протяженных водопроводных сетей, где существует риск вторичного загрязнения воды. Как отмечено в справочнике для реализации федерального проекта «Чистая вода», хлорирование является одним из самых надёжных методов предотвращения бактериального загрязнения на всех этапах транспортировки воды.
- экономическая доступность. Хлорирование значительно дешевле УФ-обработки, особенно при массовом применении. Это особенно важно для регионов с ограниченным бюджетом, таких как Астраханская область. В справочнике подчёркивается, что хлорирование является наиболее экономичным методом обеззараживания воды по сравнению с любыми другими технологиями.
- широкий спектр действия. Хлор эффективно уничтожает широкий спектр микроорганизмов, включая бактерии, вирусы и простейшие. Это особенно актуально для реки Волги, которая характеризуется высоким уровнем загрязнения органическими веществами.
- интеграция с современными технологиями. Современные системы водоподготовки часто комбинируют хлорирование с другими

методами обеззараживания, для минимизации рисков образования побочных продуктов и повышения качества воды.

В то же время УФ-обработка имеет свои преимущества, такие как отсутствие химических добавок и безопасность для окружающей среды. Однако её недостатки, включая дороговизну оборудования, необходимость регулярной замены ламп и отсутствие остаточного действия, делают её менее подходящей для систем массового водоснабжения. Именно поэтому УФ-обработка часто дополняется хлорированием для создания остаточного эффекта.

Таким образом, хлорирование остаётся основным методом обеззараживания воды для городов и населённых пунктов, особенно в условиях ограниченного бюджета и необходимости обеспечения длительного остаточного действия. Перспективным направлением является комбинированное использование хлорирования с современными технологиями, что позволяет создать многобарьерную защиту и добиться наилучшего качества питьевой воды.

3.2 Выбор технологической схемы обработки воды

Учитывая факторы перечисленные выше и то, что в рекомендованных схемах даже с использованием УФ-обеззараживания всё равно в обязательном порядке используется хлорирование, а так же имеющиеся ограничения финансового характера приходим к следующему выводу: для очистки воды получаемой из реки Волга и водоснабжения Рабочего поселка Ильинка Икрянинского района Астраханской области в рамках федеральной программы «Чистая Вода» согласно справочника: «Справочник перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных организациями оборонно-промышленного комплекса и учетом оценки риска здоровью населения» [41] была выбрана следующая технологическая схема (рисунок 5).

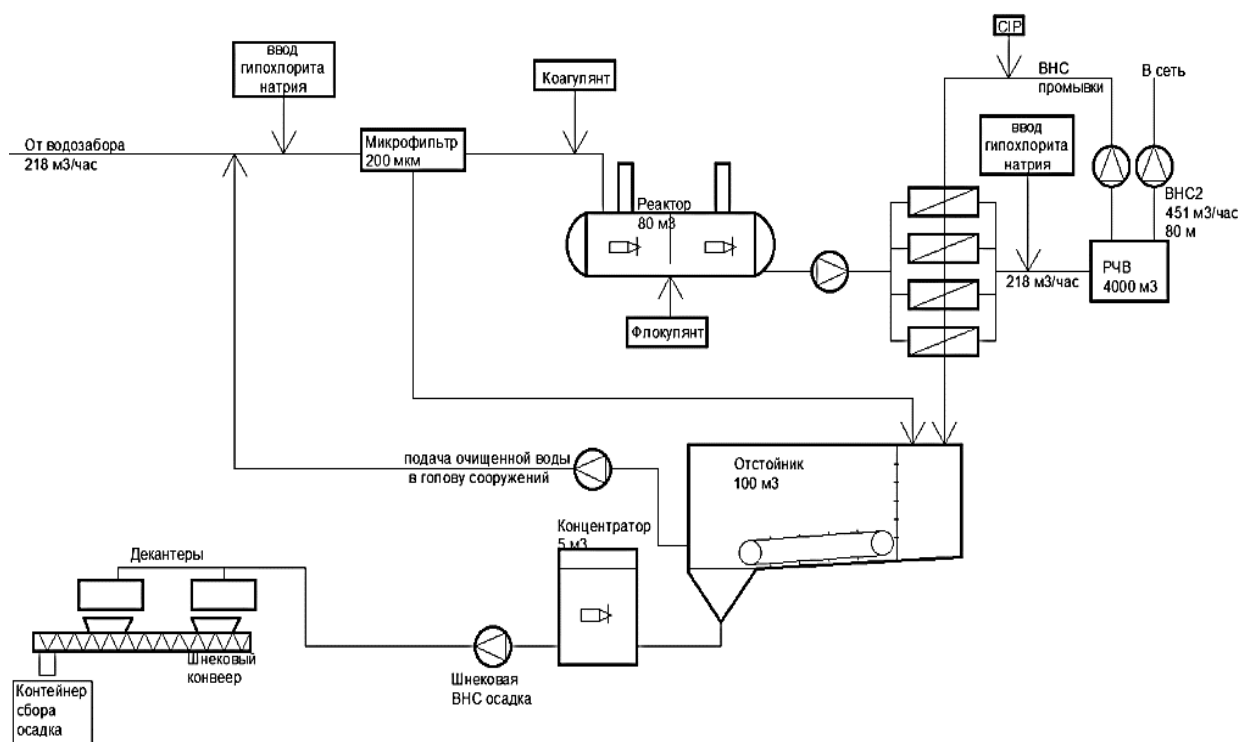


Рисунок 5 – Принципиальная технологическая схема очистки воды

Описание технологической схемы с описанием установленного оборудования и его предназначения представлено в таблице 13.

Таблица 13 – Спецификация узлов по ходу движения воды

№ позиции	Предназначение	Установленное оборудование
Павильон №1	Механическая очистка	Установки дисковой фильтрации с порогом фильтрации 200 мкм. Предназначение: механическая очистка в т.ч. от сине-зеленых водорослей.
Реактор 80 м³	Проведение реакции коагуляции	Мешалки поддержания хлопьев во взвешенном состоянии
ВНС подачи на фильтрацию	Q=218 м³/час H=30 м	Подача скоагулированной воды на очистку
Павильон №2	Модуль ультрафильтрации	Два модуля ультрафильтрации с автоматическим переключением потоков.
Павильон №3	Модуль сбора промывочных вод	Установлен отстойник со струенаправляющей перегородкой. В отстойнике установлен цепной скребок для сбора осадка в приёмный бункер.
Павильон №4	Надстройка для вентиляции над отстойником	Установлена система вентиляции и отопления

Продолжение таблицы 13

№ позиции	Предназначение	Установленное оборудование
Павильон №5	Модуль сбора осадка	Установлен контейнер для приёма осадка (для вывоза), концентратор объёмом 3 м3 для дозревания осадка перед обезвоживанием, шнековый транспортёр для сбора осадка от центрифуг, насосная станция подачи осадка на обезвоживание. Насосная станция подачи отстоянной воды в голову сооружения отстойника
Павильон №6	Надстройка с декантерами	Декантерные установки для обезвоживания осадка. Система вентиляции
Павильон №7	Склад реагентов	Хранение операционного запаса реагентов
Павильон №8	Модуль установок приготовления и дозирования реагентов	Приготовление рабочих растворов реагентов для непрерывной работы станции

Описание работы сооружений: Исходная вода от водозабора поступает в здание очистных сооружений. Начальным этапом по очистке служит дисковая микрофильтрация. Она предназначена для очистки воды от взвешенных загрязнений с рейтингом более 200 мкм, а также сине-зеленых водорослей в период цветения. По мере выработки грязеемкости дисковых фильтров фиксируется перепад давления до и после установки и сигнал выводит поочередно в промывку каждую голову дискового фильтра на промывку.

