

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

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Кафедра «Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение»

(наименование кафедры)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки)

Водоснабжение городов и промышленных предприятий

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему Разработка водоподготовки городов с применением
мембранных технологий

Студент

Е.Е. Немчинова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

И.А. Лушкин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Консультант

В.В. Петрова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы

к.т.н., доцент, И.А. Лушкин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« » 20 г.

Допустить к защите

И.о. заведующего кафедрой

к.т.н., доцент, И.А. Лушкин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« » 20 г.

Тольятти 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1 Анализ проблем существующих систем водоподготовки	6
1.1 Особенности качества воды из подземных источников	6
1.2 Особенности качества воды из поверхностных источников	10
1.3 Возможные проблемы водоподготовки городов	13
1.4 Примеры внедрения мембранных технологий в водоподготовке городов	18
1.5 Выводы по главе 1	23
Глава 2 Технологические решения водоподготовки городов с помощью мембранных технологий.....	24
2.1 Основные принципы водоподготовки с использованием мембран	24
2.2 Типы мембранных элементов и классификация мембранных установок.	34
2.3 Возможные технологические решения водоподготовки из поверхностного источника	41
2.4 Возможные технологические решения водоподготовки из подземного источника	44
2.5 Выводы по главе 2.....	46
Глава 3 Разработка технологических схем водоподготовки на примере города Тольятти	47
3.1 Описание современного состояния питьевого водоснабжения Центрального и Комсомольского районов города Тольятти.....	47
3.2 Разработка возможного технологического решения водоподготовки из подземного источника	55
3.3 Описание современного состояния питьевого водоснабжения Автозаводского района города Тольятти	59
3.4 Разработка возможного технологического решения водоподготовки из поверхностного источника	63
3.5 Выводы по главе 3	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	68
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	70

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, проблема обеспечения населения качественной питьевой воды имеет важное значение не только для исследователей различных областей науки и специалистов по водоподготовке, но и для непосредственных потребителей. В качестве источников водоснабжения в Центральном и Комсомольском районах города Тольятти используются водозаборы подземных вод (скважины), расположенные в центральной части тольяттинского месторождения. Каждый из водозаборов включает в себя группу водозаборных скважин, накопительные резервуары чистой воды (РЧВ) и насосные станции II подъема. Вода забирается с водоносного горизонта скважины погружными насосами и поступают в резервуары чистой воды. Очистка воды не используется ни на одном водозаборе, так как качество добываемой воды из подземных источников соответствует СанПиН [2]. Причем не может остаться незамеченным тот факт, что гигиенический норматив содержания железа и марганца в воде водозаборных сооружений и распределительной сети системы хозяйственно-питьевого водоснабжения для Центрального и Комсомольского районов города Тольятти на содержание в питьевой воде железа (Fe, суммарно) намеренно увеличен с 0,3 до 0,7 мг/дм³ и марганца (Mn, суммарно) с 0,1 до 0,5 (мг/дм³). Таким образом, документально питьевая вода соответствует нормам, однако на некоторых водозаборах максимальные показатели качества воды по содержанию железа и марганца приближаются к предельно-допустимым.

Максимальные значения показателей воды по мутности, содержанию железа и марганца приближаются, а в некоторых случаях достигают предельно допустимых значений на водозаборах «Комсомольский», «Портовый», «Соцгородской», «Прибрежный».

Жителям Автозаводского района города Тольятти вода на хозяйственно-питьевые нужды поступает из поверхностного источника –

Куйбышевского водохранилища реки Волга. Для очистки природной воды, используемой для хозяйственно-питьевых целей населения применяются традиционные методы водоподготовки. Качество исходной воды в реке Волга постоянно ухудшается. Это связано с антропогенным воздействием на водоисточник и повышением требований к питьевой воде. Учитывая эти причины, традиционные методы очистки воды не могут обеспечить получение воды необходимого качества, соответствующего требованиям СанПиН [2], а сложные технологические схемы удорожают и усложняют эксплуатацию сооружений.

Такие разные описанные проблемы в городе Тольятти могут быть решены при помощи внедрения мембранных технологий. Это важный аргумент в пользу проведения исследований для определения эффективности использования мембранных технологий в питьевом водоснабжении.

Диссертационная работа выполнена на кафедре Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение в Тольяттинском Государственном Университете в период с 2017-2019 гг.

Целью настоящей работы является разработка технологических схем водоподготовки из поверхностных и подземных источников водоснабжения с использованием мембранных технологий.

Для достижения указанной цели выделены задачи исследований:

1. Изучение конструктивных особенностей мембран и свойств материалов для их изготовления;
2. Анализ существующих мембранных технологий;
3. Разработка технологических схем водоподготовки из поверхностного и подземного источников с использованием мембранных технологий.

Научная новизна заключается:

- в выполнении анализа существующих методов очистки воды, а также состояния и проблем холодного водоснабжения;

– в описании применения методов ультра- и нанофильтрации обработки воды и оценка их эффективности;

– в предложенных собственных технологических схемах обработки воды.

Практическая значимость заключается:

В оценке эффективности ультра- и нанофильтрации при обработке поверхностных и подземных источников водоснабжения.

На защиту выносятся:

– результаты анализа особенностей качества воды из поверхностных и подземных водоисточников;

– результаты современного состояния и проблем водоснабжения Центрального, Комсомольского и Автозаводского районов города Тольятти;

– описание применения мембранных технологий в водоподготовке Центрального, Комсомольского и Автозаводского районов города Тольятти.

Апробация работы. Основные положения работы были доложены в следующих публикациях.

По теме диссертации опубликовано 2 статьи.

Структура диссертации:

Диссертация включает в себя: введение, три главы с подразделами, заключение, список используемых источников из 50 наименований. Объем диссертации состоит из 75 страниц машинописного текста, включая 8 таблиц, 24 рисунка.

Глава 1 Анализ проблем существующих систем

ВОДОПОДГОТОВКИ

Питьевая вода (предназначенная для питья, приготовления пищи и других хозяйственно-бытовых нужд населения, а также для производства пищевой продукции) должна быть безопасна в эпидемиологическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства.

Качество и безопасность воды (далее – качество воды) – это совокупность показателей, характеризующих физические, химические, бактериологические, органолептические и другие свойства воды, в том числе ее температуру.

1.1 Особенности качества воды из подземных источников

Подземные воды образуются природным путем в результате просачивания в землю атмосферных и поверхностных вод – это воды, находящиеся в верхних слоях земной коры. Подземные водные объекты находятся в активном взаимодействии с атмосферой и поверхностными водными объектами, участвуют в круговороте воды на земном шаре. На рисунке 1.1 показано расположение подземных вод в земной коре.



Рисунок 1.1 – Расположение подземных вод в земной коре

По качественному составу подземные воды, как правило, не содержат взвешенных веществ (т.е. весьма прозрачны) и бесцветны.

Артезианские воды по своему природному происхождению сверху перекрыты водонепроницаемыми породами. Таким образом, они оказываются защищены от проникновения в них с поверхности земли загрязненных стоков. В связи с этим они обладают высокими санитарными качествами. Такие же высокие санитарные качества часто присущи родниковым водам.

Однако подземным водам присущи не только положительные качества. Подземные воды зачастую обладают сильной минерализацией, имея в своем составе соли железа, марганца, кальция, магния. В зависимости от характера

растворенных в них солей они могут обладать теми или иными отрицательными свойствами:

- наличие неприятного привкуса;
- содержание вредных для организма человека веществ;
- повышенная жесткость.

Если сравнить показатели качества воды природных источников с основными требованиями к качеству воды, то можно сделать вывод о том, что для водоснабжения населенных пунктов наиболее подходящим источником являются подземные воды в случае их слабой минерализации (особенно артезианские и родниковые воды).

Еще сравнительно недавно подземные водоисточники считались наиболее безопасными, ввиду их надежной защищенности. Однако, сейчас эти представления требуют существенного переосмотрения и корректировки, поскольку непрекращающееся и прогрессирующее загрязнение окружающей среды повлекло за собой ухудшение качества подземных вод, используемых для питьевых целей. Этот факт заставляет по-новому оценивать их санитарную надежность.

Также известно, что в России имеются значительные по площади территории, в водоносных горизонтах которых подземные воды по одному или даже нескольким показателям являются некондиционными. Однако, такие воды все же используются в хозяйственно-питьевом водоснабжении после частичной очистки или даже без нее.

Существуют две основные причины ухудшения качества подземных вод:

- истощение ресурсов;
- загрязнение.

Стоит отметить ряд факторов, влияющих на ухудшение качества подземных вод посредством загрязнения. К ним можно отнести:

– проникновение загрязненных атмосферных осадков, поверхностных или некондиционных вод с неиспользуемого горизонта непосредственно в само водозаборное сооружение - скважину. Во-первых, скважины должны располагаться в благоприятных санитарных условиях. Во-вторых, требуется выполнение специальных мероприятий по правильному оборудованию скважин: для предупреждения затопления устья скважины (шахты) грунтовыми или паводковыми. Конструкция оголовка скважины должна быть герметична, для недопущения проникновения поверхностной воды и загрязнений в межтрубное и затрубное пространство.

– загрязнение синтетическими органическими веществами. Такие вещества входят в состав многих химических веществ. Широко применяются в промышленности, сельском хозяйстве и быту. (Присутствие синтетической органики даже в очень малых количествах делает воду непригодной для питья.

– фильтрация в них загрязненных поверхностных вод. Здесь также происходит отжатие куполов соленых вод из-под русел рек в сторону их бортов, что может привести к подосу солоноватых вод к расположенным вблизи водохранилищ эксплуатационным скважинам.

Из приведенных выше материалов следует, что в пределах урбанизированных территорий подземные воды подвергаются значительным техногенным воздействиям. Спектр загрязняющих компонентов здесь исключительно разнообразен. Ухудшение качественного состава подземных вод зафиксировано также по многим одиночным скважинам и колодцам, прежде всего, в сельских населенных пунктах, где оно связано в основном с неконтролируемым сбросом хозяйственно - бытовых стоков.

«По данным на 1 января 2015 г. за год из подземных водных объектов Самарской области добыто и извлечено 460,4 тыс. м³/сут, в том числе на месторождениях – 281 тыс. м³/сут. Степень освоения запасов подземных вод составляет 9,89%.

1.2 Особенности качества воды из поверхностных источников

В целом запасы пресной воды в стране составляют 539 км³, в том числе в озерах – 190 км³, водохранилищах – 95 км³, стоках рек – 101 км³, подземных водах – 95 км³, ледниках – 58 км³.

Поверхностные водоемы (открытые водоемы) делятся на:

- естественные (озера, пруды, реки);
- искусственные (каналы, водохранилища).

Образование поверхностных вод происходит в основном за счет атмосферных, ливневых, талых вод, поверхностного стока, за счет питания подземными водами.

Концентрации загрязнений в поверхностных водах (рек, озер, водохранилищ) зависят от многих факторов и варьируются в весьма широких пределах. Доминирующим фактором является хозяйственная деятельность человека. В результате этой деятельности и атмосферные осадки и поверхностные стоки оказываются загрязненными множеством различных веществ и соединений, включая и органические.

Что же такое загрязнение воды и чем оно опасно? Загрязнение воды – изменение качественных характеристик и состояния воды путем поступления в воду вредных веществ, при котором происходит сокращение либо невозможность ее дальнейшего употребления. Со временем загрязняющие вещества могут либо изменяться в водной среде (например, отходы целлюлозно-бумажных перерабатывающих предприятий), либо оставаться в ней неизменными (неактивные органические вещества типа пестицидов, и неорганические соли, например, сульфат натрия- краситель в текстильной промышленности).

Известно, что загрязнение водоемов (рек, озер, водохранилищ) происходит как естественным, так и искусственным путем. К естественным загрязнениям относятся загрязнения, поступающие с дождевыми водами,

смывающиеся с берегов, а также образующиеся в процессе жизнедеятельности и отмирания животных и растительных организмов, живущих в водоемах.

Основной причиной искусственного (антропогенного) загрязнения водоемов является сброс в них недостаточно очищенных сточных вод промышленных предприятий и населенных пунктов, как малых и средних, так и городов. В результате непрекращающегося антропогенного воздействия водоемы могут стать более непригодными для питьевых целей. Загрязнения, поступающие в водоем, могут оказывать на него различное влияние в зависимости от состава этих загрязнений, их концентрации и количества (объема):

- изменяют свойства и состав воды;
- уменьшают в воде содержание растворенного кислорода;
- изменяют число и виды бактерий, вносимых в водоем вместе со сточными водами.

«Характерными качествами речной воды являются относительно большая мутность (особенно в период паводков), высокое содержание органических веществ, бактерий, часто значительная цветность. Наряду с этим речная вода характеризуется обычно относительно малым содержанием минеральных солей и, в частности, относительно небольшой жесткостью. Вода озер обычно отличается весьма малым содержанием взвешенных веществ (т.е. малой мутностью или, иначе, большой прозрачностью), кроме прибрежной зоны, где мутность воды увеличивается в результате волнения.

Степень минерализации озерной воды весьма различна. Поверхностные источники характеризуются значительными колебаниями качества воды и количества загрязнений в отдельные периоды года. Качество воды рек и озер в большой степени зависит от интенсивности выпадения атмосферных осадков, таяния снегов, а также от загрязнения ее

поверхностными стоками и сточными водами городов и промышленных предприятий.

Сезонные колебания качества речной воды нередко бывают весьма резкими. В период паводка, как указывалось, сильно возрастает мутность и бактериальная загрязненность воды, но обычно снижается ее жесткость».

Нефть и производные от нее нефтепродукты является самым часто встречающимся загрязнителем воды. «Нефть может попадать в воду в результате естественных ее выходов в районах залегания. Токсичные синтетические вещества, которые применяются в промышленности, на транспорте, в коммунально-бытовом хозяйстве отрицательно воздействуют на водную среду, образуя в водоемах слой пены» [14]. Помимо увеличения загрязненности, сильное распространение получила эвтрофикация водоемов.

Победителем среди предприятий, больше других загрязняющих гидросферу, являются сельскохозяйственные предприятия. Особенно сильные загрязнения образуются в результате работы крупных животноводческих комплексов, а также и агропромышленных комплексов по выращиванию и переработке сельскохозяйственной продукции. Причиной сильных загрязнений является не само устройство животноводческих и агропромышленных комплексов, а желание производителей с каждым годом повышать продуктивность сельского хозяйства путем нерационального использования средств защиты растений и животных, удобрений, добавок для роста. Из числа других загрязняющих веществ необходимо назвать тяжелые металлы (свинец, кадмий), радиоактивные элементы, ядохимикаты (пестициды и другие удобрения), поступающие с сельскохозяйственных полей, а также стоки от животноводческих ферм, не подвергающиеся очистке.

«Наибольшую опасность для водной среды из металлов представляют ртуть, свинец и их соединения. Так же с сельскохозяйственных территорий

без очистки в водоемы попадают пестициды, фосфор, калий, аммонийный и нитратный азот, они содержат высокую концентрацию органических веществ и биогенных элементов.

Виды загрязнителей воды в различных отраслях промышленности, таких как: добыча нефти и газа, целлюлозно-бумажная промышленность, металлургия, химическая промышленность, угольная и пищевая промышленность довольно разнообразны» [14]. Это и нефтепродукты, и синтетические поверхностно-активные вещества, и фенолы, и тяжелые металлы, неорганические и органические вещества и многие другие.

1.3 Возможные проблемы водоподготовки городов

Существующие схемы очистки воды не всегда оказываются способны подготовить питьевую воду, которая бы удовлетворяла требованиям СанПиН [2] по всем показателям.

И в малонаселенных, и в крупных городах качество питьевой воды оставляет желать лучшего. Невозможность качественной очистки воды связана с ограниченными возможностями очистных сооружений. Многие из них строились массово еще в далеких 1950-80-х гг. В состав всех станций водоподготовки входят песчаные зернистые фильтры, которые часто не в состоянии задержать очень мелкие частички (коллоиды), болезнетворные бактерии и вирусы. А ведь именно они, оседая на фильтре, живут, развиваются, представляя тем самым бактериальную угрозу для населения.

Основной причиной того, что классические схемы водоподготовки не справляются, является постоянно изменяющееся и ухудшающееся качество воды в водоисточниках. Этому способствует:

- продолжающиеся антропогенное и техногенное загрязнение поверхностных и подземных вод,
- факторы природного характера (повышенное содержание в воде водоносных горизонтов соединений железа и марганца),

– отсутствие или ненадлежащее состояние зон санитарной охраны водоисточников.

Для водоподготовки из поверхностного источника существуют следующие неудобства:

– большое количество используемых реагентов, которое в зависимости от производительности станции водоподготовки может достигать от 1-2 тонн до нескольких сотен тонн реагентов в год. Это требует определенных площадей для хранения, а также соблюдения правил техники безопасности при транспортировке, хранении и эксплуатации химических веществ. Не маловажный фактор – их высокая стоимость;

– влияние времени года на качество исходной воды, а следовательно и на количество реагентов;

– возможность цветения поверхностных источников, а вместе с ним и изменение качества воды в водоисточнике.

Повторюсь, что использование старых технологических решений водоподготовки в условиях ухудшения качества воды не способствует обеспечению потребителей качественной питьевой водой. В большинстве случаев требуется доочистка от железа, солей кальция и магния.

«Применяя метод ультрафильтрации на завершающем этапе очистки можно достичь стопроцентного удаления микробиологических загрязнений и наиболее полно (по сравнению с фильтрованием через гранулированный активный уголь) удалить растворенные органические соединения, жестко регламентируемые требованиями к качеству питьевой воды» [29]. Роль ультрафильтрации заключается в глубоком удалении взвешенных частиц и в стерилизации воды. Следовательно, при применении ультрафильтрации можно добиться не только высокого качества питьевой воды по содержанию железа и марганца, которое сохраняется даже во время пиковых повышений мутности исходной воды, но отмены использования реагентов для очистки

воды (коагулянтов и флокулянтов) и сокращения расхода дезинфицирующих реагентов (хлора).

Кроме того, за счет пор размером 0,01–0,10 микрон, ультрафильтрационные мембраны позволяют задерживать бактерии и вирусы, что является несомненным плюсом ультрафильтрации.

Стоит сказать и о качестве воды в трубопроводах как о проблеме водоподготовки.

Протяженность водопроводных сетей в городе Тольятти превышает 1500 километров. Причем большинство из них введены в эксплуатацию с 1950-х годов, т.е. служат уже более 60 лет. Это говорит о том, что они полностью выработали срок, гарантирующий их надежную эксплуатацию. Для чугунных и стальных трубопроводов он составляет 50 лет. До сих пор эксплуатируются трубопроводы из асбестоцемента. Износ водопроводных сетей, появление так называемых скрытых утечек, является причиной потери воды при транспортировке. Фактический износ системы водоснабжения составляет более 85%.

