

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

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Центр инженерного оборудования

(наименование)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Водоснабжение городов и промышленных предприятий

(направленность (профиль)/специализация)

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Исследование технологических решений обработки  
промывных вод и осадка водопроводных очистных сооружений

Студент

И.С. Одокиенко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный руководитель

канд. техн. наук, доцент, И.А. Лушкин

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

## Оглавление

Введение.....	3
Глава 1 Анализ проблемы повторного использования промывных вод станций водоподготовки .....	7
1.1 Состав и свойства сбрасываемых промывных вод, отличие от вод поверхностных источников .....	7
1.2 Основные направления удаления промывных вод.....	9
1.3 Схемы и способы оборота промывных вод. Основные аппараты водоочистки .....	11
1.4 Выбор и обоснование технологических схем повторного использования промывных вод очистных устройств.....	21
Глава 2 Основные способы обработки и утилизации осадка .....	26
2.1 Характеристика осадков водопроводных станций.....	26
2.2 Способы обработки и утилизации осадка .....	30
2.2.1 Обезвоживание осадка в естественных условиях .....	32
2.2.2 Механическое обезвоживание.....	34
2.3 Утилизация осадка .....	44
Глава 3 Технологические решения обработки промывных вод и осадка на примере НФС г.о. Жигулевск .....	48
3.1 Описание системы и структуры водоснабжения городского округа Жигулевск.....	48
3.2 Предлагаемые схемы обработки промывных вод и осадка на Жигулевской станции водоподготовки .....	52
Заключение .....	62
Список используемых источников .....	63

## Введение

**Актуальность работы:** Большинство населенных пунктов, до 65-68%, осуществляет водозабор из поверхностных источников [28]. При этом используются традиционные и изученные технологии очистки воды, сопровождающиеся образованием осадков. Регенерация очистных устройств осуществляется их промывкой. В зависимости от свойств воды в поверхностном источнике, а также от видов и конструкций аппаратов очистки, расход воды на промывку составляет до 8-12% от общей производительности станции водоподготовки.

На большинстве станций водоочистки страны обработка промывных вод и образующегося осадка не производится [11,29,44], а удаление осадков чаще всего происходит без очистки сбросом в водоем, откуда проводится поверхностный водозабор, что приводит к его загрязнению продуктами реагентной обработки и нарушению самоочищения. Взвешенные вещества и бактериологические загрязнители увеличивают мутность рек, возникают иловые донные отложения, усиливается формирование береговой эрозии и, как следствие, увеличивается расход воды на собственные нужды станции, снижая ее производительность.

В соответствии с законом об охране окружающей среды, постановлениями и действующими экологическими нормами и правилами приема сточных вод ужесточаются требования по сбросу водопроводного осадка в поверхностные воды [42], запрещается сброс промывных вод без очистки в реки и ограничивается их объем, направляемый в сети канализации. Для снижения негативного воздействия на окружающую среду и возможности в дальнейшем утилизировать осадок его необходимо предварительно обработать, снизив влажность.

К сожалению, в отечественной практике не предлагается готовых технических решений по данному вопросу, не смотря на все возрастающий

объем производства осадка и значительный потенциал в использовании для различных нужд.

Для огромного количества станций водоподготовки страны проблема регенерации промывных вод и использования осадка не решена, так как, являясь технически сложной и достаточно затратной, требует существенных капитальных вложений, что для многих водопроводно-канализационных городских хозяйств финансово не по силам [28].

Анализируя литературные источники, можно сделать вывод о том, что вопросам обработки промывных вод и осадка уделяется недостаточно внимания на действующих станциях водоподготовки и они нуждаются в тщательном изучении, с внедрением современных технологий. Причем, решаться они должны в комплексе с вопросами водоподготовки на очистной станции, с учетом свободных площадей под расположение дополнительного оборудования, после предварительного технико-экономического обоснования, учитывая и производительность станций, и климатические условия ее расположения, и свойства регенеративных вод и осадков.

Поэтому изучение и систематизация существующих способов, поиск и разработка эффективной технологии обработки промывных вод и осадка для уменьшения экологической нагрузки на водоем является актуальной проблемой.