Далее пропорционально расходу вводится гипохлорит натрия, приготавливаемый на комплектной установке электролизного приготовления рабочего раствора. Реагент вводится в дозировке до 3 мг/л по активному веществу в обрабатываемой воде для достижения превышения хлоропоглощаемости исходной воды и окисления всех органических загрязнений а также дезодорации воды. Параллельно в данной точке производится ввод рабочего раствора коагулянта (начально используемый реагент Аквааурат-30, при пусконаладочных работах допускается изменение рабочего компонента). Далее вода с введенными реагентами (окислитель и

коагулянт) поступает в двухступенчатый реактор суммарным объемом 80 м³. Объем которого позволяет проводить реакцию окисления и коагуляции в течении 20 минут при регламентном расходе 4310 м³/сут. Двухступенчатая схема применена для возможности осуществить дополнительную реакцию флокуляции во втором отсеке в случае необходимости и неэффективности оказываемой дозы коагулянта. Дополнительное введение рабочего раствора флокулянта после проведения реакции коагуляции позволяет ускорить реакцию коагуляции и укрупнить образуемые хлопья загрязнений в случае недостаточности монореакции коагуляции, а также позволит снизить вводимую дозу коагулянта, что дополнительно позволит снизить себестоимость 1 м³ очистки. Используемый флокулянт Аквафлок 2450 Анионный, при пусконаладочных работах допускается изменение рабочего компонента).

После завершения реакции коагуляции вода с коагулированными загрязнениями отбирается насосной станцией с параметрами 218 м³/час 30 м и направляется на 3 модуля ультрафильтрации. Размер пор ячеек ультрафильтрации составляет от 0,01 до 0,1 мкм, что позволяет очищать воду от бактерий и вирусов.

Модули ультрафильтрации спроектированы в режиме конечной тупиковой фильтрации. Данное свойство позволяет осуществлять обратную промывку 1 раз в час в течении 40 секунд с расходом 175 м³/час, для его предусмотрена насосная станция в станции второго подъема от резервуаров чистой воды. По мере промывки модулей ультрафильтрации образуется промывные воды в объеме 35 м³/час. Данные воды подлежат возврату в технологический цикл для дальнейшей совместной очистки на основной технологической линии модулей ультрафильтрации. Для чего системой предусмотрен модуль рекуперации промывных вод.

Промывные воды поступают в отстойник с суммарным объемом 108 м³ оборудованным ленточным скребковым механизмом и бункером накопления осадка. Пропорционально расходу в поток вводится раствор флокулянта

описанного выше по тексту. Для выделения из общего потока загрязнений в виде крупных хлопьев. Далее по мере накопления осадка в бункере накопления осадка происходит перелив осадка в концентратор куда также добавляется флокулянт. Концентратор оборудован тихоходной мешалкой образователем потока в котором происходит вызревание осадка с хорошо отделимыми хлопьями от общей массы воды. С обоих сооружений (отстойник и концентратор) предотстоянная вода отводится в голову сооружений, а готовый осадок подается на центробежные декантеры. Откуда происходит конечное отделение от воды, которая также направляется в голову сооружений. Обезвоженный осадок сбрасывается в бункер накопления осадка для дальнейшей утилизации на полигоне ТБО.

Последней стадией очистки воды перед сбросом в резервуар чистой воды является хлорирование с остаточным хлором до 0,3 мг/л. Затем вода поступает в резервуар чистой воды, откуда через вторую насосную станцию подается потребителю.

3.3 Системы водоподготовки на основе модулей полной заводской готовности

«В России централизованные системы водоснабжения работают в 99,6% городов, 88% поселков городского типа и в 22% сельских населенных пунктов. Системой централизованного водоснабжения оборудованы 33,9 тыс. или 22% от общего количества сельских жителей. Около 9 млн. человек сельского населения страны не имеют доступа к качественной воде. Большинство систем водоснабжения не оборудованы необходимыми сооружениями и технологическим оборудованием для улучшения качества воды или работает неэффективно, при этом 65% локальных водопроводов нуждается в реконструкции и 10% — в полном восстановлении. В результате 75% сельского населения вынуждено пользоваться водой, не соответствующей санитарным нормам.

Основная часть сельского жилищного фонда не оборудована инженерными коммуникациями, например, водопровод имеется в 39% сельских жилых домов, канализация — в 30%, центральное отопление — в 37%, горячее водоснабжение — в 17%» [1].

Для решения этой задачи в настоящее время наиболее целесообразным способом видится применение систем водоподготовки на основе модулей полной заводской готовности. Имеющиеся на сегодняшний день предложения от нескольких производственных предприятий на территории Российской Федерации смотрятся достаточно привлекательно по следующим причинам:

- полная автоматизация технологических процессов работы;
- гарантированное качество оборудования и его монтажа (испытание отдельных элементов и системы в целом производится в заводских условиях в соответствии с аттестованной системой качества);
- минимальные объемы строительно-монтажных работ;
- отсутствие потребности в производственных помещениях;
- максимально сжатые сроки ввода в эксплуатацию;
- данные изделия имеют максимальную заводскую готовность;
- все изделия имеют соответствующую сертификацию для применения в строительстве на всей территории субъектов Российской Федерации.

В качестве примера хочется привести продукцию компании ООО "САМИТЕК" из города Ростов-На-Дону, осуществляющую свою деятельность в данном направлении с 2004 года. На данное время предприятие специализируется на изготовлении систем водопроводных и канализационных очистных сооружений для хозяйственно-бытовых и промышленных нужд, насосных станций, емкостного оборудования из стеклопластика и ПНД, и прочего оборудования которое необходимо для инженерных сетей и коммуникаций. Отличительная особенность продукции компании в том, что объединены сразу несколько этапов при реализации стадий строительства, от разработки технического задания и предложения проектного решения до реализации его «под ключ», что включает: выезд специалистов на объект,

обследование его, разработка технического решения, проработка комплекта чертежей проектно-конструкторским отделом, с дальнейшей передачей проектной в производство для изготовления необходимых изделий и испытания выпускаемого оборудования, вплоть до доставки оборудования на объект, сборки комплектации сооружения 1-го пуска и передачи в эксплуатацию с последующим гарантийным и послегарантийным обслуживанием. Что позволило компании за этот промежуток времени реализовать более 230 успешных проектов [13].