Вспомним об обитающих водорослях в трубопроводах. «Процесс обрастания начинается с появления на поверхности, омываемой водой, слизистой пленки. За десятки лет работы на внутренних стенках труб развиваются колонии водорослей. Это водоросли, способные жить без света» [14]. Они так или иначе устойчивы к хлорированной воде. Каждый пользователь водопровода при желании может обнаружить эти водоросли в своей внутренней системе водоснабжения.

Превышение показателя «Перманганатная окисляемость» говорит об избытке органических веществ в воде. Показатель не показывает, какие именно вещества присутствуют в воде, а показывает, сколько их.

Для удаления из воды водорослей и других микроорганизмов вода подвергается хлорированию на очистных сооружениях водоподготовки. В некоторых городах для этих же целей применяют фтор (вместо хлора).

Водоросли будучи органикой являются отличным источником пищи для бактерий — при том, что они смогут выжить в хлорированной воде. Чем старше коммуникации в доме, тем больший слой слизи находится на внутренней поверхности труб. И тем больше территорий для бактерий, желающих укрыться от дезинфекции. Обитающие в темноте без доступа кислорода бактерии обычно являются гнилостными.

Этот вид бактерий разлагает слой водорослей с выделением неприятного запаха. И в данном случае причина неприятного затхлого запаха воды — бактерии, находящиеся в слое водорослей. Гнилостные бактерии в своей жизнедеятельности выделяют молекулы этого запаха, что также является причиной повышения показателя перманганатной окисляемости.

Проведенные исследования [5] разъясняют, что подавляющая часть обрастания внутренней поверхности трубопроводов образована бактериями Зооглея (*Zoogloea*, от греч. *Zoon*— животное, *ngloios* – липкое вещество) и Сферотилус (*Sphaerotilus natans*).

Факторы, влияющие на отложения в трубопроводах: свойства транспортируемых вод, условия эксплуатации трубопроводов, материал самих труб и продолжительность их службы, скорость движения воды, температура воды. «И несмотря на то, что в большинстве систем городского водоснабжения транспортируемая по трубопроводам питьевая вода с низким содержанием взвешенных веществ, все-таки образование минеральной взвеси встречается. Проводимые ранее эксперименты по изучению химического состава осадков в водопроводных трубах показали, что во всех случаях в осадках преобладают какие-либо определенные химические вещества: окислы железа, органические соединения, кальций» [6].

В результате обследований ряда действующих систем промышленного и коммунального водоснабжения, основными причинами, вызывающими отложения, являются:

- агрессивное действие транспортируемой воды на внутреннюю поверхность трубопроводов (преимущественно из стали) (выпадение карбоната кальция);
- биологическое обрастание;
- выпадение взвешенных веществ.

Весьма печальной предстает картина негативных последствий «зарастания трубопроводов:

- нарушение нормального режима работы водоводов и запорно-регулирующей арматуры из-за изменения коэффициента шероховатости труб;
- увеличение мощности насосов из-за зарастания живого сечения и преодоления возросшего гидравлического сопротивления;
- ухудшение качества транспортируемой воды (появление цветности, мутности, неприятного запаха и привкуса);
- снижение санитарно-гигиенического эффекта обеззараживания, в частности, хлорирования: остаточный хлор исчезает в течение двух часов из-за высокой пористости и адсорбционной способности отложений» [14].

Учитывая, что капитальный ремонт трубопроводов (замена – удовольствие дорогостоящее, выбор участков для проведения капитальных ремонтов производится тщательно. Учитываются показатели удельной аварийности, срок ввода трубопровода в эксплуатацию и наличие учреждений особого назначения (больницы, поликлиники, школы, детские сады, учреждения культуры). Но даже с таким всесторонним подходом при выборе особо «опасных» участков обеспечить бесперебойную работу всех водопроводных сетей невозможно при сохранении финансирования на текущем уровне. Даже при наличии дополнительных финансовых средств

реконструкция всех изношенных трубопроводов в городе Тольятти займет не один десяток лет.

1.4 Примеры внедрения мембранных технологий в водоподготовке городов

Первый пример, на котором хотелось бы обратить внимание – усовершенствование технологии подготовки вод из поверхностного источника, а именно: установка ультрафильтрации в существующую схему водоподготовки на Мосводоканале городе Москва. «В декабре 2006 года в городе Москва после реконструкции была пущена в работу Юго-Западная водопроводная станция (ЮЗВС) производительностью 250,00 тыс.м³/сут.

Уникальность этой станции заключается в применении практически всех современных способов очистки воды, включая мембранное фильтрование, которое в таких масштабах при подготовке питьевой воды в Европе» [7], а особенно в России, используется впервые.

Станция является автономным блоком, встроенным в существующую Западную станцию водоподготовки (ЗСВ): подача исходной воды реки Москвы на очистку и питьевой воды ЮЗВС в городскую сеть осуществляется существующими насосными станциями и водоводами.

«Обновленная технологическая схема ЮЗВС включает следующие этапы:

- первичное озонирование,
- коагулирование,
- корректировка рН,
- флокулирование,
- отстаивание,
- вторичное озонирование,
- обработка порошкообразным активированным углем,
- фильтрование (антрацит-песок),

- вторичная обработка порошкообразным активированным углем,
- ультрафильтрация,
- хлораммонизация.

При необходимости производится предварительное хлорирование и введение перманганата калия» [7].

В течение 2007 года в процессе очистки воды на ЮЗВС были задействованы все стадии очистки, за исключением предварительного хлорирования и обработки перманганатом калия.

Наиболее сложным, требующим особого внимания, процессом является ультрафильтрация. Степень надежности и эффективность ее работы зависит от поступающей на эту стадию очистки качества воды. На ЮЗВС используются ультрафильтрационные мембраны, работающие под давлением, с порогом отсеивания 0,01 мкм. Общее количество модулей - 1344 единицы, площадь каждого модуля – 125,0 м².

Комплексная технологическая схема ЮЗВС позволяет получить принципиально лучшее качество питьевой воды по сравнению со старыми станциями водоподготовки города Москвы. «Побочные продукты озонирования и хлорирования практически не обнаруживаются, содержание органических соединений незначительно: перманганатная окисляемость около 2,0 мг/л, цветность – 2,0 град» [7]. Запах воды, который эпизодически бывает проблемным показателем при очистке воды реки Москвы, после сооружений ЮЗВС отсутствует.

Рассмотрим подробнее технологическую схему подготовки вод на Юго-Западной водопроводной станции, которая представлена на рисунке 1.2.

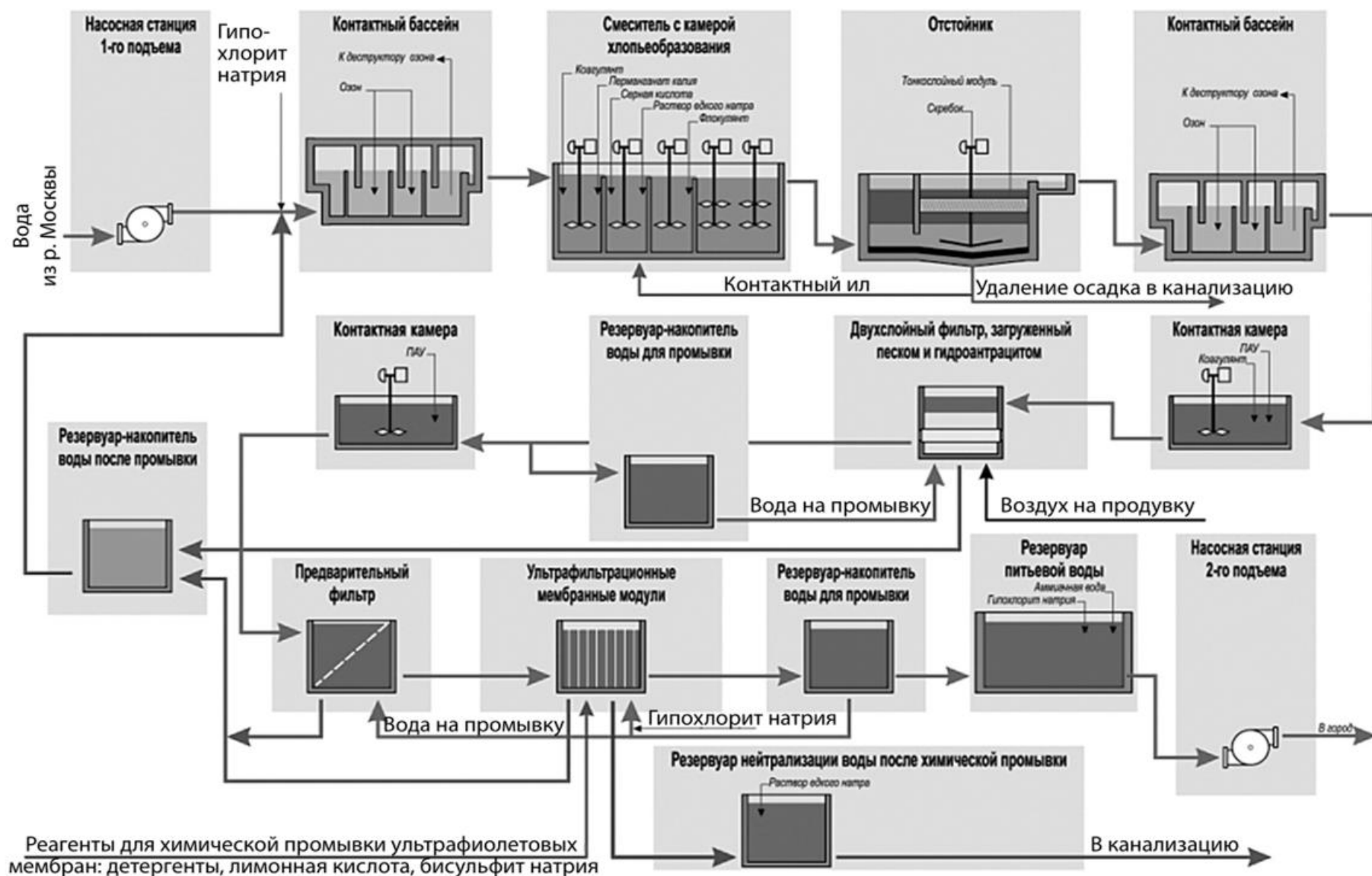


Рисунок 1.2– Технологическая схема очистки воды на Юго-Западной водопроводной станции г.Москва

Данная схема является модернизацией классической технологии очистки питьевой воды.

Она включает в себя предварительное озонирование исходной воды, в результате которого осуществляется окисление железа, марганца и других веществ. Кроме того, происходит обесцвечивание воды, а также улучшаются ее органолептические свойства. Также следует отметить, что это позволяет снизить расход реагентов.

Для очистки воды от коллоидных загрязнений в нее добавляется коагулянт (полиоксихлорид алюминия). Для укрупнения образующихся хлопьев и улучшения осаждения применяется флокулянт. Также возможно дозирование контактного ила, который забирается из отстойника. Добавление реагентов осуществляется в последовательные камеры, оборудованные мешалками для улучшения контактирования реагентов с водой. В последней камере установлена мешалка с низким числом оборотов, благодаря которой в камере происходит хлопьеобразование.

Осаждение образовавшихся хлопьев загрязнений происходит в отстойниках, оборудованных блоками тонкослойного осветления. Образующийся в отстойнике ил может использоваться в качестве контактного ила, который подают в смеситель.

Далее вода подается на вторичное озонирование, которое осуществляется аналогично предварительному озонированию.

Для удаления следов органических веществ, которые не были удалены на предыдущих стадиях водоподготовки, в воду добавляется суспензия порошкообразного активированного угля. В результате обработки органические вещества адсорбируются активированным углем. Затем частички угля удаляются на ступени многослойной фильтрации, причем для повышения эффективности фильтрации в воду добавляется коагулянт.

Загрузка многослойных фильтров состоит из песка и антрацита, уложенных слоями. Регенерация многослойных фильтров осуществляется комбинированной водовоздушной промывкой.

Для удаления остаточных количеств бактерий и вирусов используется ультрафильтрация, осуществляющаяся в мембранных модулях. Ультрафильтрация в отличие от других методов мембранной фильтрации позволяет сохранить природный солевой состав воды. Это является преимуществом использования именно метода ультрафильтрации в очистке воды, так как в очищенной воде сохранена ее физиологическая полноценность. При этом гарантированно удаляются бактерии и вирусы. Таким образом, обеспечивается высокое качество питьевой воды независимо от состояния водоисточника.

Ультрафильтрованная вода собирается в канале чистой воды, куда дозируются гипохлорит натрия и аммиачная вода, обеспечивающие для питьевой воды длительный дезинфицирующий эффект. Отмечается эффективная работа этапа мембранного фильтрования с точки зрения глубокого осветления воды (мутность – 0,03 мг/л), удаления микробиологических загрязнений (микробы не обнаруживаются), фито- и зоопланктона. Качество питьевой воды новой станции соответствует не только европейским требованиям, но и наиболее строгим нормативам развитых стран мира.

Оценивая работу ЮЗВС в течение 2007 года можно сделать вывод о том, что сочетание классических и современных методов позволяет обеспечивать надежную очистку воды от загрязнений как органического, так и биологического характера, независимо от состояния источника водоснабжения.

1.5 Выводы по главе 1

1. Литературный обзор показал, что традиционные методы водоочистки, во многих случаях применяемые на существующих станциях водоочистки, на сегодняшний день оказались не в состоянии обеспечить приготовление питьевой воды необходимого качества, соответствующего СанПиН [2] вследствие постоянного, непрекращающегося ухудшения качества природных вод, связанных с загрязнением водоисточников и постоянным повышением требований к качеству воды.

2. Проведен анализ особенностей качества питьевой воды в поверхностных и подземных источниках. Качественный состав воды в подземных источниках чаще всего отличается от поверхностных высоким содержанием минеральных солей, высокой жесткостью. В поверхностных же источниках часто превышены показатели по мутности, цветности, содержанию взвешенных частиц, органических соединений. В период цветения водоемов требуется очистка от водорослей.

3. Основной причиной того, что классические схемы водоподготовки не справляются с очисткой воды, является постоянно изменяющееся и ухудшающееся качество воды в водоисточниках.

4. В мировой практике получения чистой питьевой воды и в России проявляется интерес к мембранным технологиям. В городах России успешно внедряются проекты реконструкции существующих классических схем водоподготовки с включением этапов очистки с помощью мембранных технологий (ультрафильтрации, нанофильтрации). Проработав успешно не один год, получив колоссальный опыт «общения» с методами мембранной фильтрации, появляется уверенность в их удачном внедрении на станциях водоподготовках в России.

Глава 2 Технологические решения водоподготовки городов с помощью мембранных технологий

2.1 Основные принципы водоподготовки с использованием мембран

Мембраны фильтрации можно классифицировать по нескольким из их признаков. Например, «по пористости – мембраны пористые или непористые. По структуре – изотропные, анизотропные или композитные. По форме – плоские, трубчатые, волоконные. По агрегатному состоянию – мембраны твердые или жидкие. По способу изготовления – плетенные, спеченные или формованные. По типу мембранного элемента, в котором они используются» [11]. По области применения и в зависимости от размера пор мембраны классифицируются на следующие типы:

- Микрофильтрационные – 0,02-4,00 мкм.
- Ультрафильтрационные – 0,02-0,20 мкм.
- Нанофильтрационные – 0,001-0,01 мкм.
- Обратноосмотические – 0,0001-0,001 мкм.

Диаметр пор определяет сферу использования фильтра (рисунок 2.1). Первые два вида применяются в фильтрах тонкой очистки воды; третий вид используется в фильтрах умягчения воды, для уменьшения концентрации солей жесткости; и последний вид в фильтрах обратного осмоса.



Рисунок 2.1 – Классификация мембран по размерам задерживаемых частиц

Основные характеристики типов процесса фильтрации через мембрану можно проанализировать в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные характеристики типов процесса фильтрации через мембрану

Процесс фильтрации	Микрофильтрация	Ультрафильтрация	Нанофильтрация	Обратный осмос
1	2	3	4	5
Размер пор, мкм	0,01-1	0 001-0,01	0,0001 — 0,001	< 0,0001
Размер удаляемых молекул, дальтон	>100 000	1 000 — 100 000	300 — 1 000	100 — 300
Рабочее давление, бар	<2,0	1,5 — 7,0	3,5 — 20	15 — 70
Удаление растворенных органических веществ	Нет	Да	Да	Да
Удаление неорганических веществ	Нет	Нет	20 — 85 %	95 — 99%
Химический состав воды	Не изменяется	Практически не изменяется	Изменяется	Изменяется
Стойкость мембраны	Высокая	Высокая	Умеренная	Умеренная

Анализируя эту таблицу, можно заметить, что даже обратноосмотические, самые эффективные, мембраны способны пропускать сквозь себя молекулы довольно почтенной массы — 100—300 дальтон. О какой же полной очистке может идти речь? Дело в том, что для описания процессов нанофильтрации и обратного осмоса уже непригодна модель обычного «просеивания сквозь сито», здесь вступают в игру более сложные процессы диффузии и взаимодействия потока воды с мембраной на более тонком, атомарном уровне. То есть, если бы дело было исключительно в сверхмалом размере пор, то очищать воду можно было бы только от молекул с массой 100—300 Дальтон. Совокупность же более сложных процессов обеспечивает более полную очистку воды.

Ультрафильтрационные и микрофильтрационные мембраны. Метод микрофильтрации предложил Зигмонди в 1922 г. В зависимости от применяемых мембран, он служит для отделения от жидкости частиц с размером 0,1–1 мкм (мелкодисперсионные взвеси и коллоидные частицы, вызывающие мутность воды). Микрофильтрационная мембрана задерживает основную массу взвесей, крупные коллоиды, большинство бактерий и микроорганизмов, частично вирусы. В основном, она используются при необходимости грубой очистки воды или для ее предварительной подготовки перед более тонкой фильтрацией.

Метод ультрафильтрации был предложен Бехгольдом в 1907 г. и он предусматривает использование мембран с размером пор от 0,01 до 0,1 мкм. *Этот вид мембран способен* задерживать крупные органические молекулы, бактерии и вирусы, коллоидные частицы, и при этом пропускать растворенные соли. Данная мембрана применяются в промышленных и бытовых мембранных фильтрах для воды и обеспечивает высокое качество фильтрации вредных примесей, при этом оставляя неизменным минеральный состав воды.

Микро и ультрафильтрации обычно подвергается вода, загрязненная мелкими частицами и растворенными компонентами, молекулярная масса которых намного больше молекулярной массы растворителя.