Данная проблема была рассмотрена на примере насосной станции фильтрации НФС г.о. Жигулевска, пущенной в эксплуатацию в 1959 году, которая физически и морально устарела, не смотря на проводимые в последние годы реконструкции.

**Цель** – исследование технологических решений обработки промывных вод и осадка водопроводных очистных сооружений на примере станции водоподготовки г.о. Жигулевска.

Для ее достижения необходимо решение следующих **задач**:

- 1) Систематизация и дополнительное изучение свойств сбрасываемых промывных вод и технологий их обработки.
- 2) Анализ состава осадков ОСВ и способов их обработки

3) Разработка возможных мероприятий по технологии обработки промывных вод и осадка и направлениям его дальнейшей утилизации на станции водоподготовки г.о. Жигулевска.

**Объект исследования** – существующие водопроводные очистные сооружения г.о. Жигулевска.

**Предмет исследования** – промывные воды и осадки очистных сооружений водопровода г.о. Жигулевска.

**Научная новизна исследования заключается в** разработке технологии повторного использования промывных вод и утилизации осадка на станциях водоподготовки.

**Методы исследования:**

В ходе проведения исследований использовались теоретические методы-операции, такие как анализ, обобщения, сравнения и классификации и экспериментальные – изучение научной и нормативной литературы в рамках изучаемого вопроса.

**Практическая значимость исследования** заключается в адаптации технологии повторного использования промывных вод и обработки осадка применительно к станции водоподготовки г. Жигулевска.

**Научные положения и результаты исследования, выносимые на защиту:**

1) Теоретический анализ проблемы станции водоподготовки г.о.Жигулевск.

2) Комплексные решения, которые смогли бы обеспечить не только эффективное, но и экономически целесообразное использование промывных вод и осадков в обороте.

**Апробация результатов исследования:**

Основные положения опубликованы в двух работах автора:

1) Одокиенко И.С. Повторное использование промывных вод водопроводных станций. [Электронный ресурс] // Дни науки в ТГУ: материалы студенческой конференции. Тольятти. 2020.

2) Лушкин И.А., Одокиенко И.С. Исследование технологических решений обработки промывных вод на примере НФС г.о. Жигулевск. // Молодежь. Наука. Общество: материалы Всероссийской студенческой научно-практической междисциплинарной конференции. Тольятти. 2020.

**Личный вклад автора в исследование** состоит в обосновании темы, цели, задач исследования и адаптации технологии повторного использования промывных вод и утилизации осадков применительно к станции водоподготовки г.о. Жигулевска.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 3 глав, выводов по работе, библиографии из 59 наименований. Общий объем работы – 70 стр., включает 16 иллюстраций и 9 таблиц.

## **Глава 1 Анализ проблемы повторного использования промывных вод станций водоподготовки**

### **1.1 Состав и свойства сбрасываемых промывных вод, отличие от вод поверхностных источников**

Образующиеся при регенерации аппаратов водоочистки сточные воды имеют различный состав и свойства в зависимости как от конструкции и состава оборудования водопроводных станций, применяемых реагентов при обработке, так и от климатических условий водозабора и качества речной воды.

В водах после промывки аппаратов водоподготовки присутствуют различные минеральные соединения и органические примеси. Кроме крупнодисперсных взвешенных частиц, при наличии камер коагуляции, в промывных водах находятся хлопья коагулянта различного диаметра, которые, осаждаясь, слипаются и увеличиваются в размерах, являясь агрегативно неустойчивой системой. Наиболее распространенными минеральными примесями, присутствующими в сточных водах после камер коагуляции, являются различные соединения алюминия.

Основными особенностями, характерными для сточных вод после регенерации аппаратов водоочистки являются:

- залповость выбросов;
- существенные изменения расходов в течение суток и года в зависимости от сезонности и цикличности промывки оборудования;
- колебания качественного состава в течение года и сменности работы.

Нестабильность количественного и качественного состава взвешенных веществ в зависимости от времен года затрудняют подбор реагентов при очистке и снижают ее эффективность при работе оборудования.