Например, для проекта водоснабжение посёлка численностью 7450 человек и расходом воды 4310 м³/сут была запроектирована станцию очистки воды полной заводской готовности с возможностью работы в полностью автоматическом режиме и удовлетворяющим требованиям СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения". При этом все сопутствующие вспомогательные помещения удалось расположить в одном здании из быстровозводимых модульных конструкций размером всего 14×22 метра (рисунок 6).

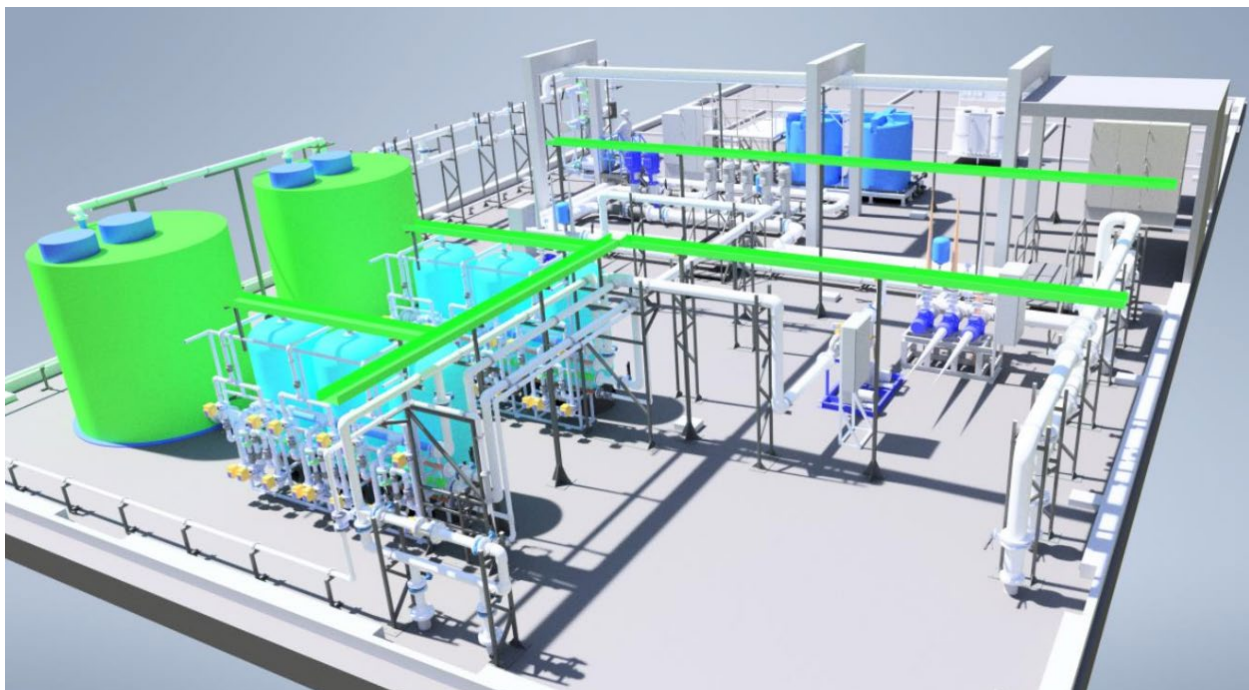


Рисунок 6 – Очистные сооружения SAMITECH-WP200

Полный технологический цикл включил в себя следующие этапы: Исходная вода от водозабора поступает в здание очистных сооружений. Начальным этапом по очистке служит дисковая микрофльтрация. Она предназначена для очистки воды от взвешенных загрязнений с рейтингом более 200 мкм, а также сине-зеленых водорослей в период цветения. По мере выработки грязеемкости дисковых фильтров фиксируется перепад давления до и после установки и сигнал выводит поочередно в промывку каждую голову дискового фильтра на промывку. Далее пропорционально расходу вводится гипохлорит натрия, приготавливаемый на комплектной установке электролизного приготовления рабочего раствора. Реагент вводится в дозировке до 3 мг/л по активному веществу в обрабатываемой воде для достижения превышения хлоропоглощаемости исходной воды и окисления всех органических загрязнений а также дезодорации воды. Параллельно в данной точке производится ввод рабочего раствора коагулянта. Далее вода с введенными реагентами (окислитель и коагулянт) поступает в двухступенчатый реактор суммарным объемом 80 м³. Объем которого позволяет проводить реакцию окисления и коагуляции в течении 20 минут при регламентном расходе 4310 м³/сут. Двухступенчатая схема применена для возможности осуществить дополнительную реакцию флокуляции во втором отсеке в случае необходимости и неэффективности оказываемой дозы коагулянта. Дополнительное введение рабочего раствора флокулянта после проведения реакции коагуляции позволяет ускорить реакцию коагуляции и укрупнить образуемые хлопья загрязнений в случае недостаточности монореакции коагуляции, а также позволит снизить вводимую дозу коагулянта, что дополнительно позволит снизить себестоимость 1 м³ очистки. После завершения реакции коагуляции вода с коагулированными загрязнениями отбирается насосной станцией с параметрами 218 м³/час 30 м и направляется на 3 модуля ультрафльтрации. Размер пор ячеек ультрафльтрации составляет от 0,01 до 0,1 мкм, что позволяет очищать воду от бактерий и вирусов. Последним этапом очистки воды перед сбросом в

резервуары чистой воды является хлорирование воды с дозой остаточного хлора до 0,3 мг/л по активному веществу. Далее вода сбрасывается в резервуары чистой воды и откуда забирается насосной станцией второго подъема для дальнейшей подачи потребителям. Принципиальная технологическая схема представлена на рисунке 7.