Удаление этими методами мелких молекул или ионов возможно при их укрупнении до мицелл или коллоидных частиц с помощью специальных реагентов с большой молекулярной массой, селективно реагирующих с такими веществами, или при коагуляции. Такой процесс называется реагентной или мицеллярно-усиленной ультрафильтрацией. Он позволяет селективно извлекать из раствора заданные ионы загрязнений или достаточно глубоко (до 60–70%), очищать воду от органических веществ с низкой молекулярной массой, таких как гуминовые и фульвокислоты, которые в большой степени определяют цветность воды, ее окисляемость и содержание железа в виде комплексов. Удаление загрязнений микрофильтрацией и ультрафильтрацией наглядно представлено на рисунке 2.2.

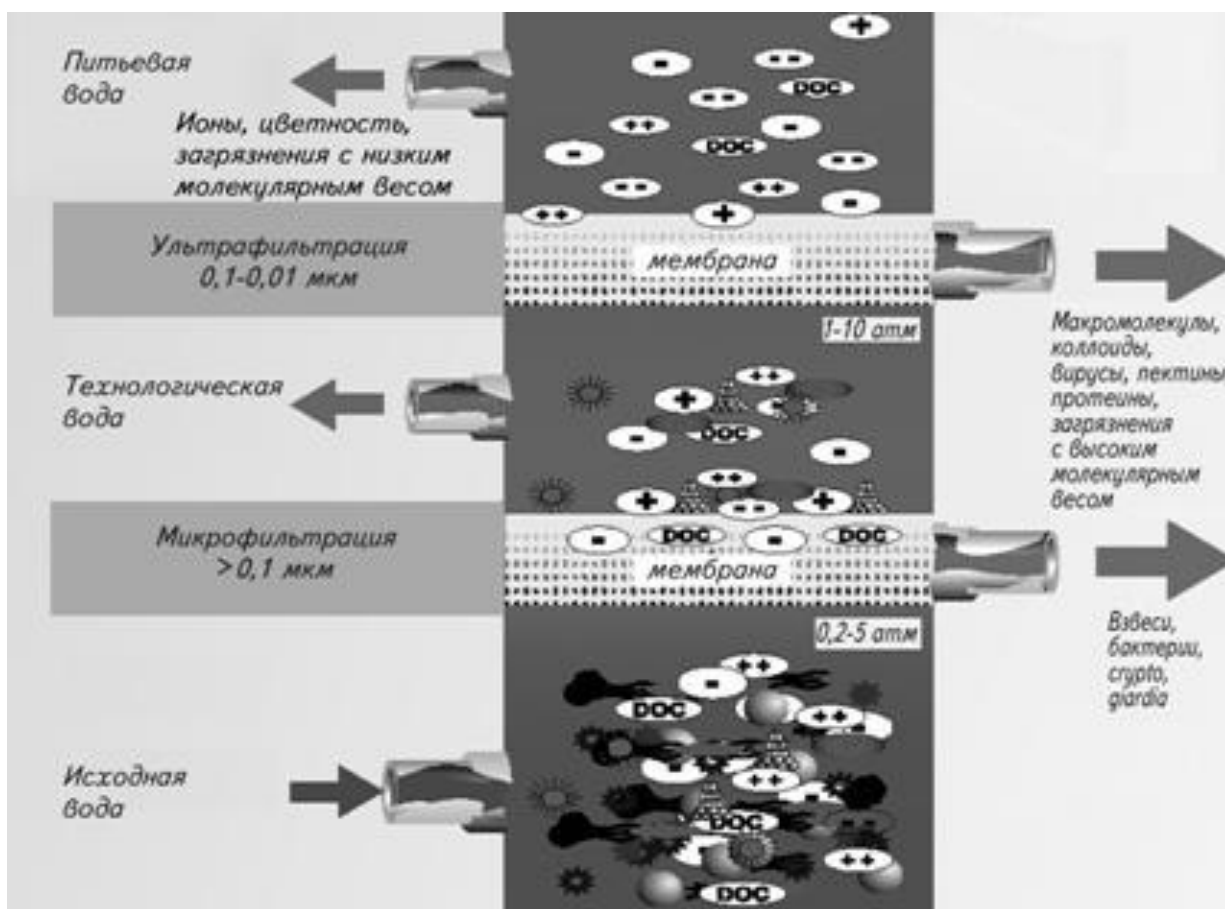


Рисунок 2.2 – Удаление загрязнений микрофильтрацией и ультрафильтрацией

Наночильтрационные и обратнототические мембраны.

Наночильтрационная мембрана, имеющая поры размером от 0,001 до 0,01 мкм, отфильтровывает крупные органические соединения и пропускает до 90% растворенных солей, в зависимости от их структуры.

Наночильтрационные мембраны по сравнению с мембранами обратнототическими «имеют пониженную селективность, повышенную проницаемость и меньшее рабочее давление при заданной производительности» [11].

Одновалентные ионы (катионы и анионы) задерживаются наночильтрационными мембранами незначительно, в то время как их селективность к многозарядным и крупным ионам – высокая. Например, при селективности по $MgSO_4$ на уровне 98–99%, селективность по $NaCl$ для различных наночильтрационных мембран составляет 5–85%. В процессе наночильтрации эффективно задерживаются компоненты растворенных веществ с размером от 1 нм и органика с молекулярным весом от 200 до 400 Да.

Рабочее давление в процессах наночильтрации обычно лежит в пределах от 3 до 20 атм. При этом селективность наночильтрационных мембран к катионам Ca^{2+} и Mg^{2+} различна и зависит от состава воды (таблица 2.2). Следует отметить, что селективность наночильтрационных мембран проявляется прежде всего в отношении анионов. Поэтому, к примеру, селективность по сульфату натрия может быть выше, чем по хлориду кальция.

Таблица 2.2 – Умягчение воды мембраной типа NF -70 (Filmtec)

Ион	Концентрация в исходной воде, мг/л	Задержание, %
Ca^{2+}	90	86
Mg^{2+}	2	92
Na^{+}	19	50
HCO_3^{-}	270	84
SO_4^{2-}	6	55

Сравнение мембранных методов по степени удаления загрязнений приведено в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Сравнение мембранных методов по степени удаления загрязнений

Удаляемые вещества	Степень удаления, %		
	Наночильтрация	Обратный осмос низкого давления	Обратный осмос
NaCl	5–85	70-95	99
Na ₂ SO ₄	99	80-95	99
CaCl ₂	0–60	80-95	99
MgSO ₄	> 99	95-98	>99
H ₂ SO ₄	-	80-90	99
HCl	-	70-85	99
Вирусы	> 99,99	> 99,99	> 99,99
Бактерии	> 99,99	> 99,99	> 99,99

Благодаря тому, что наночильтрационные мембраны эффективно снижают цветность исходной воды (на 70–95%) и окисляемость (на 50–80%), удаляют пестициды, а также соли жесткости (на 50–80%) и микробиологические загрязнения, наночильтрация может считаться идеальной технологией для получения питьевой воды практически из любых источников (за исключением морей и океанов). При этом наночильтрация позволяет получать мягкую воду с частично сохраненными в ней хлоридами и гидрокарбонатами, т.е. более пригодную для питьевых целей, чем обратноосмотическая. Поскольку в очищенной воде отсутствуют бактерии и вирусы, микрзагрязнения и хлорорганика, имеется возможность сокращения дозы хлора при постхлорировании.

Приведенный ряд свойств наночильтрационных мембран позволяет потребителям применять рациональные по техническим решениям и экономичные по эксплуатационным затратам установки водоподготовки.

Так, например, в Финляндии и Швеции в период с 1999 г. запущены и успешно работают более дюжины наночильтрационных установок

водоподготовки производительностью 100–200 м³/ч, обеспечивающих население питьевой водой; в Норвегии для тех же целей введена в эксплуатацию в 2003 г. нанофильтрационная установка производительностью свыше 600 м³/ч.

Еще недавно термин «нанофильтрация» ассоциировался только с низкоселективным и, соответственно, низконапорным обратным осмосом, но в последнее десятилетие направление нанофильтрации получило бурное развитие. Были разработаны, освоены в производстве и успешно эксплуатируются установки с нанофильтрационными мембранами для целей водоподготовки, предназначенные для:

- высокоселективного удаления из обрабатываемой воды общего органического углерода (ТОС) и пестицидов при сохранении ее солевого состава (минерализации);

- одновременное глубокое удаление органики и коррекция минерализации воды;

- умягчения воды;

- предварительной обработки морской воды перед ее опреснением на установках обратного осмоса.

Мембрана обратного осмоса имеет самые мелкие отверстия и потому обладает самыми селективными свойствами. Такие мембраны способны задерживать все бактерии и вирусы, тяжелые металлы, основную часть растворенных солей, органические соединения, органические красители, придающие воде цвет. И самые вредные вещества – пестициды, гербициды и инсектициды, оказывающиеся смытыми с поверхности земли.

Основателем современных технологий обратного осмоса по праву считается С. Сурираджан, который на рубеже 50–60-х годов прошлого века разработал и реализовал на практике процесс обратноосмотического

разделения растворов, основанный на принципе фильтрования из тангенциального потока.

Эффективность удаления методом обратного осмоса различных ионов зависит от их заряда и размера, определяющих степень гидратации, и увеличивается с ростом этих характеристик. Коэффициенты очистки для мембран типа BW имеют следующие значения: для одновалентных ионов Na^+ , K^+ , Cl^- , NO_3^- , $\text{HCO}_3^- = 20-100$, а для двухвалентных Ca^{2+} , Mg^{2+} , $(\text{SO}_4)^{2-}$ – до 200. Эффективность удаления поливалентных элементов зависит от их состояния в растворе.

Обратноосмотические мембраны для очистки морской воды SW и SW HR обладают еще большей селективностью по всем ионам. Таким образом, по селективности мембраны располагаются в ряду: SW HR > SW > BW. Соответственно, различаются и области их основного применения для обработки вод: с солесодержанием до 2000 мг/л применяются мембраны типа NF и BW 30 LE. С солесодержанием до 10000 мг/л – мембраны BW 30, а при более высоком (до 50000 мг/л) – мембраны SW и SW HR.

Приведенные данные получены в неких «стандартных» условиях: солесодержание 2000 мг/л; давление 1,6 МПа; температура 25°C; pH=7, и служат только для целей предварительной оценки показателей селективности процесса обратноосмотического разделения для указанных веществ. Результаты, полученные в реальных условиях эксплуатации, могут весьма существенно отличаться от приведенных выше, так как зависят от концентрации всех компонентов в исходной воде, pH и температуры раствора. Залогом получения достоверных данных для конкретных условий эксплуатации является проведение пилотных испытаний.

Значения рабочего давления в процессах обратного осмоса в условиях промышленного применения доходят на сегодняшний день до 80 атм, а в лабораторных условиях достигают 120 атм, и даже, как заявляют

представители некоторых западных компаний, могут подниматься до 150 атм в условиях опреснения морской воды.

Постоянное совершенствование структуры мембран обратного осмоса, связанное прежде всего с уменьшением толщины разделительного слоя и улучшением равномерности его молекулярной структуры, привело к созданию так называемого низконапорного и сверхнизконапорного обратного осмоса (мембраны LE и XLE, соответственно). Такие обратноосмотические мембраны имеют сниженную селективность ($XLE < LE < BW$), но вполне достаточны для получения питьевой воды, которая не должна обессоливаться полностью. Учитывая, что осмотическое давление в пресной воде с солесодержанием до 1000 мг/л по NaCl не превышает 0,8 атм, они позволяют получать частично обессоленную воду даже при давлении до 2,0 атм.

«Мембраны осветления имеют поры, видимые в электронный микроскоп. Под действием конвекции вода перемещается внутри пор, увлекая с собой растворенные вещества и частицы, размеры которых меньше размеров пор (ситовый эффект). Мембраны осветления, в свою очередь, подразделяются на мембраны ультрафильтрации и мембраны микрофильтрации» [15].

Исходя из наработанного многолетнего опыта системы ультрафильтрации, в основном, применяются для очистки и доочистки питьевой воды из поверхностных источников. Такие мембраны задерживают взвешенные вещества и органику, которые влияют на цветность воды. Удаляют мутность, также задерживают микроорганизмы, бактерии и вирусы, коллоиды. Благодаря использованию ультрафильтрация можно заменить сразу две ступени очистки: отстаивание и микрофильтрацию. «Процент удаления вирусов составляет до 90%» [14]. «Ультрафильтрация используется как наиболее эффективный метод подготовки воды перед обратным осмосом. Использование ультрафильтрации дает гарантию высокого качества очищенной воды, несмотря на сезонные колебания качества исходной воды.

В отличие от обратного осмоса ультрафильтрация не изменяет минеральный состав воды. При нанофильтрации и обратном осмосе требуются относительно высокие рабочие давления, поэтому в отличие от этих мембранных методов, для ультрафильтрации нет необходимости использовать специальные высоконапорные гидравлические системы и особые напорные корпуса, что позволяет удешевить саму конструкцию установок и снизить ее энергопотребление» [14].

Ниже в таблице 2.4 расписаны некоторые отличительные характеристики разных видов мембранных технологий.

Таблица 2.4 – Характеристики мембранных технологий по удаляемым примесям

Метод	Размер пор, мкм	Рабочее давление, бар	Удаляемые примеси	Химический состав воды
1	2	3	4	5
Микрофильтрация	0,10000–1,0000	Менее 2,0	Взвешенные вещества, крупные коллоиды, эмульсии, цисты простейших, водоросли	Не изменяется
Ультрафильтрация	0,0100–0,1000	1,0 – 4,5	Взвешенные вещества, коллоиды, цисты простейших, водоросли, бактерии, вирусы, высокомолекулярные органические вещества	Практически не изменяется
Нанофильтрация	0,0010–0,0100	3,5 – 20,0	Взвешенные вещества, микроорганизмы, высокомолекулярные органические растворенные вещества, 20-85% растворенных неорганических веществ	Изменяется
Обратный осмос	0,0001 – 0,0010	12,0–70,0	Взвешенные вещества, микроорганизмы, органические растворенные вещества, 90-95% растворенных неорганических веществ	Изменяется

2.2 Типы мембранных элементов и классификация мембранных установок

Существует две группы мембранных аппаратов: бытовые и промышленные.

Бытовые — питьевые системы, которые обычно устанавливаются под кухонную мойку. Скорость очистки воды с помощью такой системы фильтрации чаще всего составляет 20,0 – 30,0 м³/сут, но бывает и больше. То есть, вода подготавливается в количестве, нужном для питья и приготовления пищи. Установки самопромывные и состоят из набора керамических мембран и угольного картриджа на фильтрате. Удаляют бактерии, вирусы и хлор.

Промышленные ультрафильтрационные установки с большой производительностью (от 12,0 м³/сут) — предназначены для очистки воды на предприятиях.

Наибольшее распространение получили мембранные аппараты о которых мы поговорим ниже. Модули с полыми волокнами находят свое применение в процессах микро- и ультрафильтрации, в то время как спиральные модули чаще используют в процессах нанофильтрации и обратного осмоса.

Модули с полыми волокнами. Полые волокна с диаметром от 0,6 до 2,0 мм изготавливают путем экструзии мембранного волокна сквозь кольцеобразные фильеры. Такие модули называются самонесущими, т.к. большое соотношение толщины к диаметру позволяет им выдерживать рабочее внутреннее или внешнее давление.

Некоторые полые волокна укрепляются с помощью тканевой сетки, погруженной в мембранный материал. Их часто группируют в пучки из нескольких тысяч волокон. Обработываемая жидкость протекает либо внутри волокон, либо снаружи. Основное преимущество данной геометрической

формы состоит в том, что она позволяет регулярно осуществлять обратную промывку, при этом полые волокна работают при давлении, которое значительно ниже предельного, допустимого для их разрыва или раздавливания (рисунок 2.3).

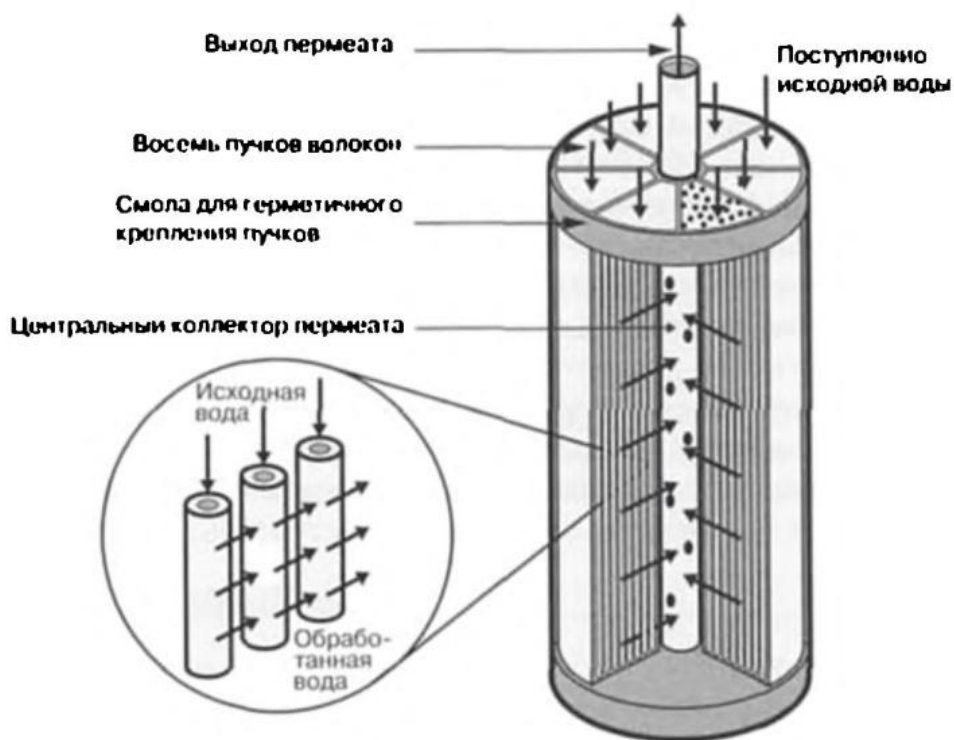


Рисунок 2.3 – Модуль с полыми волокнами

Достоинства:

- возможность регулярно проводить обратную промывку;
- полые волокна работают при давлении, которое значительно ниже предельно допустимого для их разрыва.

Недостатки:

- необходимость защитного микросита от 150 до 500 мкм в начале технологической линии для защиты от закупоривания крупными частицами внутренних отверстий полых волокон;
- в основном, такие модули используются для ультрафильтрации; в настоящее время такие модули для обратного осмоса предлагает только японская компания «Тоубо» (модули «Hollosep»).