Условия образования взвешенных частиц в сточных регенеративных и природных водах существенно отличаются. На образование взвеси в природных источниках влияют климатические, геологические,

гидрологические и антропогенные факторы условия, такие как, и «количество выпадающих атмосферных осадков в районе проектирования, и вид залегающих горных пород, степень их выщелачивания, а также возможность смешения воды рассматриваемого источника с водами других поверхностных водоемов, влияние расположенных рядов объектов строительства и т.д. Взвесь же промывных вод получена в результате отстаивания и фильтрования природной воды при ее реагентной обработке в зависимости от состава и конструктивного исполнения схемы очистки» [50].

При этом следует отметить, что если концентрация взвеси в воде поверхностных источников может претерпевать значительные изменения в зависимости и от сезона года, и в течение суток, резко повышаясь в весенний паводок, то в промывных водах она более стабильна, что улучшает условия эксплуатации оборудования, повышая эффективность аппаратов очистки и уменьшая количество используемых реагентов.

Единственный параметр, который влияя на степень очистки аппаратов станции водоподготовки, практически является одинаковым, как для промывных, так и для природных вод, является их температура.

Гранулометрический и дисперсный состав взвешенных веществ в природных и промывных водах значительно различаются (см данные, приведенные в табл.1). Если воды поверхностных источников – это гетерогенная система, состоящая из крупно и среднедисперсной взвеси и хлопьев коагулянтов, то регенеративная вода – это практически полностью однородная коллоидная система с преимущественным содержанием мелкодисперсных фракций (до 0,01 мм) различной геометрической формы. Причем, крупность фракций и плотность воды изменяется по мере процесса промывки. Если в начале присутствуют частицы более крупного размера – среднедисперсные фракции остатков частиц фильтрующей загрузки, то в конце регенерации встречаются в основном более мелкие частицы [4].



Таблица 1 – Дисперсный состав оборотной и речной воды [6]

Интервал размера (диаметра) частиц в воде, мм	Процентное соотношение взвеси в воде, %
Регенеративная вода	
менее 0,01	68,2
От 0,01 до 0,06	19,8
От 0,06 до 0,1	10,2
От 0,1 до 0,2	0,2
От 0,2 до 0,5	0,4
Крупнее 0,5	0,6
Вода поверхностных источников	
От 0,01 до 0,05	5,6
От 0,05 до 0,1	3,2
От 0,1 до 0,2	12,6
От 0,2 до 0,5	69,9
От 0,5 до 1,0	8,7

Таким образом, при разработке вопросов и проектировании схем обработки и повторного использования промывных вод следует обращать внимание и учитывать различие качества и состава от очищаемых вод поверхностных источников на станциях водоподготовки.

## 1.2 Основные направления удаления промывных вод

В настоящее время применяется несколько способов удаления промывных вод и других технологических стоков (сточные воды от промывки различных отстойников, осветлителей, фильтров) от аппаратов водоочистки на станциях с поверхностными источниками водоснабжения.

Самым распространенным на сегодняшний день способом, применяемым на отечественных водопроводных очистных сооружениях, до сих пор является их сброс без всякой очистки или в ближайшие естественные или искусственные водоемы, или на прилегающую территорию, или закачка в подземные горизонты.

Основными недостатками этого способа является загрязнение поверхностных и подземных вод, отторжение больших площадей для размещения шламонакопителей. В результате этого значительно снижается

качества воды в водозаборах населенных пунктов, которые располагаются дальше по течению рек, изменяется уровень горизонта грунтовых вод. Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения запрещается сброс в водные объекты сточных вод, которые могут быть «могут быть устранены путем организации малоотходных производств, рациональной технологии, максимального использования в системах оборотного и повторного водоснабжения после соответствующей очистки» [42, п. 4.1.1].

Следующим, довольно популярным в последние годы, способом использования промывных вод является их отвод и совместная очистка на городских канализационных сооружениях. Хотя в СП и сказано, что «при обосновании допускается сброс их в водостоки или водоемы, или на канализационные очистные сооружения» [44], применение этого метода имеет существенные недостатки и зачастую из-за этого неприемлемо.

Основными недостатками способа являются:

- существенное увеличение нагрузки на канализационные очистные сооружения;
- высокие затраты на транспортировку, так как водопроводные и канализационные очистные сооружения, как правило, располагаются на значительном расстоянии друг от друга.
- поступление несвойственного для канализационных очистных сооружений загрязнителя – соединений алюминия;

Наиболее перспективным является повторные использования промывных вод и других технологических стоков водопроводных очистных сооружений.