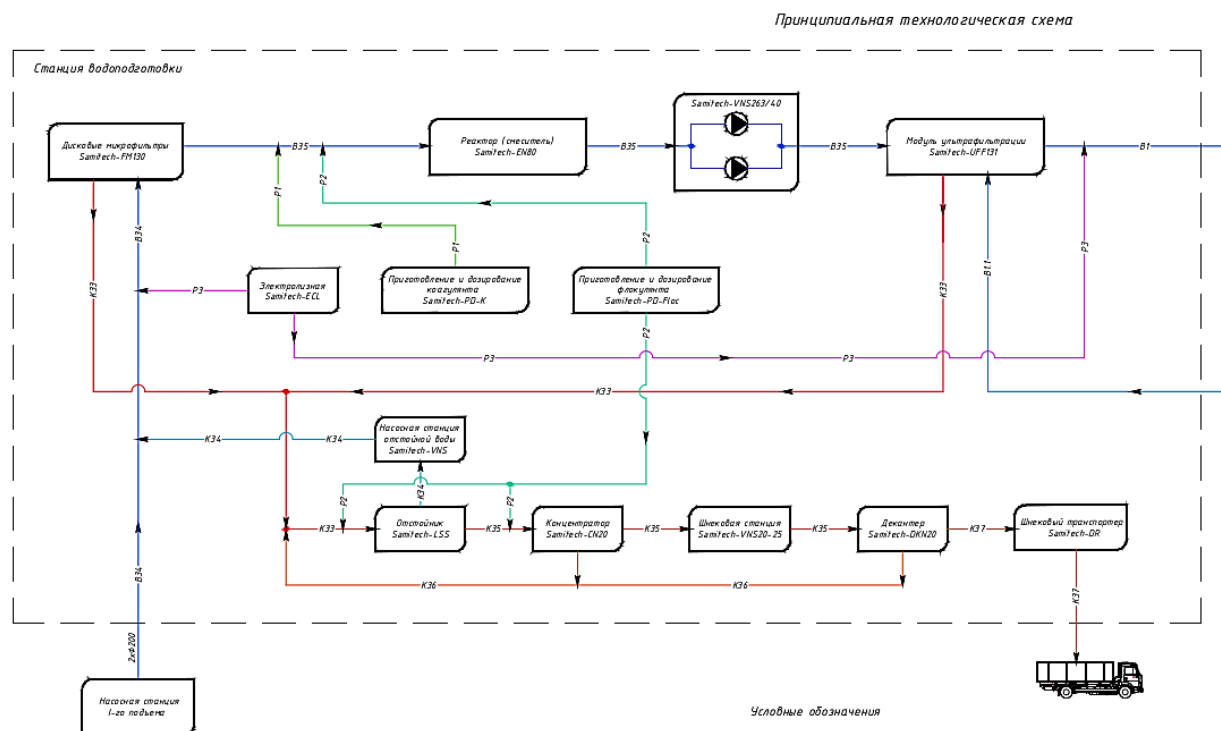


Рисунок 7 – Принципиальная технологическая схема

В результате использования модулей полной заводской готовности получается полноценные станции водоочистки компактного размера, с минимальными объёмами строительных работы, сроками производства и полностью удовлетворяющая требованиям современных нормативных документов в том числе «Справочнику перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных организациями оборонно-промышленного комплекса и учетом оценки риска здоровью населения» выпущенного под программу «Чистая вода».

3.4 Анализ технологической схемы системы водоснабжения с модулем ультрафильтрации.

Рассмотрим подробнее модуль ультрафильтрации «Samitech-UFF». Узел ультрафильтрации является на сегодняшний день наиболее прогрессивным методом очистки, когда не требуется умягчение исходной воды. По сравнению с любыми другими методами очистки технология ультрафильтрации позволяет получать воду высшего качества вне зависимости от параметров исходной воды. Установки ультрафильтрации воды «Samitech-UFF» применяются на финальном этапе доочистки после биологических очистных сооружений. Широкие возможности метода ультрафильтрации воды обуславливают высокую востребованность установок ультрафильтрации воды «Samitech-UFF» в различных отраслях: «в теплоэнергетике, для предварительной очистки питающей воды перед системами умягчения и обратного осмоса (котельные, бойлерные, теплообменное оборудование); в питьевом водоснабжении: для удаления бактерий и вирусов, получения воды высокого качества из открытого источника» [39] (забор воды с рек, озер, водохранилищ в целях подготовки подготовки питьевой и технологической воды); в очистке производственных стоков: для доочистки сточных вод после станций биологической очистки. Эффективность оборудования, предлагаемого ООО «Самитек», подтверждается результатами работы большого количества реализованных и успешно работающих объектов на всей территории России [45].

«Помимо высокого качества очистки воды установки ультрафильтрации «Samitech-UFF» отличает целый ряд преимуществ:

- возможность использования в комплексных системах очистки воды;
- длительный период эксплуатации;
- компактность;
- возможность полной автоматизации;
- модульная конструкция, возможность увеличения производительности;

- низкое энергопотребление;
- малый расход воды;
- 100%-ая очистка от взвешенных веществ;
- удаление бактерий и вирусов из воды;
- очистка воды с высокой мутностью и цветностью;
- удаление высокомолекулярных органических соединений;
- интеграция с существующими системами управления;
- наивысший уровень очистки среди всех технологий осветления;
- индивидуальные предварительные испытания (пилотные испытания)» [44].

«Принцип действия: Ультрафильтрация как класс относится к баромембранным процессам разделения. Действующей силой является перепад давления по разные стороны фильтровальной перегородки (мембраны). Для предотвращения быстрого выхода оборудования из строя входная вода должна подвергаться предварительной очистке от мелких механических примесей. Эту функцию выполняет механический «фильтр-грязевик» [47]. При необходимости во входную линию добавляются вспомогательные реагенты – коагулянты и флокулянты. С их помощью возможно задержание частиц, размеры которых меньше, чем диаметр пор мембраны. Добавление в поток реагентов вызывает образование небольших хлопьев (флокул). Коллоидные и органические примеси, которые необходимо удалить, закрепляются на поверхности полученных хлопьев. Периодически, для восстановления работоспособности установки должна выполняться промывка фильтрующего модуля. Она осуществляется обратным током воды из сборника пермеата. При образовании прочных химических осадков используются дополнительные реагенты (кислота, щелочь или гипохлорит натрия). Промывочный раствор проходит с внешней стороны волокон внутрь, вымывая в дренажную линию все накопившиеся загрязнения» [44].

«Конструкция установки ультрафильтрации «Samitech-UFF»: Основной элемент ультрафильтрационной установки – фильтрующий модуль. Поток

воды пропускается через пучок многоканальных волокон. Волокна изготавливаются из полиэстерсульфона. Особенностью этого материала является наличие мелких структурных пор диаметром до 0,02 мкм. Фактически, стенки волокон представляют собой фильтр из полупроницаемой мембраны. Компонировка модуля обеспечивает направление входного потока воды внутрь пучка волокон. Процесс фильтрации проходит изнутри наружу. Задерживаемые загрязнения остаются внутри каналов. Чистая вода (пермеат) через стенки выходит наружу и отводится из корпуса» [44].

«Состав ультрафильтрационной установки «Samitech-UFF»: В зависимости от условий эксплуатации, требований, предъявляемых к качеству очищенной воды и необходимому уровню автоматизации, состав основных структурных элементов может различаться. В базовом, стандартном исполнении состав установки следующий (рисунок 8):