Спиральные модули. Между двумя плоскими мембранами устанавливается пористый гибкий лист-коллектор. Такой сэндвич запечатывается с трех краев. Открытый край приваривается к цилиндрической трубке-коллектору с двух сторон перфорированной направляющей.

Фильтруемая жидкость циркулирует в прокладке параллельно трубке-коллектору, а коллектор обеспечивает дренаж пермеата к осевой трубке-коллектору (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Спиральный модуль

«Диаметр элемента может варьироваться от 5,0 до 30,0 см. За счет изменения длины (от 30,0 см до 1,5м) мембранная поверхность может составлять от 0,3 до 41,0 м². Несколько элементов (от 2 до 8) устанавливаются последовательно в едином цилиндрическом картере и присоединяют к трубке-коллектору с помощью соединителей» [14]. Эти самые соединители снабжены кольцеобразными прокладками, которые должны обеспечивать идеальную геометрию модуля и выдерживать компрессионные нагрузки. Нагрузки могут быть вызваны падением напора при движении жидкости сквозь прокладки модулей. Во избежание больших

потерь напора, что имеет большое значение в процессах очистки воды, рекомендуется производить грамотный монтаж соединителей.

Достоинства:

- имеют самые компактные размеры из всех типов модулей;
- обеспечивают меньшее падение напора по сравнению с пластинчатыми мембранами.

Из недостатков – высокая чувствительность пор к забиванию. Спиральные модули требуют предварительной обработки жидкости для получения значения индекса забивания (FI) ниже 4 или 5.

Трубчатые модули. В таких модулях мембраны располагаются или формируются внутри трубки-носителя, которая может быть пористой или иметь отверстия для дренажа. Диаметр трубки может варьироваться от 4,0 до 25,0 мм (рисунок 2.5).

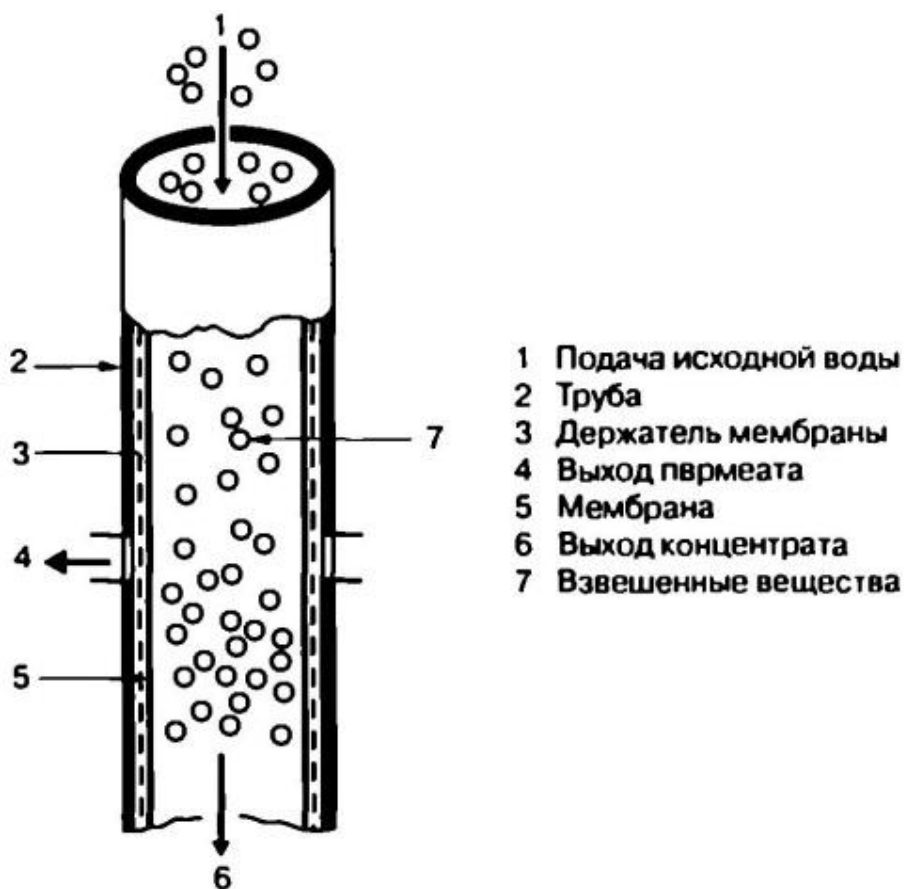


Рисунок 2.5 – Трубчатый модуль

Достоинства:

- возможность увеличить скорость циркуляции до 6,0 м/с
- не требуется предварительная тонкая фильтрация жидкости, подлежащей обработке;
- легко чистить с помощью периодического введения шариков из губки.

Недостатки:

- большие размеры;
- высокая себестоимость 1,0 м² площади фильтрации.

Пластинчатые модули. Такие модули состоят из набора мембран и поддерживающих пластин. По конструкции такие модули напоминают фильтр-пресса. Подлежащая обработке жидкость проходит между двумя сопряженными пластинами. Пластины обеспечивают как механическую поддержку мембран, так и дренаж пермеата (рисунок 2.6).

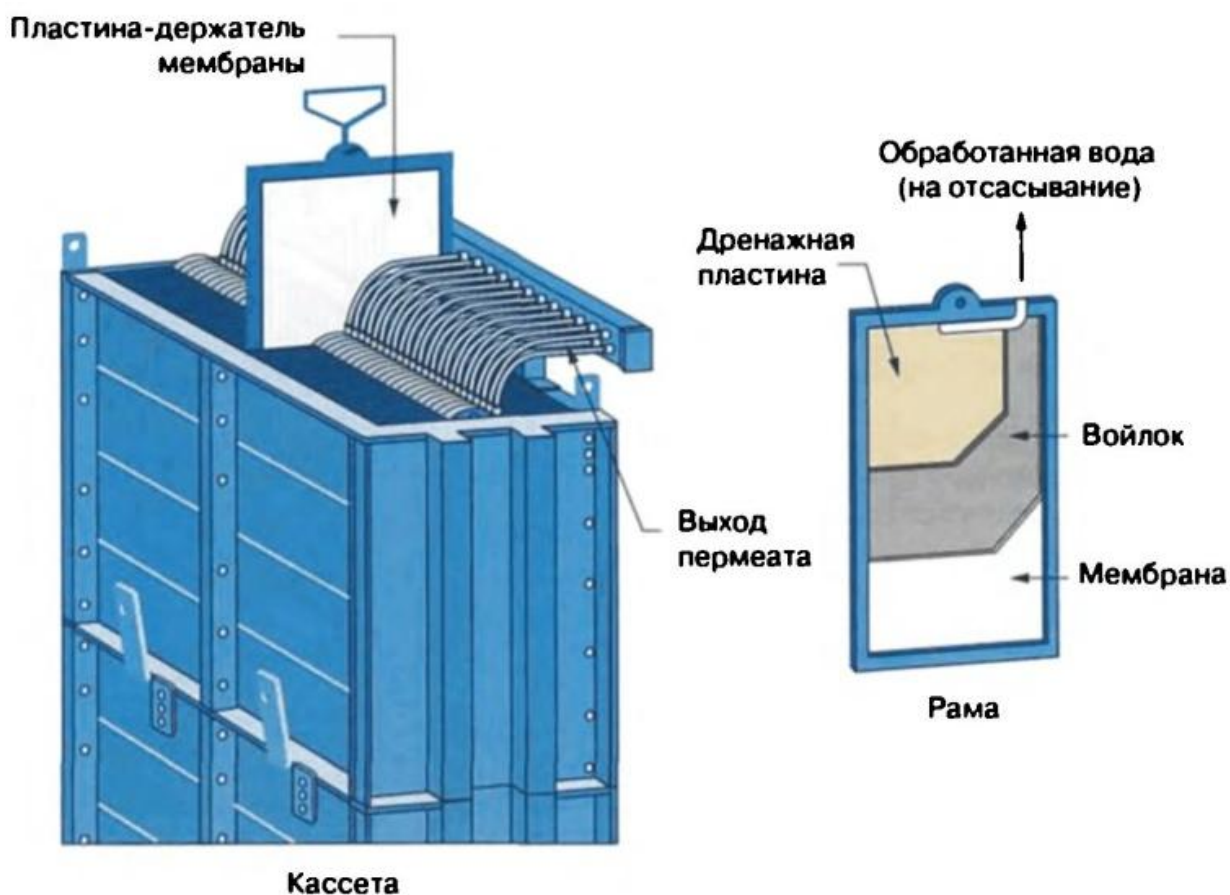


Рисунок 2.6 – Пластинчатый модуль

Достоинства:

– при средней компактности их легко демонтировать – при необходимости легко проводить полную ручную чистку, а также без труда заменять мембраны.

Недостатки:

– из-за длины и извилистой конфигурации канала циркуляция жидкости происходит значительное падение напора;

– небольшая площадь пластин ведет к увеличению их числа и, следовательно, их соединений, что снижает надежность установки.

Классификация мембранных установок.

По типу осуществляемого процесса – установки ультрафильтрации и обратный осмос.

По назначению – промышленные и опытные установки.

По режиму работы – непрерывные и периодические.

По кратности циркуляции – прямоточные и рециркуляционные установки.

По числу ступеней – одноступенчатые и многоступенчатые.

По организации потока разделяемой смеси - секционированные и несекционированные установки.

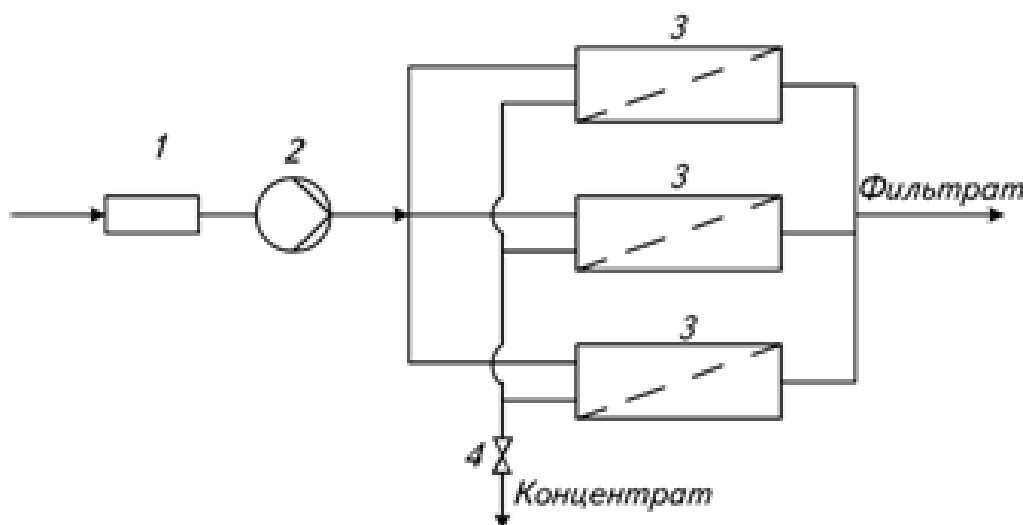
Необходимо выбирать такую схему, которая позволит добиться необходимого выхода фильтрата требуемой степени очистки воды.

Промышленные установки могут собираться в каскады, а каскады в ступени производительностью до 3600 м³/сут и более. Обязательное условие в таком случае – использование одинаковых мембранных модулей.

Каскад – это параллельно установленные в пределах одной ступени модули, объединенные общими коллекторами по исходной воде, пермеату и концентрату. Ступень – это набор модулей или каскадов, объединенных общим пермеатным коллектором.

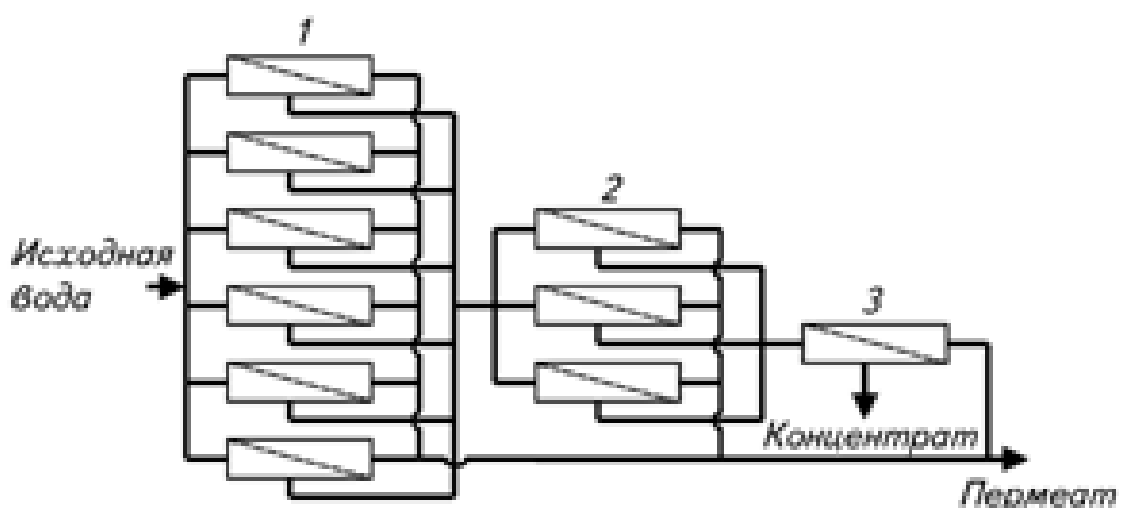
Ступени формируются из каскадов обратноосмотических установок, которые бывают одно- и многокаскадными (состоят из одного или нескольких каскадов, при этом концентрат, образовавшийся на предыдущем каскаде, служит питающей водой для последующего). Многокаскадные схемы применяются для увеличения гидравлического КПД установки.

Ниже приведены схемы установки одноступенчатые и многоступенчатые (рисунки 2.7, 2.8, 2.9).



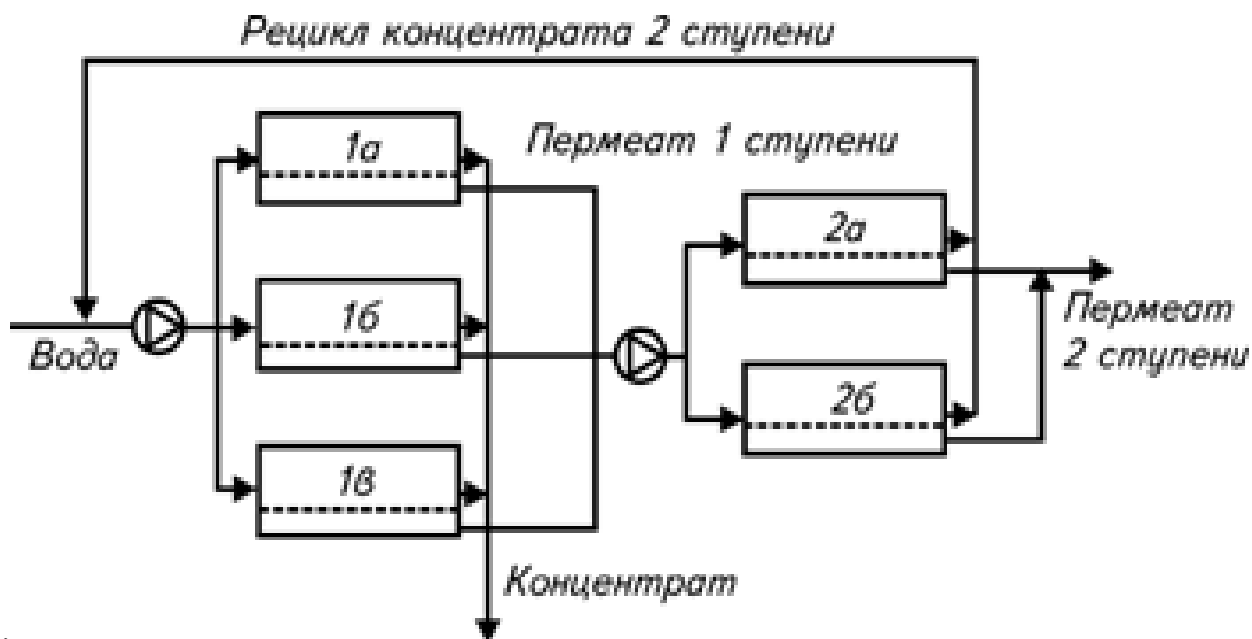
1- микрофильтр; 2- насос; 3- мембранные модули; 4 – вентиль

Рисунок 2.7 – Одноступенчатая однокаскадная установка обратного осмоса с параллельно установленными модулями



1 – мембранные модули первого каскада; 2 – второго каскада; 3 – третьего каскада

Рисунок 2.8 – Одноступенчатая трехкаскадная схема установки обратного осмоса



1 (а, б, в) – мембранные модули первой ступени; 2 (а, б) – мембранные модули второй ступени

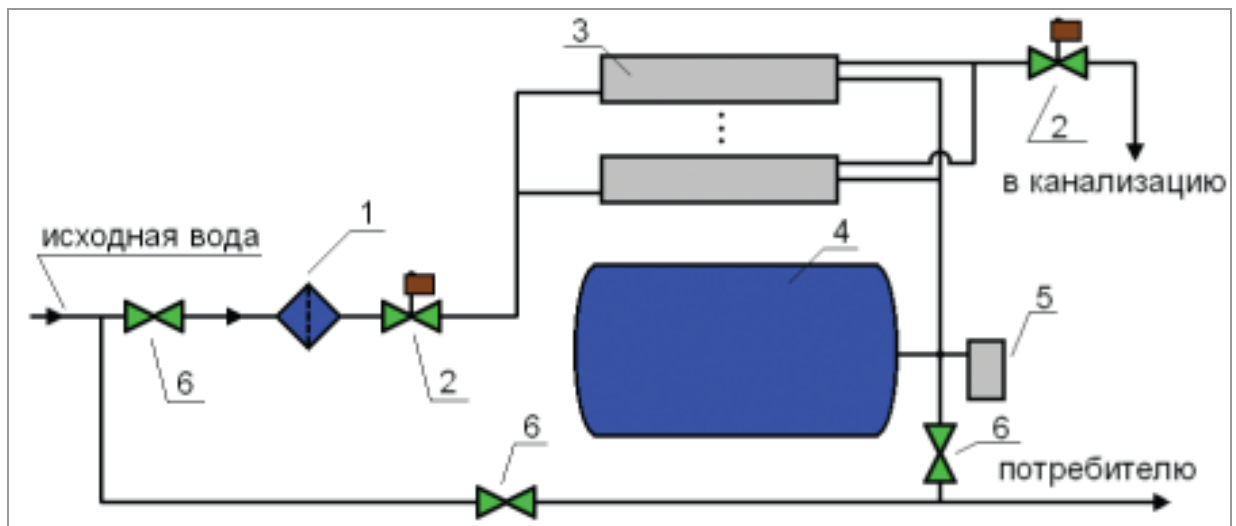
Рисунок 2.9 – Двухступенчатая установка обратного осмоса

Мембранный модуль может содержать от одного до нескольких элементов, через которые последовательно проходит очищаемая вода. Такой способ размещения фильтрующих элементов позволяет существенно увеличить гидравлический КПД установки водоподготовки в целом.