Действующие экологические нормы запрещают сброс загрязненных промывных вод в открытые водные источники, а действующие правила приема сточных вод ограничивают их прием в сети водоотведения. Так, СП 31.13330 рекомендуют «предусматривать повторное использование промывных вод фильтров, воды от обезвоживания и складирования осадков станции водоподготовки» [44]. При этом не только резко снижается

загрязнение поверхностных источников, но и позволяет получить экономическую выгоду, снизив расход питьевой для собственных нужд станций водоподготовки с 8 – 10% до 3% в зависимости от технологии водоподготовки. [29].

Преимущества использования промывных вод в обороте:

- снижается загрязнение как поверхностных и подземных вод, так и прилегающих территорий;
- снижается расход воды на собственные нужды на станциях водоподготовки;
- удешевляется стоимость очищенной воды за счет снижения нагрузки;
- позволяет утилизировать отходы очистки в виде шлама (осадка), не загрязняя ими прилегающие территории.

Повторное использование промывных вод позволяет увеличить производительность станции, снизить экологическую нагрузку на прилегающую территорию и делает возможным в дальнейшем их эффективное использование в оборотной системе водоочистки поверхностных и подземных вод.

### **1.3 Схемы и способы оборота промывных вод. Основные аппараты водоочистки**

Вода, подаваемая на промывку водоочистного оборудования, должна быть практически питьевого качества, поэтому для регенерации аппаратов очистки используют воду практически питьевого качества. Использование неочищенной воды нормативами разрешается только «при регенерации контактных осветлителей при условиях: мутности ее не более 10 мг/л, коли-индекса - 1000 ед/л, предварительной обработки воды на барабанных сетках (или микрофильтрах) и обеззараживания» [44, п.9.103]. Исходя из этого

проектируемые сооружения и оборудование для обработки промывных вод должны быть высокоэффективными.

В зависимости от технологии водоподготовки, используемой на водопроводных станциях, у нас в стране обычно применяют две схемы оборота промывных вод.

На НФС с одноступенчатой водоочисткой с контактными осветлителями, которые составляют до 10% от всех станций водоподготовки в стране [11], промывные воды направляются в отстойники, как рекомендует действующее СП, с добавлением синтетического флокулянта-коагулянта ПАА (полиакриламида) для интенсификации процесса, а затем или возвращаются в «голову» технологической цепочки, или сбрасываются в канализацию.

Ряд авторов [11] отмечают, что стоимость отстойников, а самое главное, занимаемая ими площадь в несколько раз превышают аналогичные показатели для инерционных аппаратов очистки, которые не применяются столь же широко в отечественной практике, при сопоставимой, а зачастую и более эффективной степени очистки промывной воды. Это особенно важно при реконструкции действующих НФС при переводе их на оборотное водоснабжение или повторное использование промывных вод. При этом следует отметить, что если высокая стоимость проточных центрифуг и сложность эксплуатации затрудняют их внедрение, то гидроциклоны имеют существенные преимущества и могут быть рекомендованы к применению для этих целей.

Рассмотрим предлагаемую технологическую схему. Промывная вода через промежуточную емкость повысительным насосом подается в гидроциклон, после которого поступает в смеситель. Высокая степень очистки в аппарате от взвешенных частиц способствует тому, что более 90 % промывных вод возвращается в технологический цикл и может быть в дальнейшем использована на собственные нужды станции. Оставшийся осадок с частью воды направляются в шламонакопители, срок эксплуатации

которых существенно увеличивается за счет резкого уменьшения его количества.

«Предлагаемая схема, кроме вышеперечисленных преимуществ, дает возможность дальнейшего повышения общей производительности ВОС без замены гидроциклонов на больший диаметр или увеличения их общего количества, так как при повышении скорости движения воды в гидроциклоне увеличивается эффективность ее очистки» [11].