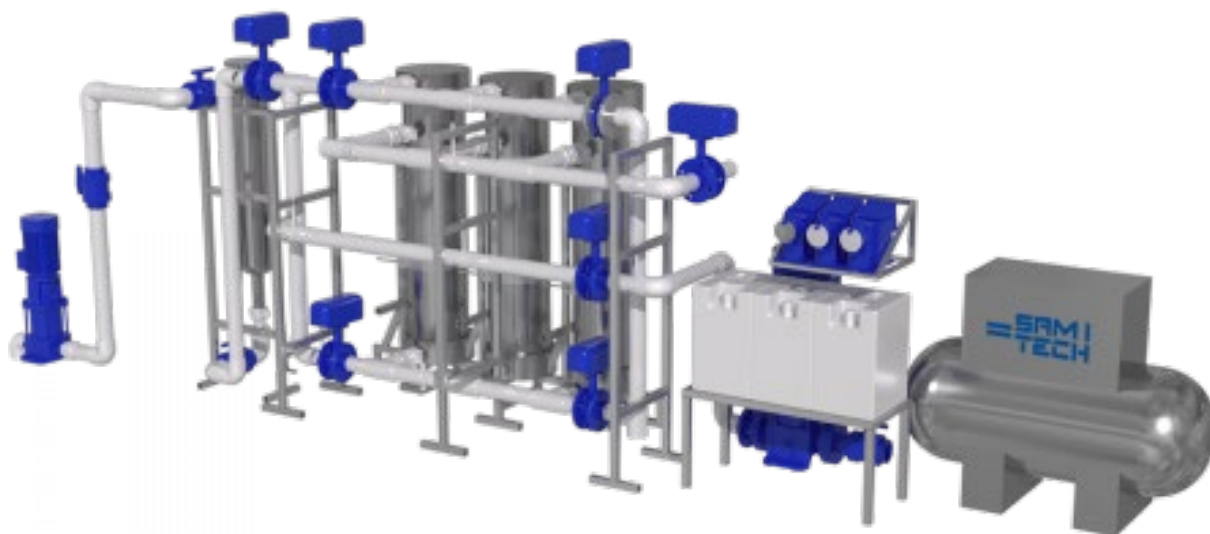


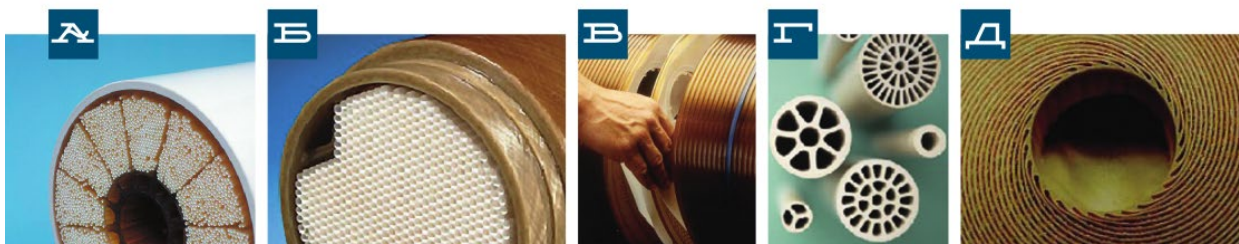
Рисунок 8 – Общий вид ультрафильтрационной установки «Samitech-UFF»

- блок фильтрующих модулей;
- реагентный блок (дозирование растворов коагулянта и флокулянта);
- фильтр предварительной очистки;
- узел автоматической промывки;
- блок автоматического управления;

- обвязка и трубопроводная арматура.
- дополнительно, по желанию заказчика, или в случае необходимости, комплектация установки может быть расширена. Дополнительно в состав вводятся:
- емкость-накопитель, для сбора фильтрата;
- нагнетающий насос на входной линии;
- контрольно-измерительная аппаратура (количество и функциональное назначение приборов определяет степень автоматизации системы)» [13].

«Принцип ультрафильтрации основан на фильтровании через поверхность мембраны, имеющей множество пор, размеры которых сопоставимы с размером удаляемых примесей. Ультрафильтрационная мембрана имеет размер пор 0,001–0,1 мкм. Ультрафильтрация позволяет производить очистку от коллоидных и взвешенных веществ, а также от некоторых содержащихся в воде бактерий и вирусов» [43].

«Мембранная ультрафильтрация используется для решения различных задач: от обработки артезианских вод, содержащих минимальное количество загрязнений, до илоразделения в процессах очистки сточных вод. Современный рынок мембранных технологий предлагает широкий спектр типов ультрафильтрационных модулей: рулонные, плоскостные, полуволоконные, трубчатые, керамические (рисунок 9). В свою очередь, эти типы модулей имеют дополнительные модификации, делающие проектирование мембранных установок технологически гибким при подходе к очистке любого типа водоисточников (рисунок 10)» [48].



а – полуволноконные; б – трубчатые; в – дискотрубчатые; г – керамические трубчатые; д – рулонные

Рисунок 9 – Типы мембранных модулей



Рисунок 10 – Ультрафильтрационные установки. Внешний вид

«В отличие от коагуляции в осветлителе или напорной коагуляции, применяется значительно меньшая доза коагулянта (в 3–5 раз), т.к. для задержания скоагулированной частицы на поверхности мембраны не требуется доведение ее массы до величины, способной к осаждению. Задержанные на поверхности мембраны частицы приводят к постепенному увеличению сопротивления движению воды, и как следствие, к снижению производительности мембранного модуля. Восстановление первоначальных характеристик работы модулей производится сменой режима работы на режим

обратной промывки. Через патрубок фильтрата пропускают поток очищенной воды, в 2–5 раза превышающий поток исходной воды в режиме фильтрования, который смывает загрязнения с поверхности мембраны в течение короткого промежутка времени (около 1 минуты)» [31]. «Необходимо отметить, что флокулянт для работы ультрафильтрационной установки не только не требуется, но и противопоказан» [49].

«Ультрафильтрация сегодня является практически стандартом в качестве предочистки перед обессоливающими установками, ее экономическая и техническая целесообразность подтверждена расчетами для самых разных объектов и типов исходных вод. В питьевом водоснабжении в Париже, Лондоне, Амстердаме, Сингапуре, в ряде городов США и Канады уже более 15 лет используется технология ультрафильтрации. В Москве на Юго-Западной водопроводной станции уже 10 лет работает установка ультрафильтрации производительностью 250 тыс. м³/сут. (здесь УФ-мембраны дополняют классическую технологию)» [31].

«Одним из принципиальных отличий ультрафильтрации от традиционного осветления воды является существенно меньшая тонкость фильтрования. Так, если для песчаного фильтра стандартная тонкость фильтрования – 100 мкм, а теоретически достигаемая – 10 мкм, то у стандартной ультрафильтрации этот параметр составляет 0,01–0,03 мкм. Ультрафильтрация может задерживать частицы размером на четыре порядка меньше, чем стандартная технология отстаивания и фильтрования на механических фильтрах. Подобное отличие приводит к нескольким положительным эффектам работы мембранной установки по сравнению с отстойниками и механическими фильтрами:

- существенно более высокая степень очистки;
- удаление веществ, не удаляемых на песчаных фильтрах, в том числе, достижение эффекта стерилизующего фильтрования;
- экономия реагентов» [49].

Кроме того, отметим, что существенным преимуществом технологии ультрафильтрации является высокая заводская готовность сооружений для ее реализации и, соответственно, относительно малый объем строительных работ. Что касается стоимости оборудования, то многочисленные расчеты на промышленных предприятиях показали, что при новом строительстве, использовании компонентов одного класса и степени автоматизации капитальные затраты на обычную двухступенчатую установку несколько выше, чем на ультрафильтрацию.