2.3 Возможные технологические решения водоподготовки из поверхностного источника

Одним из наиболее эффективных решений проблемы недостаточного очищения воды, как говорилось выше, является система доочистки, основанная на методе ультрафильтрации.

Наглядная схема установки показана на рисунке 2.10.



1 – сетчатый фильтр; 2 – магнитный клапан; 3 – ультрафильтрационные аппараты;
 4 – напорный бак; 5 – реле давления; 6 – шаровые краны для врезки в водопровод

Рисунок 2.10 – Технологическая схема установки улучшения качества водопроводной воды

Как уже было сказано выше, во всем мире успешно работают модернизированные или вновь построенные станции с использованием блоков ультрафильтрации. Доступность этого метода очистки для городских систем водоподготовки подтверждается цифрами. По данным фирмы «Дегремон», себестоимость воды, полученной с помощью ультрафильтрации, составляет от 0,03 до 0,25 евро/м³, а общие затраты с учетом замены мембран оцениваются на уровне 0,5–0,6 евро/м³.

Второе, наиболее выигрышное достоинство данной технологии в условиях забора воды из поверхностных источников – ее гибкость – возможность адаптироваться к нестабильному качеству исходной воды. Наконец, одним из решающих факторов является высокая степень обеззараживания воды в сочетании с высокой надежностью сохранения этого показателя. Задерживание из воды микроорганизмов основано на механизме просеивания. Для сравнения: размер пор УФ-мембран – 0,005–0,02 мкм, размер цист *Giardia* и *Cryptosporidium* – 5-15 мкм, *Escherichiacoli* – 0,5 мкм, бактерии *Salmonella*, *Legionella* – 0,3-1,5 мкм, вирусов – 0,01–0,03 мкм.

«Важно отметить, что цель внедрения на водопроводных станциях процесса ультрафильтрации состоит не в очистке от новых загрязнений (хлорорганика, диоксины, тяжелые металлы), а в более эффективном решении давно существующих проблем – снижении количества остаточного алюминия, повышении барьерной роли ВОС по микробиологическим показателям, стабильном получении фильтрата с мутностью не более 1,5 мг/л (в перспективе – до 0,5 мг/л)» [29].

Интегрирование ультрафильтрации в традиционную схему очистки поверхностных вод может осуществляться на различных стадиях технологической цепочки. На существующих станциях мембранные установки ультрафильтрации наиболее эффективно применять после отстойников вместо скорых фильтров. Для защиты мембран от засорения крупными частицами перед ультрафильтрационной установкой помещают фильтр предочистки – самопромывающийся сетчатый фильтр с размером ячеек 100–200 мкм.

Использование мембранных установок дает следующие преимущества:

- повышает эффективность проведения процесса коагуляции и отстаивания, обеспечивая эффект очищенной воды даже при сниженных дозах коагулянта и неполной коагуляции;
- позволяет отказаться от первичного хлорирования, что, соответственно;
- снижает общую хлороемкость очищенной питьевой воды и, соответственно, дозу хлора. Задача хлорирования очищенной воды сводится к защите от повторного размножения бактерий в водопроводной сети (использование остаточного действия хлора).

2.4 Возможные технологические решения водоподготовки из подземного источника

Одним из возможных технологических решений задач по минимизированию показателей питьевой воды на водозаборах подземных источников по мутности, содержанию железа и марганца является установка нанофильтрации.

В технологической схеме рационально рассчитывать установку нанофильтрации не на 100% производительность станции водоподготовки, а на ее часть. Если учитывать, что метод нанофильтрации очищает воду от примесей, минеральных солей практически на 100%, т.е. превращает воду в пресную, а качественная питьевая вода должна иметь минимальный набор минеральных веществ, то рационально будет направлять на очистку от 1/4 до 1/3 части всего объема производимой воды. Таким образом, не произойдет очистка воды до дистиллированного состояния, сохранится минимальный комплекс минеральных веществ, а содержание железа и марганца уменьшаться до рекомендуемых СанПиН [2].

Производители мембран для стабильной длительной эксплуатации нанофильтрационных установок рекомендуют придерживаться определенного качества поступающей исходной воды на мембраны. Эти нормы устанавливают предельное содержание загрязнений в исходной воде, которые оказывают неблагоприятное воздействие на мембраны и способны нарушить нормальную работу мембранного элемента. С рекомендуемым многими производителями нанофильтрационных мембран качественным составом исходной воды можно ознакомиться по таблице 3.1:

Таблица 3.1 – Рекомендации по составу исходной воды перед мембранами нанофильтрации

Наименование вещества	Рекомендуемые значения
1	2
Взвешенные вещества –	не более 0,1 мг/л
Коллоидны	по показателю КИ $15 < 5$
Железо	менее 0,10 мг/л
Алюминий	менее 0,10 мг/л
Марганец	менее 0,10 мг/л
Органические загрязнения	не более 3,0 мг/л
рН исходной воды для ацетатцеллюлозных мембран	3,5–7,2
рН исходной воды для полиамидных мембран	2,0–12,0
Содержание свободного хлора для тонкопленочных композитных полиамидных мембран	менее 0,10 мг/л
Содержание свободного хлора для ацетат целлюлозных мембран	не более 0,60 мг/л

Кроме перечисленных качественных характеристик немаловажны и общие характеристики – температура подаваемой воды, в зависимости от рН, не должна превышать 30–45°C; микробиологические загрязнения желательно минимизировать.

Однако если качество исходной воды соответствует всем перечисленным требованиям, то предварительная очистка поступающей на мембраны воды может не предусматриваться и не производиться.

2.5 Выводы по главе 2

1. При использовании мембранных технологий в подготовке питьевой воды количество вводимых в воду химических реагентов существенно снижается. Это важный аргумент в пользу проведения исследований для определения эффективности использования мембранных технологий в питьевом водоснабжении.

2. Выбраны возможные технологические решения реконструкции традиционных схем водоподготовки путем внедрения этапа доочистки с применением мембранных технологий. Для поверхностного источника оптимальным является метод ультрафильтрации, ее роль заключается в глубоком удалении взвешенных частиц и в стерилизации воды. Для подземного источника оптимальным методом доочистки является нанофильтрация. Этот метод эффективен для удаления цветности, удаления жесткости, металлов, общего снижения содержания растворенных веществ.

Глава 3 Разработка технологических схем водоподготовки на примере города Тольятти

3.1 Описание современного состояния питьевого водоснабжения Центрального и Комсомольского районов города Тольятти

В качестве источников водоснабжения в Центральном и Комсомольском районах города Тольятти используются водозаборы подземных вод (группы скважин), расположенные в центральной части тольяттинского месторождения. Каждый водозабор включает в себя несколько скважин, накопительные резервуары чистой воды (РЧВ) и насосные станции второго подъема. Вода с водоносного горизонта скважины забирается погружными насосами и поступает в РЧВ, далее насосами – в распределительную сеть. Система очистки воды не используется ни на одном водозаборе, так как качество добываемой воды из подземных источников соответствует СанПиН [2].

В открытом доступе на сайте поставщика услуг ООО «ВоКС» [19] имеется информация о качестве питьевой воды на водозаборах ООО «ВоКС» перед подачей в разводящую сеть, и из разводящей сети. В лаборатории ООО «ВоКС» на водозаборах города Тольятти измеряются восемь показателей качества питьевой воды: мутность, цветность, железо общее, общее микробное число, общие колиформные бактерии, термотолерантные колиформные бактерии, колифаги, споры сульфит редуцирующих клостридий.

В рамках данной диссертации мною был произведен анализ качественного состава питьевой воды на водозаборах нашего города перед подачей в разводящую сеть за 2016, 2017, 2018 года в разные периоды водного режима реки Волга. В результате анализа данные о качественном составе воды на водозаборах Центрального и Комсомольского районов

города Тольятти за период 2016-2018 года представлены в виде диаграмм (рисунки 3.1-3.6).

Согласно [2, табл. 4] нормативы питьевой воды по мутности составляют 2,6 (3,5)² ЕМФ или 1,5 (2) мг/л (мг/дм³), ознакомиться с ними можно в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Показатели качества питьевой воды

Показатели	Ед. изм.	Нормативы, не более
1	2	3
Запах	баллы	2
Привкус	-"-	2
Цветность	градусы	20 (35)
Мутность	ЕМФ (единицы мутности по формазину) или мг/л (по каолину)	2,6 (3,5) 1,5 (2)

Данные о качественном составе воды по мутности (мг/дм³) на водозаборах Центрального и Комсомольского районов города Тольятти за период 2016-2018 годов представлены в виде диаграмм (рисунки 3.1-3.3).

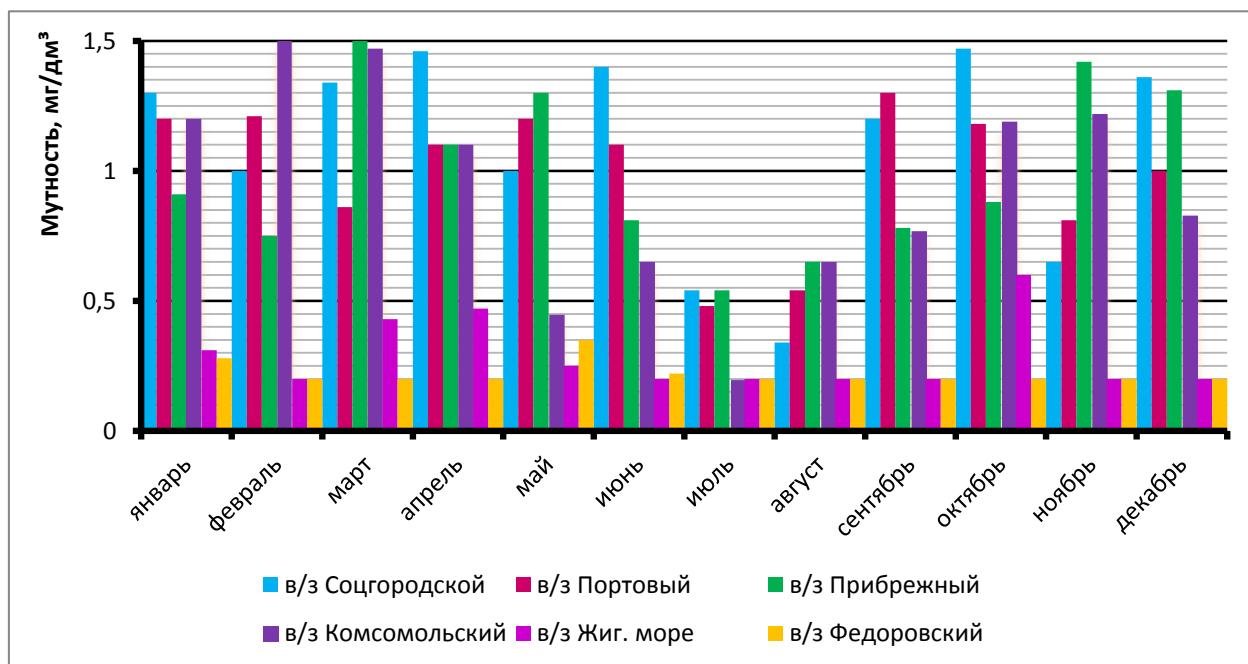


Рисунок 3.1 – Информация о качестве питьевой воды по мутности (мг/дм³) на водозаборах Центрального и Комсомольского районов г.о. Тольятти перед подачей в разводящую сеть за 2016 год

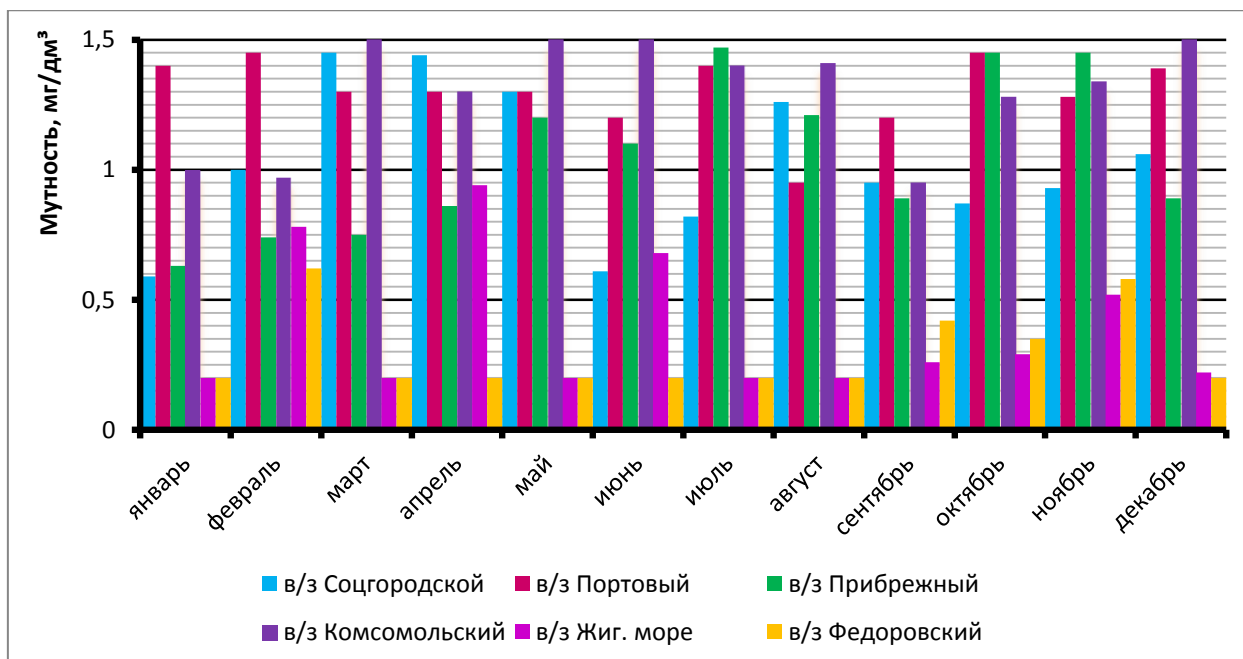


Рисунок 3.2 – Информация о качестве питьевой воды по мутности (мг/дм³) на водозаборах Центрального и Комсомольского районов г.о. Тольятти перед подачей в разводящую сеть за 2017 год

Далее в 2018 году расчет показателя мутности в лаборатории ООО «ВоКС» стал измеряться в ЕМФ - единицы мутности по формазину. Для наглядности и лучшей восприимчивости информации был осуществлен перевод единиц измерения согласно [49], а именно: «Результаты измерений выраженные мг/дм³ (при использовании основной стандартной суспензии каолина) или в ЕМ/дм³ (единицы мутности на дм³) (при использовании основной стандартной суспензии формазина). Переход от мг/дм³ к ЕМ/дм³ осуществляют, исходя из соотношения: 1,5 мг/дм³ каолина соответствуют 2,6 ЕМ/дм³ формазина или 1 ЕМ/дм³ соответствует 0,58»[49]. Диаграмма на рисунке 3.3 составлена в мг/дм³ посредством умножения значений ЕМФ на коэффициент 0,58.

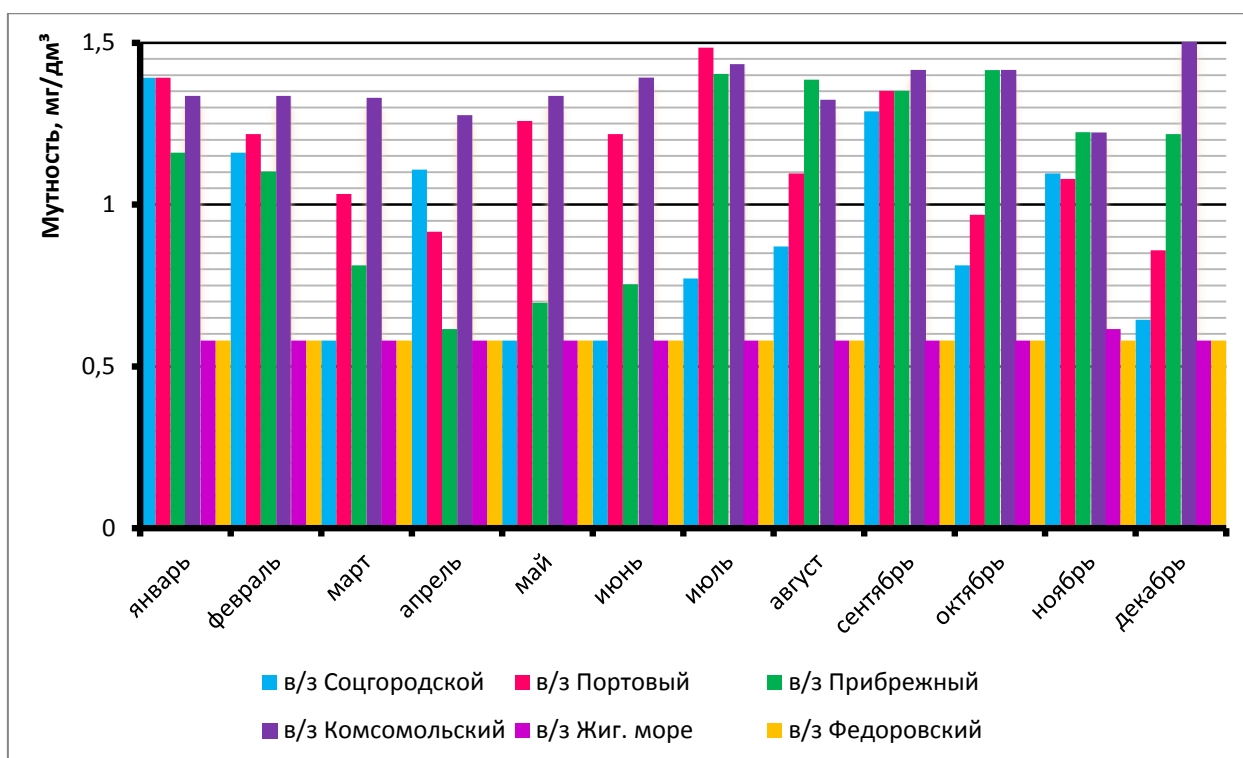


Рисунок 3.3 – Информация о качестве питьевой воды по мутности (мг/дм³) на водозаборах Центрального и Комсомольского районов г.о. Тольятти перед подачей в разводящую сеть за 2018 год

Согласно [2, табл. 2] нормативы (предельно допустимые концентрации (ПДК), на содержание в питьевой воде железа (Fe, суммарно) составляет 0,3 (1,0)² и марганца (Mn, суммарно) 0,1(0,5)². Ознакомиться с ними можно в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Показатели качества питьевой воды

Показатели	Нормативы (предельно допустимые концентрации элементов), не более
1	2
Железо (Fe, суммарно)	0,3 (1,0) ² мг/л
Марганец (Mn, суммарно)	0,1(0,5) ² мг/л

Величина, указанная в скобках, может быть установлена по постановлению главного государственного санитарного врача по соответствующей территории для конкретной системы водоснабжения на основании оценки санитарно-эпидемиологической обстановки в населенном пункте и применяемой технологии водоподготовки.