Сектор водоподготовки переходит на более современные мембранные технологии очистки, которые являются «более экономичными и экологичными. Можно прогнозировать, что отстойники и механические фильтры будут заменены ультрафильтрационными установками. Эффективность ультрафильтрационной очистки по всем ключевым показателям выше, чем очистка в традиционно используемых осветлителях (отстойниках) и механических фильтрах. Очистка в осветлительных резервуарах не обеспечивает требуемого качества очищенной воды, требует значительных трудозатрат на эксплуатацию оборудования и имеет высокие эксплуатационные расходы на реагенты. Площадь осветлителя и механического фильтра значительно больше, чем у ультрафильтрационной установки той же производительности. Ультрафильтрационные установки имеют высокий коэффициент использования оборудования, что значительно снижает стоимость и продолжительность строительно-монтажных работ. За последние несколько десятилетий мембранные технологии продолжали развиваться, и были разработаны новые, более совершенные мембраны и элементы, что позволило снизить стоимость и требования к качеству исходной воды, но улучшить качество очищенной воды. В традиционной технологии можно ожидать незначительного фундаментального улучшения. В этом отношении ультрафильтрация - это будущее мирового питьевого водоснабжения» [49].

Основные преимущества ультрафильтрации: высокая эффективность удаления взвешенных частиц: ультрафильтрационные мембраны эффективно удаляют взвешенные частицы, коллоиды, бактерии, вирусы и другие микроорганизмы. Это обеспечивает безопасность питьевой воды без использования хлора или других химических веществ. Сохранение полезных минералов: В отличие от обратного осмоса, который полностью удаляет из воды все минералы, ультрафильтрация сохраняет полезные микроэлементы, такие как кальций и магний, делая воду более здоровой. Низкие эксплуатационные расходы: Процесс ультрафильтрации требует меньше энергии, чем другие методы очистки, такие как обратный осмос. Кроме того, мембраны легко очищаются и регенерируются, что снижает затраты на их замену. Компактное оборудование: системы ультрафильтрации занимают меньше места, чем обычные системы очистки воды, что особенно важно в условиях ограниченного пространства. Простота эксплуатации и обслуживания: системы ультрафильтрации относительно просты в установке и обслуживании. Они не требуют частого вмешательства оператора и могут работать в автоматическом режиме. Устойчивость к загрязнениям: ультрафильтрационные мембраны устойчивы к широкому спектру загрязнений, включая органику, масла и жиры. Это делает их пригодными для применения в тех случаях, когда вода содержит широкий спектр примесей. Экологичность: ультрафильтрация является экологически чистым методом очистки воды, поскольку в ней не используются химические вещества и не образуется большое количество отходов. Возможность интеграции с другими технологиями: ультрафильтрация может сочетаться с другими методами очистки, такими как озонирование, ультрафиолетовое облучение или адсорбция активированным углем, для достижения еще более высокой чистоты воды. В целом, ультрафильтрация - это эффективный и экономичный метод очистки воды, который обеспечивает высокое качество питьевой воды и подходит для широкого спектра водных применений.

3.5 Технико-экономический расчет

Выгоды, получаемые от водоснабжения, намного превышают экономические затраты на водоснабжение. Поэтому в данном исследовании экономическим, социальным целям и целям социальной справедливости присваиваются высокие веса [46].

Затраты на электроэнергию. Стоимость одного киловатта электроэнергии для нужд юридических лиц Астраханской области 5,4 рублей. Энергопотребление станции водоподготовки составляет 70,4 кВт в час, соответственно общая стоимость электроэнергии для нужд работы станции составляет 383,68 рублей в час. Тогда добавочная стоимость одного кубического метра воды по электроэнергии составит 2,92 рубля.

Расчет стоимости реагентов по себестоимости одного кубического метра очищенной воды.

Гипохлорит натрия. Электролизная установка приготовления низкоконтрированного 0,8 % раствора гипохлорита натрия. Предлагается к использованию комплектная установка для размещения в отдельном здании. Принимаемые параметры: Доза первичного хлорирования 4 мг/л по активному хлору. Тогда для первичного хлорирования на общий расход 131 м³/час понадобится 0,526 кг/час активного хлора. Принимаем гипохлорит марки Э (электролизный) с концентрацией 0,8% (8 грамм активного вещества в 1 литре раствора). Доза вторичного хлорирования 2 мг/л по активному хлору. Тогда для вторичного хлорирования на общий расход 131 м³/час понадобится 0,263 кг/час активного хлора. Таким образом общая потребность в хлоре для первичного и вторичного хлорирования составит 0,789 кг/час по активному хлору. На производство 1 кг активного хлора требуется 4 кг поваренной соли (по паспортным данным). Тогда получаем общий расход соли в час равный 3,156 кг. Стоимость соли на рынке: 16,8 руб/кг., а, следовательно, стоимость составит 53 руб/час на производство гипохлорита натрия. И добавочная стоимость по гипохлориту натрия на расход 131 м³/час составляет 0,4 руб/м³.

Коагулянт. Принимаем коагулянт Аквааурат-30. Расчет ведем по наиболее грязному показателю в течении года: $\text{Ц}=29$. Тогда необходима концентрация препарата составит 21,54 мг/л по Al_2O_3 . Что соответственно на общий расход 131 000 л/час составит 2,8 кг/час по Al_2O_3 . или 9,3 кг/час товарного Аквааурата-30. Цена Аквааурат-30: 150 руб/кг., что повысит добавочную стоимость ещё на 10,6 руб/м³.

Флокулянта АкваФлок - 2450 Анионный. Расчетная концентрация 0,25%. Принимаемая доза 0,3 мл/л.. Тогда на общий расход в 131 000 л/час получаем 0,39 м³/час или 0,975 кг/час сухого продукта. Добавочная стоимость по флокулянту тогда составит 2,4 руб/м³.

Расчет себестоимости очистки одного кубического метра воды будет складываться из следующий элементов: электроэнергия: 2,92 руб/м³, гипохлорит натрия: 0,4 руб/м³, коагулянт: 10,6 руб/м³, Флокулянт 2,4 руб./м³. Итого общая себестоимость очистки составит: 16,32 руб./м³.

Выводы по главе 3:

Исходя из технических преимуществ, экономической целесообразности и имеющегося опыта в качестве основной схемы очистки была принята следующая: К—>УУФ—>Хл. При чём в качестве оборудования использованы модули полной заводской готовности. В результате чего удастся достичь подготовки питьевой воды удовлетворяющей всем необходимым требованиям с минимальными капитальными затратами, временем реализации и себестоимости воды для потребителей.

Заключение

Проведенные исследования организации водоснабжения посёлка Ильинка Икрянинского района Астраханской области показали, что она не совершенна. Население получает воду на прямую из реки Волга без всякой предварительной подготовки и очистки. Что представляет значительную опасность как в бактериологическом, так и в химическом плане и не соответствует никаким требованиям, в том числе СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

Организация водоснабжения из подземных источников в Астраханской области не представляется возможным из-за его чрезвычайно высокой минерализации, порядка 1500-15000 мг/дм³. В связи с чем единственным возможным источником питьевой воды может служить река Вола, не смотря на её сильное антропогенное загрязнение. Что в свою очередь ставит перед нами цель довести показатели исходной воды до питьевого качества с наименьшими затратами.

Для достижения данной цели необходимо руководствоваться существующими нормативными и законодательными документами. Выбор технологической схемы производился при помощи обязательного справочника, выпущенного под программу «Чистая вода». Применяемый справочник: «Справочник перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных организациями оборонно-промышленного комплекса и учетом оценки риска здоровью населения». Согласно данного справочника вода в реке Волга в месте водозабора относится к цветным маломутным водам.

Исходя из технических преимуществ, экономической целесообразности и имеющегося опыта в качестве основной схемы очистки была принята следующая: предварительный ввод гипохлорита натрия, микрофильтрация, коагуляция, флокуляция, ультрафильтрация, финальный ввод гипохлорита

натрия. Данная схема позволяет использовать совместные преимущества новейших систем очистки, таких как микрофильтрация и ультрафильтрация с классическим способом обеззараживания с пролонгированным действием — хлорированием, которое в данном случае реализовано на основе приготовления гипохлорита натрия на установке электролиза из соли непосредственно на объекте.

При чём в качестве оборудования использованы модули полной заводской готовности. В результате чего удаётся достичь подготовки питьевой воды удовлетворяющей всем необходимым требованиям с минимальными капитальными затратами, временем реализации и себестоимости воды для потребителей.

В результате мы получаем возможность за достаточно короткий период времени, при условии готовности заводских модулей, получить с нуля комплексную систему очистки воды для населённого пункта полностью удовлетворяющую нормативным требованиям. При этом с минимальной себестоимостью очистки воды, не превышающей 16,32 руб./м³.

Список используемых источников

- 1) Бессонова, П. С. Современные методы обеззараживания воды / П. С. Бессонова // Инновационное развитие агропромышленного комплекса для обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Тюмень, 20 декабря 2020 года. Том Часть 2. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2020. – С. 28-33. – EDN JOLFKE.
- 2) Богданов Н.И. Биотехнологические методы решения проблемы «цветения» водоемов южных регионов России //Тез. Докл. 7-го межд. конгресса «Вода, экология и технология». Материалы конгресса. М. 2006. С. 20—21.
- 3) Веприкова, Я. Р. Методы обеззараживания воды / Я. Р. Веприкова // Безопасность городской среды : материалы межрегиональной (с международным участием) научно-практической конференции, Омск, 18–20 ноября 2015 года. – Омск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Омский государственный институт сервиса, 2016. – С. 36-37. – EDN YFXWFZ.
- 4) Веприкова, Я. Р. Методы обеззараживания воды / Я. Р. Веприкова // Безопасность городской среды : материалы межрегиональной (с международным участием) научно-практической конференции, Омск, 18–20 ноября 2015 года. – Омск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Омский государственный институт сервиса, 2016. – С. 36-37. – EDN YFXWFZ.
- 5) Ганеев, А. А. Повышение жаропрочности литейных никелевых сплавов с использованием методов активного и пассивного экспериментов : специальность 05.16.04 "Литейное производство" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Ганеев Альмир Амирович. – Екатеринбург, 2000. – 42 с. – EDN ZKMPUR.

- 6) Гигиеническая оценка качества воды источников водоснабжения в регионах Астраханской области / З. М. Саташева, Д. В. Жмыхов, И. А. Кудряшева [и др.] // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2023. – Т. 17, № 3. – С. 68-72. – DOI 10.24412/2075-4094-2023-3-2-1. – EDN ZRKGJO.
- 7) Гидрогеология СССР. Т. 9. Северный Кавказ. М., 1968.
- 8) ГОСТ 13273-88 Воды минеральные, питьевые, лечебные и лечебно-столовые. М., 1988
- 9) Деионизация воды (deionization): Уменьшение содержания ионов в воде.[ГОСТ 30813-2002, статья 19]
- 10) Дехлорирование воды (dechlorination): Уменьшение содержания остаточного хлора в воде.[ГОСТ 30813-2002, статья 22]
- 11) Дзиминскас, Ч. А. Консолидация современных технологий при подготовке питьевой воды на Слудинской водопроводной станции г. Нижний Новгород / Ч. А. Дзиминскас, С. В. Костюченко // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2011. – № 3(39). – С. 52-60. – EDN NXVDLX.
- 12) Дистилляция воды (distillation): Процесс выпаривания и конденсации, используемый для получения воды высокой степени чистоты.[ГОСТ 30813-2002, статья 18]
- 13) Информация с официального сайта компании ООО «Самитек» <https://samitech.ru/> (Дата обращения 03.04.2024)
- 14) Источник питьевого водоснабжения: Водный объект (или его часть), который содержит воду, отвечающую установленным гигиеническим нормативам для источников питьевого водоснабжения, и используется или может быть использован для забора воды в системы питьевого водоснабжения.[ГОСТ 30813-2002, статья 9]
- 15) К проблеме питьевого водоснабжения Аридных районов Южного федерального округа / В.Н. Литвин, Г.Г. Матишов, Н.Н. Погребнов, В.В.

Трощенко, И.А. Богуш // Вестн. Южного научного центра РАН. 2008. Т. 4. С. 28–33.

16) Качество и безопасность воды: Совокупность показателей, характеризующих физические, химические, бактериологические, органолептические и другие свойства воды, в том числе ее температуру.[ГОСТ 33937-2016]

17) Кинетика процесса коагуляции при реагентной обработке природной воды в присутствии контактных сред / В. Г. Камбург, М. А. Сафронов, И. А. Лушкин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2014. – № 12(672). – С. 40-46. – EDN TMLZRZ.

18) Костюченко, С. В. Современное состояние и перспективы УФ-технологии / С. В. Костюченко // Водоснабжение и санитарная техника. – 2008. – № 4. – С. 2-6. – EDN IJPSKF.

19) Кружилин И.П., Мелихов В.В., Пляснов А.К., Акимов А.М., Рабышко Э.В. Некоторые вопросы санитарной охраны и комплексного использования водоемов Средней Волги //Сб. науч. тр. МНИИГ им. Ф.Ф. Эрисмана «Гигиеническое значение факторов малой интенсивности в производства и населенных мест». М. 1980. Вып. XV. С. 24—30.

20) Кузубова, Л. И. Химические методы подготовки воды (хлорирование, озонирование, фторирование) / Л. И. Кузубова, В. Н. Кобрина // Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. – 1996. – № 42. – С. 1-132. – EDN HKZOHV.

21) Литвин В.Н., Богуш И.А. Потенциальные ресурсы подземных вод Терско-Кумского бассейна и возможности их использования для водоснабжения юга России // Проблемы геологии и освоения недр юга России: материалы междунар. конф. (г. Ростов-на-Дону, 5–8 сентября 2006 г.). Ростов н/Д., 2006. С. 268–269.