Для Центрального и Комсомольского районов г.о. Тольятти Главным государственным санитарным врачом по г. Тольятти на 2016 год – входящим письмом № 18-04/7798 от 25.12.2015 г; на 2017 год - Постановлением №1 от 30.12.16 г.; на 2018 год - входящим письмом № 18-04/8949 от 28.12.2017 г; Главным государственным санитарным врачом по Самарской области С.В.Архиповой Постановлением № 10-п от 05.06.2018 г. (бессрочным) на основании ст.19 и ст.51 ФЗ №52 от 30.03.99 г. «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения и [2, п.3.4.3.] установлена величина ПДК, на содержание в питьевой воде железа (Fe, суммарно) составляет 0,7 и марганца (Mn, суммарно) 0,5 (мг/дм³). Данные о качественном составе воды по содержанию железа (мг/дм³) на водозаборах Центрального и Комсомольского районов города Тольятти за период 2016-2018 годов представлены в виде диаграмм (рисунки 3.4-3.6).

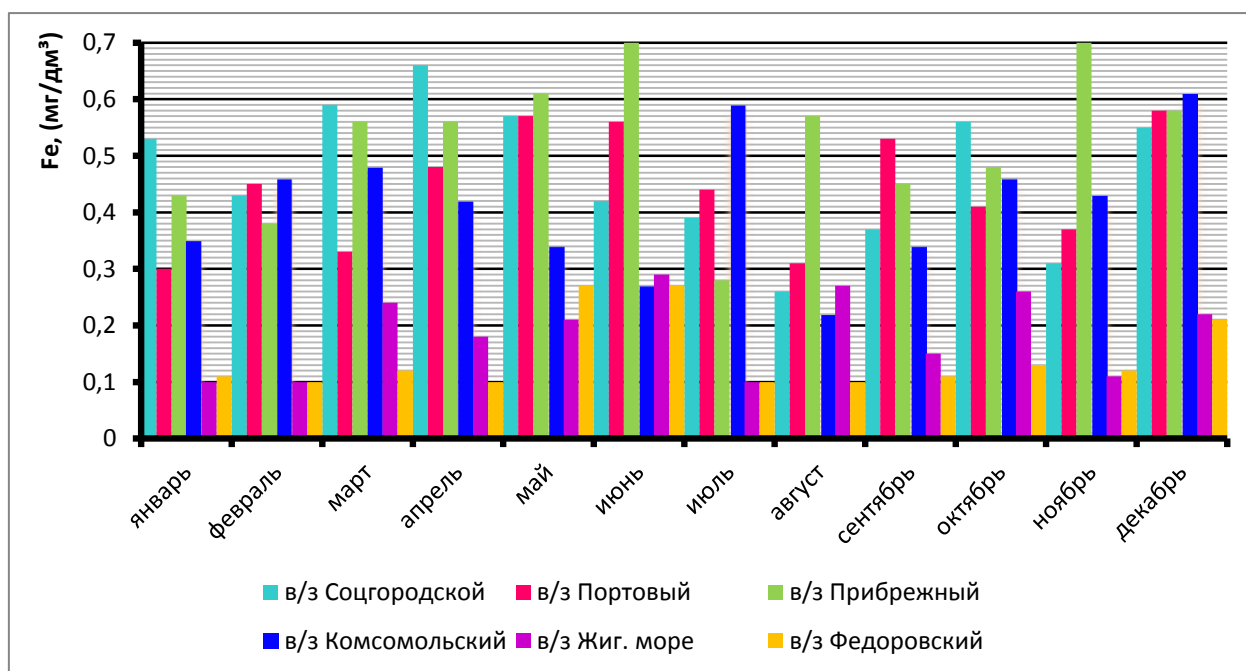


Рисунок 3.4 – Информация о качестве питьевой воды по содержанию железа (мг/дм³) на водозаборах Центрального и Комсомольского районов г.о. Тольятти перед подачей в разводящую сеть за 2016 год

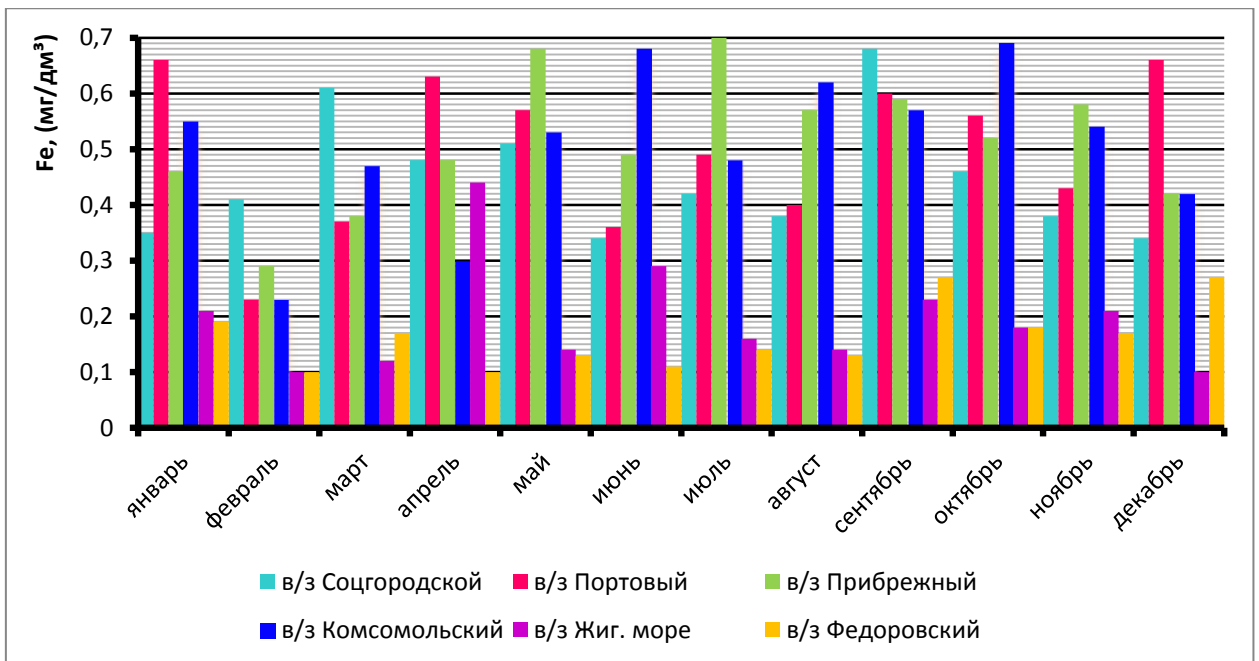


Рисунок 3.5 – Информация о качестве питьевой воды по содержанию железа (мг/дм^3) на водозаборах Центрального и Комсомольского районов г.о. Тольятти перед подачей в разводящую сеть за 2017 год

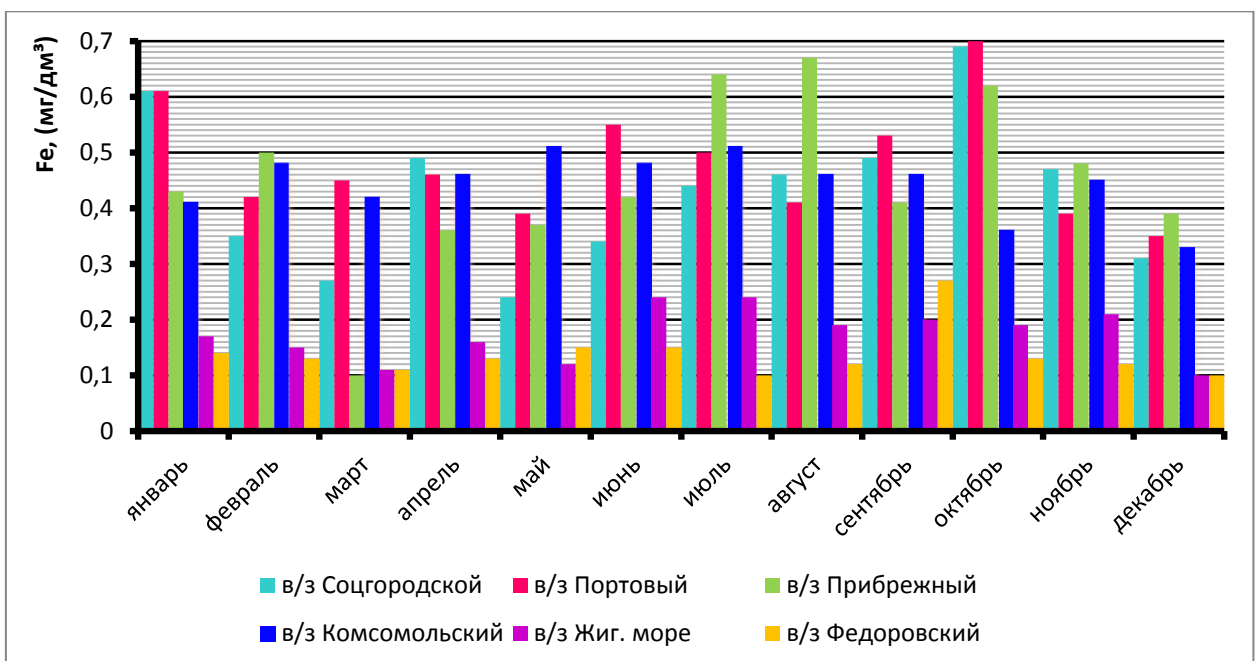


Рисунок 3.6 – Информация о качестве питьевой воды по содержанию железа (мг/дм^3) на водозаборах Центрального и Комсомольского районов г.о. Тольятти перед подачей в разводящую сеть за 2018 год

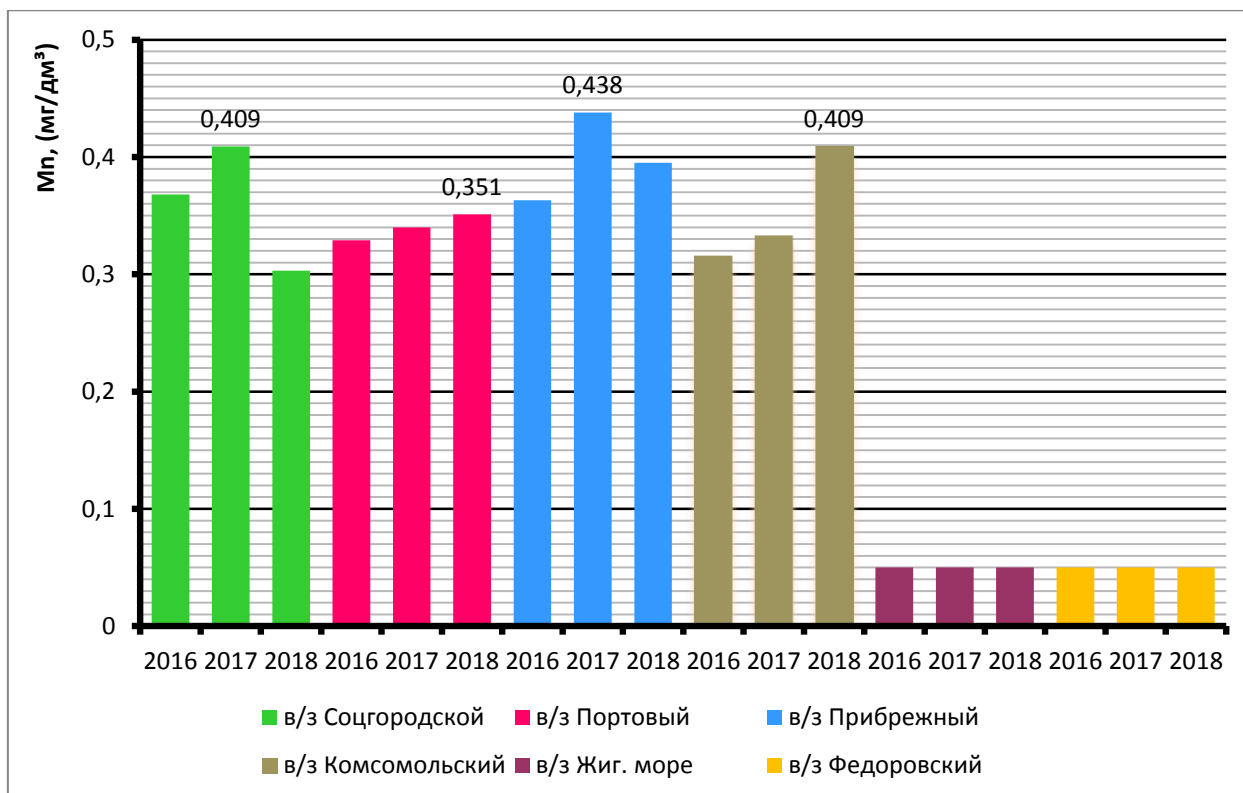


Рисунок 3.7 – Информация о качестве питьевой воды по содержанию марганца (мг/дм³) на водозаборах Центрального и Комсомольского районов г.о. Тольятти перед подачей в разводящую сеть за 2016, 2017, 2018 года

Наглядно просмотрев, изучив и проанализировав имеющуюся информацию о качественном составе питьевой воды по мутности и содержанию железа и марганца на водозаборах Центрального и Комсомольского районов города Тольятти, можно сделать вывод о том, что добываемая и транспортируемая потребителям питьевая вода соответствует требованиям СанПиН[2]. Однако не может остаться незамеченным тот факт, что гигиенический норматив содержания железа и марганца в воде водозаборных сооружений и распределительной сети системы хозяйственно-питьевого водоснабжения для Центрального и Комсомольского районов г.о.Тольятти согласно Постановлений главного санитарного врача по городу Тольятти, Ставропольскому району, городу Жигулевску Самарской области С.М. Безделина и Постановления № 10-п от 05.06.2018 г. Главного государственного санитарного врача по Самарской области С.В. Архиповой на основании ст.19 и ст.51 Федерального закона №52 от 30.03.99 г. «О

санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» и [2, п.3.4.3.] увеличен на содержание в питьевой воде железа (Fe, суммарно) с 0,3 до 0,7 мг/дм³ и марганца (Mn, суммарно) с 0,1 до 0,5 (мг/дм³). Таким образом, документально питьевая вода соответствует нормам, однако на некоторых водозаборах максимальные показатели качества воды по содержанию железа и марганца приближаются к предельно-допустимым.

Максимальные значения показателей воды по мутности, содержанию железа и марганца приближаются, а в некоторых случаях достигают предельно допустимых значений на водозаборах «Комсомольский», «Портовый», «Соцгородской», «Прибрежный».

Чем же опасны превышения данных показателей и почему я акцентирую на них свое внимание? Если превышение предельно допустимых концентраций железа (Fe) в питьевой воде способствует увеличению заболеваний печени и крови, увеличению риска инфарктов и аллергических реакций, то марганец (Mn) считается одним из наиболее часто встречающихся токсичных элементов в составе родниковой воды и воды из скважин и при превышении ПДК может вызывать множество нежелательных последствий для здоровья. Концентрация железа в воде подвержена заметным сезонным колебаниям.

При превышении допустимой концентрации Mn в питьевой воде, жидкость приобретает желтоватый оттенок и имеет малопрятный вяжущий привкус. Пить такую воду не только неприятно из-за плохого вкуса, но и опасно для здоровья. Повышенное содержание марганца в питьевой воде грозит заболеваниями печени, в которой, в основном, и концентрируется этот металл. В результате постоянного употребления питьевой воды, в которой превышено содержание данного химического элемента, может начаться хроническое отравление этим металлом. В случае неврологической формы отравления при проникновении марганца в каналцы нервных клеток, происходит торможение прохождения нервных импульсов у пациента

наблюдается полное безразличие к происходящим вокруг событиям, сонливость, потеря аппетита, головокружения, сильные головные боли. Отравление марганцем очень сложно диагностировать, ввиду того, что симптомы отравления марганцем присущи многим заболеваниям. Марганец накапливается в организме человека и его почти невозможно вывести. У женщин, употребляющих во время беременности воду с повышенной концентрацией марганца, высок процент рождаемости умственно неполноценных детей. Поэтому в настоящее время, считаю важным, бережно относиться к здоровью населения, контролировать безопасность и качество употребляемой нами воды и не допускать даже минимальных превышений ПДК элементов.

3.2 Разработка возможного технологического решения водоподготовки из подземного источника

Проанализировав в п.3.1 состояние питьевой воды перед подачей в распределительную сеть на водозаборах города Тольятти, для решения обозначенной выше существующей необходимости предусмотреть ступень очистки воды, которая будет способствовать минимизированию показателей по мутности, содержанию железа и марганца предлагается к внедрению установка нанофльтрации на водозаборе «Комсомольский» как самом нуждающемся в улучшении качества воды. Водозабор «Комсомольский» питает мкр. Жигулевское море и мкр. Шлюзовой города Тольятти. Проектная производительность водозабора «Комсомольский» - 6 тыс.м³/сут. С показателями средней суточной и максимальной суточной производительности можно ознакомиться по таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Производительность сооружений в/з "Комсомольский"

Год	Проектная, тыс. м ³ /сут	Годовая, тыс.м ³ /год	Суточная (средняя), тыс. м ³ /сут	Суточная (максимальная, при отсутствии данных рассчитывается), тыс. м ³ /сут
1	2	3	4	5
2016	6,00	1 190,44	3,25	4,80
2015		1 361,00	3,73	4,37
2014		1534,30	4,19	5,10
2013		1361,00	3,73	5,51

Так как качество исходной воды по всем показателям удовлетворяет требованиям (п.2.4), то предварительная очистка поступающей на мембраны воды не предусматривается. Качество воды на в/з "Комсомольский" перед подачей в распределительную сеть за 2018 год можно ознакомиться по таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Качество воды перед подачей в распределительную сеть на в/з "Комсомольский" за 2018 год

Показатели качества	Ед. изм.	Норматив	Средние значения максимальных показателей за год
1	2	3	4
Мутность	ЕМФ	2,6	2,340
Цветность	градус	20,0	2,725
Железо	мг/дм ³	0,7 *	0,440
Общее микробное число	КОЕ/1 см ³	не>50 в 1 см ³	0
Общие колиформные бактерии	КОЕ/100 см ³	отсутствие	отсутствие
Термотолерантные колиформные бактерии	КОЕ/100 см ³	отсутствие	отсутствие
Споры сульфит редуцирующих клостридий	КОЕ/20 см ³	отсутствие	отсутствие

Предлагаемую схему очистки можно посмотреть на рисунке 3.8.