22) М. Мулдер. Введение в мембранную технологию. – Москва. Изд-во Мир, 1999. – 513 с., ил.

23) Наумова, О. В. Методы очистки воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения / О. В. Наумова // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений. – 2022. – Т. 1, № 1(47). – С. 30-34. – EDN UECOMN.

24) О внесении изменений в постановление Правительства Астраханской области от 31.07.2019 N 277-П

25) Орлов, А. А. Гигиенические вопросы использования Волгоградского водохранилища для сельского водоснабжения / А. А. Орлов // Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО. – 2010. – № 2(203). – С. 9-11. – EDN MUJJTR.

26) Орлов, А. А. Гигиенические вопросы использования Волгоградского водохранилища для сельского водоснабжения / А. А. Орлов // Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО. – 2010. – № 2(203). – С. 9-11. – EDN MUJJTR.

27) Очистка воды с применением способа концентрированного коагулирования / И. А. Лушкин, М. А. Сафронов, А. С. Кочергин, А. В. Демков // Градостроительство, реконструкция и инженерное обеспечение устойчивого развития городов Поволжья : сборник трудов IV Всероссийской научно-практической конференции (заочной), Тольятти, 16–18 сентября 2015 года. – Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2015. – С. 133-137. – EDN UKAGOT.

28) Парилова, О. Ф. Ультрафильтрация в водоподготовке: технические, технологические и экономические преимущества и недостатки / О. Ф. Парилова, И. Г. Устимова // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2016. – № 1. – С. 32-39. – EDN XRHNPJ.

29) Парилова, О. Ф. Ультрафильтрация в водоподготовке: технические, технологические и экономические преимущества и недостатки / О. Ф. Парилова, И. Г. Устимова // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. – 2016. – № 1. – С. 32-39. – EDN XRHNPJ.

30) Проблемы и перспективы развития водного хозяйства малых городов: Тез. докл. междунар. НПК 17 – 20 май 2006/Под общ. ред. Ю.П. Седлухо. – Витебск. 2006 – С. 5 – 7.

31) Протокол совещания по вопросу утверждения Справочника перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных организациями оборонно-промышленного комплекса и учётом оценки риска здоровью населения [Электронный ресурс]: URL: <https://raww.ru/assets/modckeditor/modddocument/1141/protokol-soveshhaniya.pdf> (дата обращения: 13.12.20).

32) Севастьянов, В. В. Флокулянты. Виды и принцип действия флокулянтов / В. В. Севастьянов, В. Д. Самарцев // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : Материалы IX Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей, Волгоград, 18–23 апреля 2022 года. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2022. – С. 215-216. – EDN GWBBZU.

33) Совершенствование обеззараживания питьевой воды г. Сочи Краснодарского края / Т. П. Досманов, И. А. Схаплок, И. А. Карданов, А. К. Семерджян // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : Сборник статей по материалам 78-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2022 год. В 3-х частях, Краснодар, 01–31 марта 2023 года / Отв. за выпуск А.Г. Коцаев. Том Часть 1. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2023. – С. 587-589. – EDN YIGWNO.

34) Соколова, Н. Ф. Средства и способы обеззараживания воды (аналитический обзор) / Н. Ф. Соколова // Медицинский алфавит. – 2013. – Т. 1, № 5. – С. 44-54. – EDN RLOEDP.

35) СП 131.13330.2020 Строительная климатология СНиП 23-01-99* (с Изменениями N 1, 2) Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2021

36) Справочник перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных организациями оборонно-промышленного комплекса и учётом оценки риска здоровью населения [Электронный ресурс]: URL: <https://raww.ru/assets/modckeditor/default/0/spravochnik-chistaya-voda-new.pdf> (дата обращения: 13.12.20).

37) Стребкова, Ю. И. Обеззараживание воды: Плюсы и Минусы методов / Ю. И. Стребкова // Перспективы развития науки в современном мире : Сборник статей по материалам VI международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Уфа, 09 марта 2018 года. Том Часть 1. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью Дендра, 2018. – С. 124-127. – EDN XWFZML.

38) Ткачев, А. А. Особенности технологии УФ-обеззараживания воды / А. А. Ткачев, В. М. Пискарева // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2014. – № 11(155). – С. 34-36. – EDN TWQWDH.

39) Ультрафильтрация, [Электронный ресурс]: URL: <https://prom-water.ru/catalog/vodopodgotovka/ustanovki-ultrafiltracii/> (дата обращения: 29.12.20).

40) Федеральный проект «Чистая вода» [Электронный ресурс]: URL: https://xn--80aarpemcchfmo7a3c9ehj.xn--plai/projects/zhile-i-gorodskaya-sreda/chistaya_voda/ (дата обращения: 13.12.20).

41) Хлорирование как основной метод обеззараживания питьевой воды / К. Р. Мифтахова, О. Г. Пьянкова, Л. В. Рудакова, И. С. Глушанкова // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. – 2015. – Т. 1. – С. 233-242. – EDN VUZAFN.

42) Централизованная система питьевого водоснабжения: Комплекс устройств, сооружений и трубопроводов, предназначенных для забора, подготовки (или без нее), хранения, подачи к местам потребления питьевой воды и открытый для общего пользования. [ГОСТ 30813-2002, статья 30]

- 43) Щербаков, В. И. Проблемы систем водоснабжения малых городов и сельских поселений / В. И. Щербаков, Е. В. Дроздов, В. В. Помогаева // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. – 2013. – № 1. – С. 38-42. – EDN RBXVON.
- 44) Deep learning in wastewater treatment: a critical review / M. Alvi, D. Batstone, Ch. K. Mbamba [et al.] // Water Research. – 2023. – Vol. 245. – P. 120518. – DOI 10.1016/j.watres.2023.120518. – EDN CMTFER.
- 45) Effectiveness of cloth media filters on mitigating membrane fouling in anaerobic filter membrane bioreactors / Zh. Jiang, Zh. Xia, Y. Li [et al.] // Science of the Total Environment. – 2024. – Vol. 947. – P. 174600. – DOI 10.1016/j.scitotenv.2024.174600. – EDN FSLMMY.
- 46) Multi-Water Source Joint Scheduling Model Using a Refined Water Supply Network: Case Study of Tianjin. / Zhang, S.; Yang, J.; Wan, Z.; Yi, Y. // Water. – 2018, 10, 1580.
- 47) Purification of pickling wastewater from the steel industry using membrane filters: Performance and membrane fouling / J. Zhang, G. Chen, Ya. Ma [et al.] // Environmental Engineering Research. – 2022. – Vol. 27, No. 1. – P. 200486-0. – DOI 10.4491/eer.2020.486. – EDN VVDMHR.
- 48) Sanaei, P. Flow and fouling in membrane filters: Effects of membrane morphology / P. Sanaei, L. J. Cummings // Journal of Fluid Mechanics. – 2017. – Vol. 818. – P. 744-771. – DOI 10.1017/jfm.2017.102. – EDN YYKHVD.