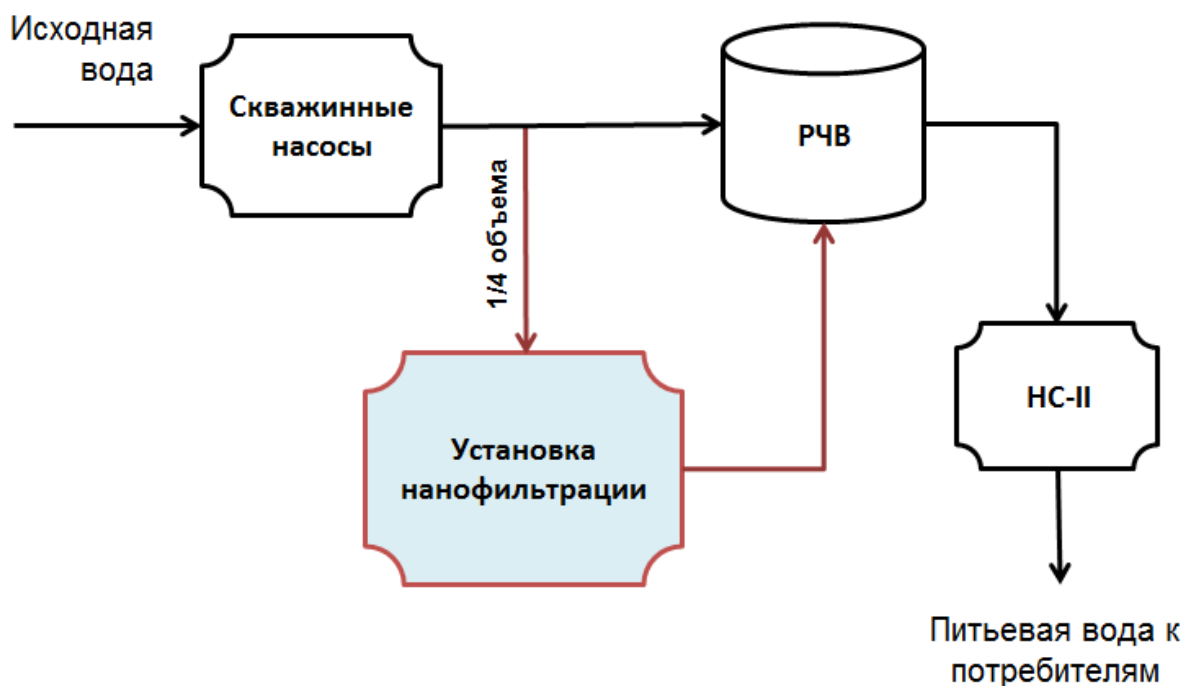


Рисунок 3.8 – Рекомендации для усовершенствования схемы технологии очистки питьевой воды на в/з «Комсомольский»

В данной технологической схеме предполагается очистка 1/4 части от объема всей производительности, т.е. 1,5 тыс.м³/сут (250,0 м³/ч). Таким образом, не произойдет очистка воды до дистиллированного состояния, сохранится минимальный комплекс минеральных веществ, а содержание железа и марганца уменьшаться до рекомендуемых.

Подбор оборудования производится исходя из проектной производительности в 250,0 м³/ч. С техническими характеристиками стандартных установок обратного осмоса можно ознакомиться в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Технические характеристики стандартных установок обратного осмоса

Модель	Производительность, м ³ /ч	Кол-во мембранных элементов в корпусе x количество корпусов, шт.	Габаритные размеры, Д x Ш x В, мм	Мощность, кВт	Масса, кг
1	2	3	4	5	6
Коммерческие обратноосмотические системы серии WWRO Ocean					
WWRO 6001	6	1x1	705x490x1 500	1.02	60
WWRO 10001	10	1x2	705x490x1 500	1.02	65
WWRO 15001	15	1x3	850x490x1 500	1.1	70
WWRO 20001	20	1x4	850x490x1 500	1.1	80
WWRO 25001	25	1x5	1190x810x1780	2.3	198
WWRO 30001	30	1x6	1190x810x1780	2.3	214
WWRO 40001	40	1x8	1190x810x1780	3.1	231
Промышленные установки ZauberROS-W (для воды с солесодержанием <1500 мг/л)					
ZauberROS-3W	2,0..2,5	3x1	4000x1000x1600	3,0	247
ZauberROS-4W	3,0..3,5	4x1	5000x1000x1600	4,0	299
ZauberROS-6W	5,0..5,5	3x2	4000x1000x1600	4,0	362
ZauberROS-8W	7,0..7,5	4x2	5000x1000x1600	5,5	432
ZauberROS-9W	8,0..8,5	3x3	4000x1000x1600	5,5	516
ZauberROS-12W	10,0..11,0	3x4	4000x1000x1800	7,5	612
ZauberROS-15W	13,0..14,0	3x5	6000x1000x2000	11,0	715

Продолжение таблицы 3.6

1	2	3	4	5	6
ZauberROS-16W	15,0..15,5	4x4	5000x1000x1800	11,0	746
ZauberROS-24W	22,0..23,5	4x6	5000x1800x1600	15,0	1 010
ZauberROS-32W	30,0..31,0	4x8	5000x1800x1800	22,0	1 395
ZauberROS-45W	42,0..44,0	5x9	6000x2000x2000	30,0	1 792
ZauberROS-54W	50,0..52,0	6x9	7000x2000x2000	37,0	2 049
ZauberROS-72W	68,0..70,0	6x12	7000x2000x2300	37,0	2 660

Согласно вышеуказанных характеристик подбираем оборудование:

1-й вариант: установка WWRO 40001 производительностью 40 м³/ч, требуемое количество – 7 шт.

2-й вариант: установка ZauberROS-54W производительностью 50-52 м³/ч, требуемое количество – 5 шт.

3.3 Описание современного состояния питьевого водоснабжения

Автозаводского района города Тольятти

В настоящее время большинство поверхностных источников, предназначенных для целей питьевого водоснабжения, оказались подвержены интенсивному органическому загрязнению. Куйбышевское водохранилище, воды которого питают Автозаводский район города Тольятти, наряду с другими источниками подвергается интенсивному органическому загрязнению.

«Охарактеризовать экологическую ситуацию в Куйбышевском водохранилище можно как крайне сложную. Город Тольятти находится у

приплотинной зоны водохранилища. Такие зоны являются самыми неблагоприятными по формированию качества воды» [14]. «Воды водохранилища относятся к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе. Минерализация в зависимости от сезона и водности года в Куйбышевском водохранилище изменяется от 130 мг/л (река Волга) до 167,9 мг/л (река Кама) весной и до 674,3 мг/л (река Кама) зимой. Категория воды по степени жесткости – мягкая и умеренно-жесткая. Неагрессивная по ионному составу и минерализации вода пригодна для питья и орошения. За время существования водохранилища изменились лишь некоторые химические показатели воды: по сравнению с Волгой (1952–1954) выросло количество растворенного кислорода (от 85 до 99%) и биогенных веществ, уменьшилось содержание железа, кремния, снизилась перманганатная окисляемость.

Водные массы отличаются в основном цветностью и прозрачностью воды. Показатели изменяются в зависимости от сезона. В воде приплотинного плеса прозрачность изменяется от 80–95 см в мае до 220–225 см в октябре. В теплый период года рН составляет 7,93–8,24. Содержание O_2 также изменяется незначительно по всей толще воды – 8-11 мг/л. Содержание CO_2 колеблется около 2 мг/дм³»[51].

Вода в поверхностном источнике водоснабжения подвержена загрязнению, как упоминалось в п.1.2, в результате хозяйственной деятельности человека по сбросам недостаточно очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод в городах выше по течению реки Волга. Наибольший сброс сточных вод и соответственно поступление химических соединений дает Республика Татарстан.

Ежедневные, постоянные промышленные сбросы, содержащие азот и фосфор, являются причиной чрезвычайно быстрого и весьма масштабного распространения сине-зеленых одноклеточных водорослей, которые в свою очередь становятся причиной гибели рыбы и птицы.

На рисунке 3.9 представлена существующая технологическая схема очистки питьевой воды на станции водоподготовки ООО «Автоград Водоканал».

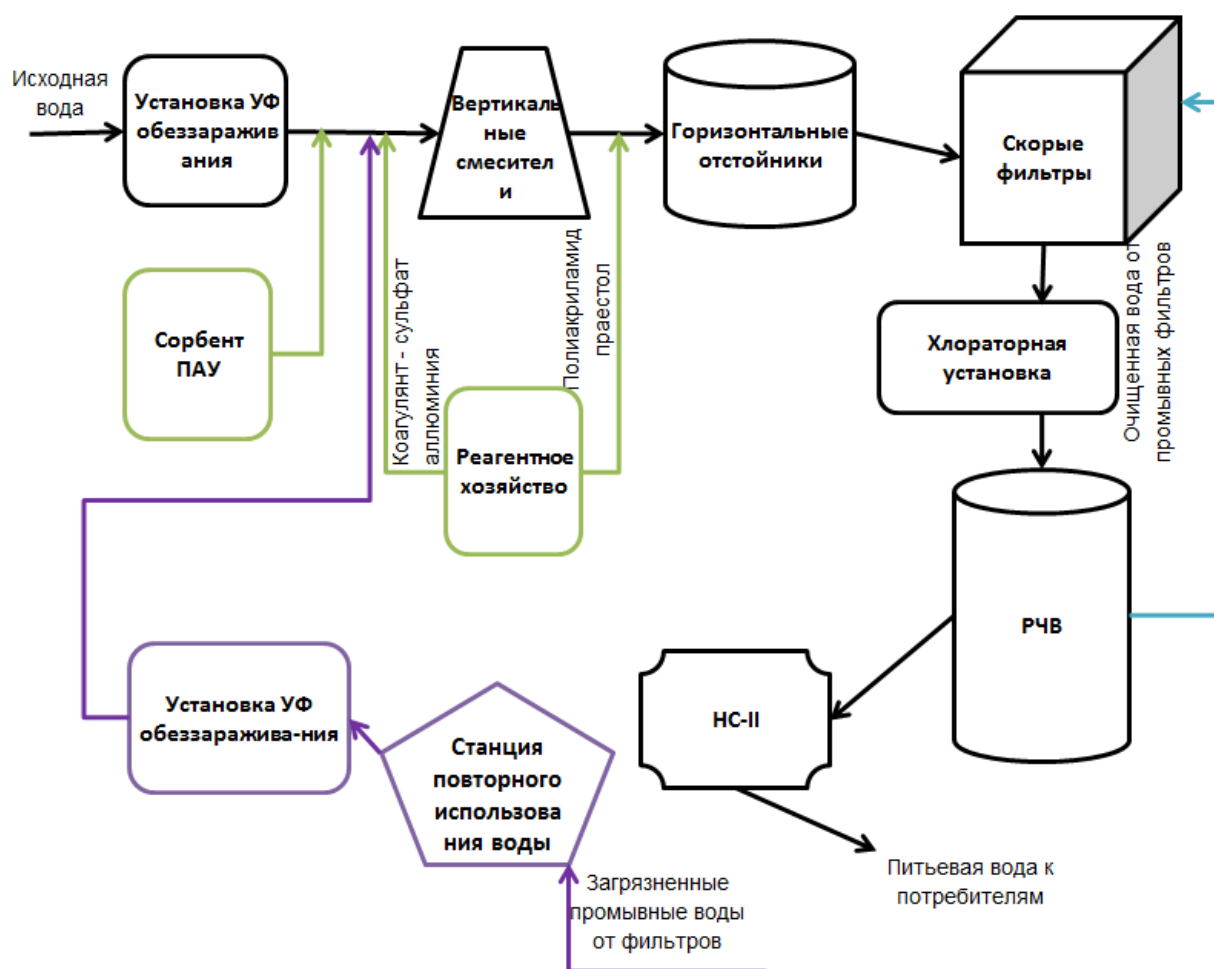


Рисунок 3.9 – Существующая схема технологии очистки питьевой воды на станции водоподготовки ООО «Автоград Водоканал»

Дата ввода в эксплуатацию водопроводно-очистных сооружений ООО «Автоград-Водоканал» август 1970 года. «Водопроводно-очистные сооружения занимаются очисткой волжской воды до питьевого качества. В состав комплекса сооружений очистки питьевой воды входят:

- установки УФ-обеззараживания (4 блока);
- реагентное хозяйство;
- вертикальные смесители (4 шт.);

- горизонтальные отстойники с зоной взвешенного осадка и зоной осаждения (4 шт.);
- открытые скорые фильтры с керамзитовой загрузкой (16 шт.);
- хлораторная;
- резервуары питьевой воды (4 шт. по 20 000 м³ каждый);
- насосная станция 2-го подъема;
- станция повторно используемой воды с 2-мя резервуарами по 1 000 м³ каждый;
- система шламоудаления;
- сети хоз-питьевого и противопожарного водоснабжения;
- сети подачи технической воды.

На очистных сооружениях водоподготовки применяются следующие методы очистки: обеззараживание воды ультрафиолетом, коагулирование, отстаивание, фильтрование, стабилизационная обработка, обеззараживание хлором. Поступающая волжская вода распределяется на 4 независимые технологические линии обработки воды.

Первичное обеззараживание воды осуществляется с применением УФ-комплекса, состоящего из 16 установок ультрафиолетового обеззараживания воды, производительностью до 1 100 м³/ч каждая, смонтированные в блоки по 4 установки на 4 технологических ветках» [30].

«Применяемые технологии очищают воду в основном от дисперсных частиц. Молекулярно-растворенные вещества и ионы остаются в воде. Некоторое удаление органических соединений обеспечивается при помощи добавления коагулянта и системы обеззараживания, но при столь очевидном органическом загрязнении этого недостаточно. Таким образом, многие токсичные вещества не улавливаются на водоочистных сооружениях и попадают в водопроводную сеть» [30].

Поэтому существует необходимость предусмотреть еще одну ступень доочистки воды, которая будет способствовать доведению ее до нормативного качества по нескольким показателям органического загрязнения.

«Учитывая, что население растет, экология ухудшается, требования к качеству воды ужесточаются, следует предполагать, что используемые в настоящее время технологические схемы подготовки воды со временем (10-15 лет) не смогут доводить воду до необходимого качества, а многие пользователи уже и сейчас устанавливают дополнительные фильтры для очистки воды. Таким образом, в перспективе для Куйбышевского водохранилища целесообразно рассматривать технологические схемы, включающие в себя ступени очистки с применением мембранных фильтров»[14].

3.4 Разработка возможного технологического решения водоподготовки из поверхностного источника

1-й вариант: для решения обозначенной выше существующей необходимости предусмотреть дополнительную ступень доочистки воды, которая будет способствовать доведению ее до нормативного качества по показателям органического загрязнения, предлагается установить блок трубчатых ультрафильтрационных мембран после скорых фильтров, перед вторичным обеззараживанием.

Предлагаемую доработанную схему можно осмотреть на рисунке 3.10.

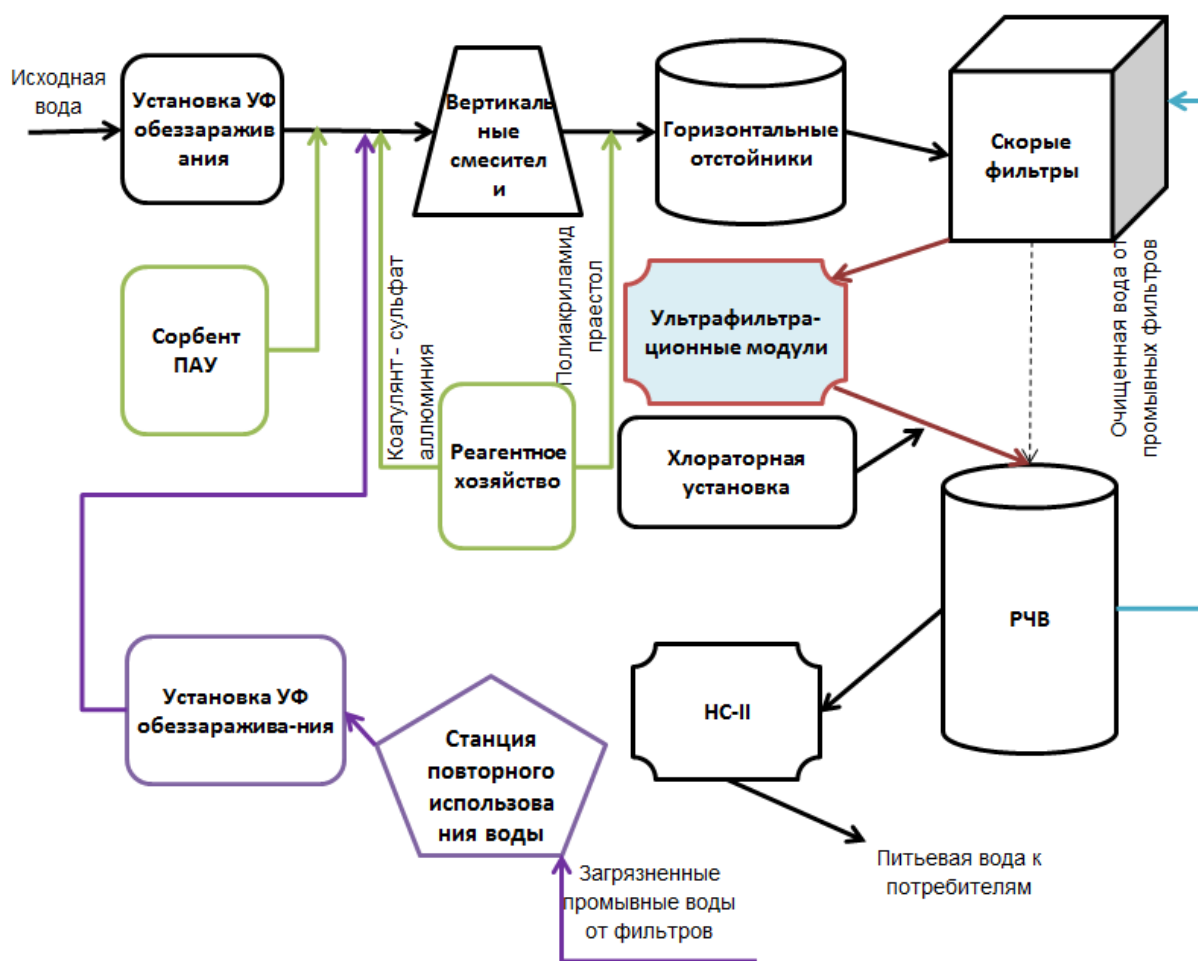


Рисунок 3.10 – Рекомендации для усовершенствования схемы технологии очистки питьевой воды на ООО «Автоград Водоканал»

Проектная производительность водозаборных сооружений – 378,0 тыс.м³ в сутки (15,75 тыс.м³/ч). Фактическая производительность – 332,0 тыс.м³ в сутки (13,83 тыс.м³/ч). Сооружения водоподготовки ООО «Автоград Водоканал» обеспечивают хозяйственно-питьевые производственные и противопожарные потребности жилого района города Тольятти (50% общей производительности); предприятий промышленно-коммунальной зоны, «ТЭЦ ВАЗа» Самарского филиала ОАО «Волжская ТГК», ОАО «АВТОВАЗ» (50% общей производительности).

Подбор оборудования производится исходя из половины проектной производительности в 7,875 тыс.м³/ч. С техническими характеристиками стандартных установок ультрафильтрации можно ознакомиться в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Технические характеристики стандартных установок ультрафильтрации [50]

Модель	Производительность, м ³ /ч	Мощность, кВт	Вес, кг	Габариты, мм
1	2	3	4	5
ПВО-UF-5	5	4	205	1400x1100x1900
ПВО-UF-10	10	4	310	1400x1100x1900
ПВО-UF-20	20	8	550	1700x1000x2400
ПВО-UF-30	30	12	730	3050x1000x2400
ПВО-UF-40	40	16	920	3400x1000x2400
ПВО-UF-50	50	20	1110	4050x1300x2400
ПВО-UF-60	60	24	1300	4400x1300x2400
ПВО-UF-70	70	28	1520	4750x1300x2400
ПВО-UF-80	80	32	1710	5100x1300x2400
ПВО-UF-90	90	36	1910	5400x1300x2400

Согласно вышеуказанных характеристик и проектной производительности подбираем оборудование:

установка ПВО-UF-90 производительностью 90 м³/ч, требуемое количество – 88 модулей. Для такого количества трубчатых модулей будет необходим их вынос в отдельно стоящее здание размером L=18000 мм, B=10000 мм (блоками длиной L=5400 мм, шириной B=1300 мм в 2 ряда).

Внешний вид трубчатых модулей ультрафильтрации серии ПВО-UF можно посмотреть на рисунке 3.11. Расположение модулей блоками представлено на рисунке 3.12.

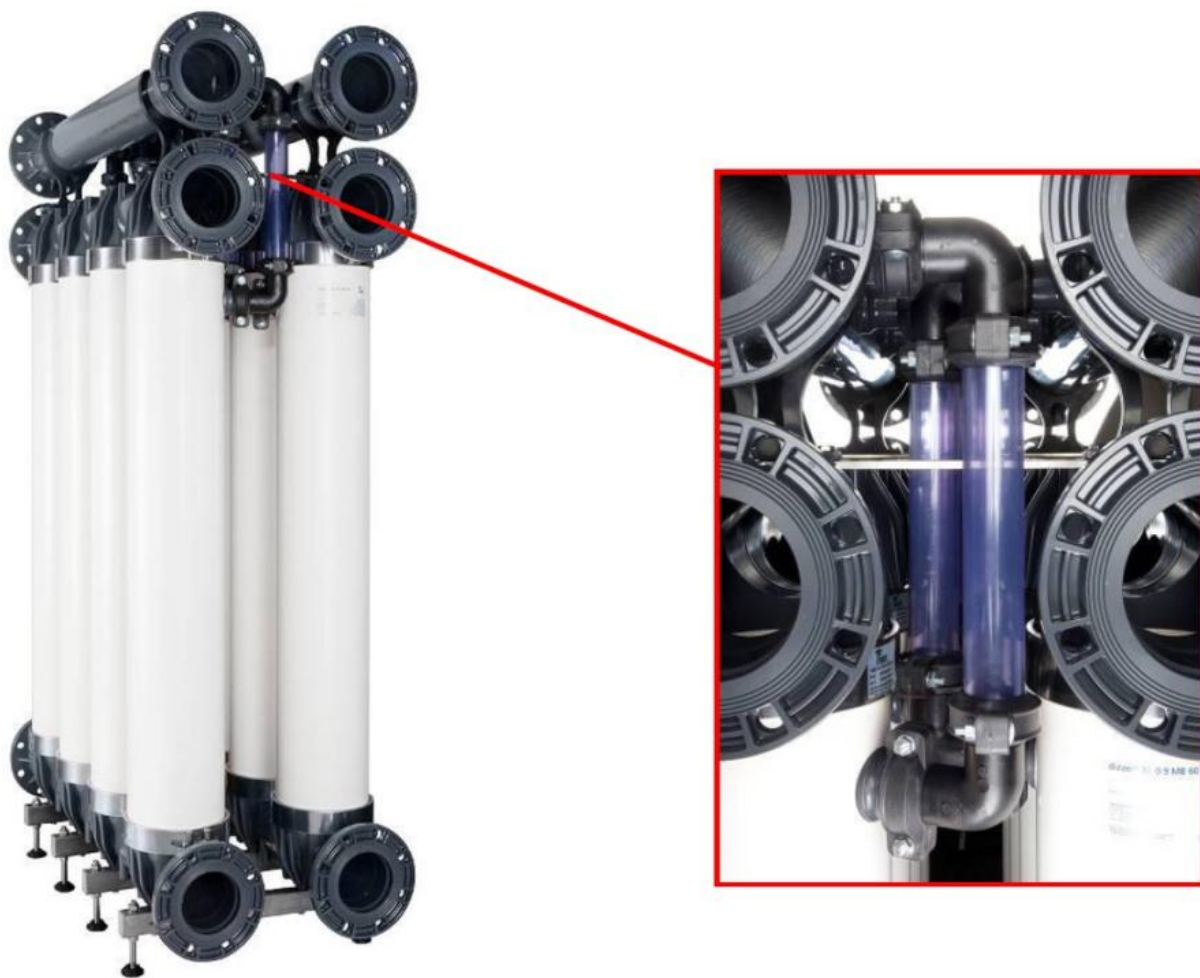


Рисунок 3.11 – Трубчатые модули ультраfiltrации серии ПВО-UF



Рисунок 3.12 – Блок трубчатых модулей ультраfiltrации серии ПВО-UF

3.5 Выводы по главе 3

1. В третьей главе произведена оценка современного состояния качества питьевой воды на водозаборах города Тольятти перед подачей в разводящую сеть, выявлены болевые точки, разработаны предложения по их минимизированию.

2. Также произведена оценка современного состояния качества питьевой воды на в Автозаводском районе города Тольятти перед подачей в разводящую сеть, выявлены болевые точки, разработаны предложения по их минимизированию.

3. Выполнена разработка возможного технологического решения водоподготовки исходя из рациональности и необходимости применения мембранных технологий в подготовке питьевой воды из подземного источника для мкр. Жигулевское море и мкр. Шлюзовой города Тольятти, а также из поверхностного источника для Автозаводского района.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ особенностей качества питьевой воды в поверхностных и подземных источниках. Качественный состав воды в подземных источниках чаще всего отличается от поверхностных высоким содержанием минеральных солей, высокой жесткостью. В поверхностных же источниках часто превышены показатели по мутности, цветности, содержанию взвешенных частиц, органических соединений. В период цветения водоемов требуется очистка от водорослей. Основной причиной того, что классические схемы водоподготовки не справляются с очисткой воды, является постоянно изменяющееся и ухудшающееся качество воды в водоисточниках.

2. Произведена оценка современного состояния качества питьевой воды на водозаборах в Автозаводском районе города Тольятти перед подачей в разводящую сеть. Выявлены болевые точки в каждом районе, разработаны предложения по их минимизированию.

3. Выбраны возможные технологические решения реконструкции традиционных схем водоподготовки путем внедрения этапа доочистки с применением мембранных технологий. Для поверхностного источника оптимальным является метод ультрафильтрации, ее роль заключается в глубоком удалении взвешенных частиц и в стерилизации воды. Для подземного источника оптимальным методом доочистки является нанофильтрация. Этот метод эффективен для удаления цветности, удаления жесткости, металлов, общего снижения содержания растворенных веществ.

Основные положения диссертации опубликованы в 2 статьях автора:

1. Немчинова, Е.Е. Мембранная очистка воды как альтернатива традиционным методам водоподготовки // Материалы XX международной научно-практической конференции «Города России: проблемы

строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии» / МНИЦ Пензенский ГАУ. – Пенза: РИО ПГАУ, 2018. – С.76-83).

2. Немчинова, Е.Е. Современное состояние питьевого водоснабжения Центрального и Комсомольского районов г.о. Тольятти // Материалы XXI международной научно-практической конференции «Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии» / МНИЦ Пензенский ГАУ. – Пенза: РИО ПГАУ, 2019. – С.105-111).

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 2761-84. «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://internet-law.ru/gosts/gost/4394/> (дата обращения: 20.02.2019).
2. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения». [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/901798042> (дата обращения: 20.02.2019).
3. ГН 2.1.5.689-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Минздрав России, Москва, 1998.
4. Розенберг, Г.С., Выхристюк, Л.А. Куйбышевское водохранилище (научно-информационный справочник) / Отв. ред. Г.С. Розенберг, Л.А. Выхристюк. – Тольятти : ИЭВБ РАН, 2008. – 123 с.
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 22 декабря 2010 г. N 1092 г. Москва "О федеральной целевой программе "Чистая вода" на 2011 - 2017 годы" [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rg.ru/2011/01/24/chistaya-voda-site-dok.html> (дата обращения: 12.03.2019).
6. Причины образования отложений и последствия зарастания трубопроводов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.woodheat.ru/doklad/pipe.html> (дата обращения: 12.03.2019).
7. Мосводоканал. Водоснабжение [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.mosvodokanal.ru/watersupply/> (дата обращения: 16.03.2019).

8. Degremont/ Технический справочник по обработке воды СПб. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.twirpx.com/file/62660/> (дата обращения: 18.03.2019).
9. Baker, R.W. Membrane technology and applications. 2nd edition / R.W. Baker // Wiley, 2004. - 538 p.
10. Беликов, С.Е. Водоподготовка: Справочник. /Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. – М. : Аква-Терм, 2007. – 240 с.
11. Брок, Т. Мембранная фильтрация. Пер. с англ. - М. : Мир, 1987. — 464 с.
12. Дытнерский, Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет: Монография серии «Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии» / Ю.И.Дытнерский. – М. : Химия, 1986., — 272 с.
13. Мулдер, М. Введение в мембранную технологию / М. Мудлер. – М. : Мир, 1999. – 350 с.
14. Меркурьева, А.О.Обоснование использования мембранных технологий для очистки природной воды. : магистерская диссертация [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://dspace.tltsu.ru/xmlui/handle/123456789/7939> (дата обращения: 10.04.2019).
15. Стариков, С.Е.Регенерация санитарно-гигиенической воды на основе баромембранных методов для условий длительных космических экспедиций. : диссертация ... кандидата технических наук : 05.26.02 Москва 2009. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://dlib.rsl.ru/01004274876> (дата обращения: 10.04.2019).
16. Leslie Lee Microfilters, major results. / Lee Leslie // Journal H2O, fall-2017. – 84 p.
17. Абдуллин, И.Ш. Тенденции развития рынка композиционных полимерных мембран. / Абдуллин И.Ш., Ибрагимов Р.Г., Зайцева О.В,

Парошин В.В. // Журнал Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – 64 с.

18. Абдуллин, И.Ш. Современные методы изготовления композиционных мембран. / Абдуллин И.Ш., Ибрагимов Р.Г., Зайцева О.В., Парошин В.В. // Журнал Вестник Казанского технологического университета. 2013. – 150 с.

19. Качество воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://volcomsys.ru/Kachestvo> (дата обращения: 28.03.2019).

20. Березин, И.И. Оценка качества воды хозяйственно-питьевого водоснабжения г.о. Самара. / И.И. Березин, Г.И. Мустафина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, том 12, №1(8), 2010.

21. Березин, И.И. Региональные особенности химического состава питьевой воды хозяйственно-питьевого водоснабжения города Самары. / И.И. Березин, Г.И. Мустафина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, том 13, №1(8), 2011.

22. Evaluation and implementation of a membrane filter method for Cronobacter detection in drinking water [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://academic.oup.com/femsle/article/344/1/60/552399> (дата обращения: 29.03.2019).

23. Гафуров, Н.М. Общие сведения о мембранной технологии очистки воды / Н.М. Гафуров, Н.Е. Кувшинов // Международный научный журнал «Инновационная наука» №4/2016 ISSN 2410-6070, 2016.

24. Громов, С.Л., Федосеева Е.Б. Мембранные технологии для очистки воды в пищевой промышленности. ЗАО «НПК Медиана-Фильтр».

25. Исакова, О.Н. Санитарно-гигиеническая оценка качества воды централизованного водоснабжения города Самары. / О.Н. Исакова, О.В. Сазонова, Ю.А. Егорова, Л.И. Бедарева, И.И. Березин, И.Ф. Сухачева, Л.Н. Вистяк // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, том 16, №5(2), 2014.

26. Ландырев, А.М. Повышение эффективности работы микропористой мембраны в системах водоподготовки промышленных предприятий. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук РХТУ им. Менделеева. 2016.

27. Назаров, В.Д. Очистка природных вод от бария и солей жесткости. / В.Д. Назаров, М.В. Назаров, А.А. Осипова, К.В. Димов, М.А. Дремина // Журнал Градостроительство и архитектура Т.7, №2, 2017.

28. Павлинова, И.И. Совершенствование методов биотехнологии в строительстве и эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения: аналит. исслед. / И.И. Павлинова, Л.С. Алексеев, М.А. Неверова; М-во образования и науки Росс. Федерации, Моск. гор.строит. ун-т. Москва : МГСУ, 2014. 152 с. (Библиотека научных разработок и проектов НИУ МГСУ).

29. Первов, А.Г. Метод ультрафильтрации в современном водоснабжении. / А.Г. Первов, А.П. Андрианов // Журнал Сантехника №5, 2006.

30. Первов, А.Г. Современное состояние вопроса очистки поверхностных вод с помощью ультрафильтрации. / А.Г. Первов, А.П. Андрианов // Журнал Вестник МГСУ. 2010.

31. Первов, А.Г. Прогноз показателей работы нанофильтрационных мембран и выбор оптимальных доз реагентов при эксплуатации мембранных установок для получения питьевой воды. / А.Г. Первов, Р.В. Ефремов, Г.Я. Рудакова // Журнал Вестник МГСУ. 2012.

32. Первов, А.Г. Оптимизация использования процесса нанофильтрации при подготовке воды питьевого качества. Критические технологии. / А.Г. Первов, Р.В. Ефремов, А.П. Андрианов, Р.И. Макаров // Мембраны, 3 (23), , 2004. – С. 3–13

33. Садовский, Л.И. Обзор современных технологий водоподготовки и водоочистки на примере внедрения мембранных систем и реагентных

программ. / Л.И. Садовский, А.И. Алиакбарова // Журнал Экономика и предпринимательство, №9, 2016.

34. Сайриддинов, С.Ш. Анализ проблемы водоснабжения и водоотведения в Поволжье и обоснование ее решения программными методами. / С.Ш. Сайриддинов, В.А. Селезнев, А.В. Селезнева // Журнал Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. №4(21), 2015.

35. Свитцов, А. Мембранные технологии в России / А. Свитцов // Журнал TheChemicalJournal, 2010.

36. Тунакова, Ю.А. Оценка эффективности фильтров для доочистки питьевых вод в конечной точке потребления. / Ю.А. Тунакова, А.Р. Галимова и Ю.А. Шмакова // Журнал Вестник Казанского технологического университета. 2012.

37. Френкель, В.С. Мембранные технологии: прошлое, настоящее и будущее (на примере Северной Америки) / В.С.Френкель // Журнал Водоснабжение и санитарная техника №8, 2010.

38. Харитонов, А.С. Применение технологии мембранной очистки воды в качестве альтернативы классической технологии водоподготовки. / А.С. Харитонов, В.А. Селезнев, В.М. Филенков // Журнал Вестник НГИЭИ. 2014.

39. Шаповалов, Д.А. Исследование и оптимизация режимов работы обратноосмотических установок в задачах построения ВПУ для ТЭС. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук Национальный исследовательский университет МЭИ. 2016.

40. HSY [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.hsy.fi. (дата обращения: 08.05.2019).

41. CityofDallas [Электронный ресурс]. – Режим доступа : dallascityhall.com (дата обращения: 08.05.2019).

42. Вода в Японии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.nippon.com/ru/views/b06301> (дата обращения: 08.05.2019).

43. ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». Водоснабжение. Технологии очистки [Электронный ресурс]. – Режим доступа :

http://www.vodokanal.spb.ru/vodosnabzhenie/tehnologii_ochistki/ (дата обращения: 08.05.2019).

44. Медиана фильтр [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.mediana-filter.ru/kh_c.html (дата обращения: 08.05.2019).

45. Мембранные технологии. Альтернатива «классическим» методам очистки и подготовки воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://univod.ru/tehnologii/membrannye-tehnologii/> (дата обращения: 15.05.2019).

46. Перманганатная окисляемость: превышение в многоквартирном доме [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://interesko.info/permanganatnaya-okislyaemost/> (дата обращения: 15.05.2019).

47. Показатели качества воды классификация природных вод [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://rushkolnik.ru/docs/114/index-7495959.html> (дата обращения: 21.06.2019).

48. Иванова, Светлана Анатольевна диссертация ... кандидата технических наук : 05.17.01 Москва 2015. – Режим доступа : http://diss.muotr.ru/media/dissertations/2015/04/Диссертация_Иванова_С.А._2015.pdf (дата обращения: 21.06.2019).

49. ГОСТ 3351-74 «Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://internet-law.ru/gosts/gost/3351/> (дата обращения: 21.06.2019).

50. Установки ультрафильтрации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://prom-water.ru/catalog/vodopodgotovka/ustanovki-ultrafiltracii/> (дата обращения: 21.06.2019).

51. Куйбышевское (Самарское) водохранилище [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://water-ru.ru/Водные_объекты/129/Куйбышевское_\(Самарское\)_водохранилище](https://water-ru.ru/Водные_объекты/129/Куйбышевское_(Самарское)_водохранилище) (дата обращения: 25.06.2019).