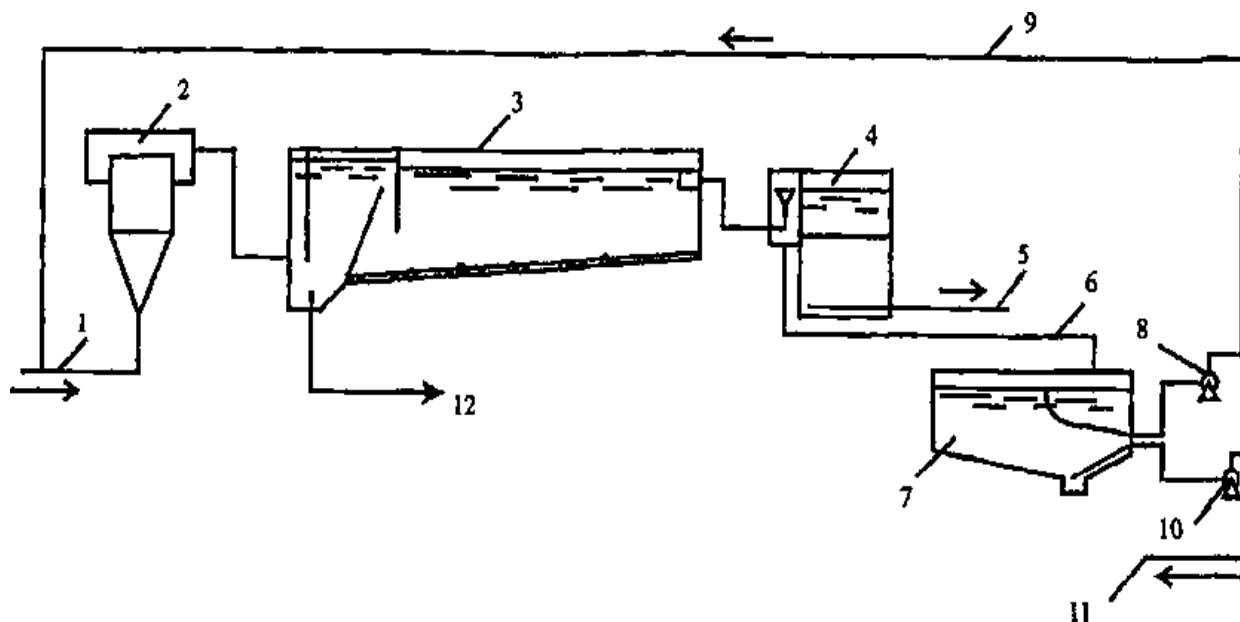
На станциях с двухступенчатой очисткой с применением отстойников и фильтров промывные воды аппаратов очистки равномерно перекачиваются после резервуара-усреднителя в начало сооружений водоочистки [5,6,15,16], предварительно пройдя через отстойники или фильтры с плавающей загрузкой [44, п.9.4].

В практике водоочистки обработка промывных вод осуществляется тремя способами: подачей в трубопроводы после резервуара-усреднителя перед смесителем, непосредственно в смеситель после отстаивания или в смесители после прохождения какой-либо обработки - усреднение, фильтрование и т.д.

Рекомендации действующего СП [44] – это схема с возвратом промывных вод в трубопроводы перед смесителем станции через резервуар-усреднитель (рисунок 1). «Применение этого способа вызвало на практике значительные затруднения. Связано это, прежде всего, с трудностями обеспечения равномерности подачи промывной воды в «голову» сооружений [9]. Кроме того, колебания качества исходной воды в источнике по взвешенным веществам, цветности и др. приводят к необходимости постоянной корректировки доз реагентов для обработки основного потока воды. При этом следует учитывать значительные превышения указанных показателей промывной воды над исходными.

Вторая схема обработки промывных вод предусматривает равномерное их перекачивание в смеситель станции после отстаивания в специальных

сооружениях [8]. Отстаивание воды рекомендуется проводить в течение двух часов, а в случаях применения флокулянтов - один час» [50].



1 - подача исходной воды; 2 - смеситель; 3 - горизонтальный отстойник; 4 - скорый фильтр; 5 - отвод очищенной воды 6 - отвод промывной воды скорых фильтров; 7 - резервуар-усреднитель со встроенной песколовкой; 8 - насос для возврата промывной воды в трубопровод перед смесителем; 9 - возврат промывной воды в «голову» сооружений; 10-насос для удаления осадка из резервуара; 11-осадок на дальнейшую обработку; 12 - осадок на уплотнение

Рисунок 1 –Технологическая схема обработки воды с резервуаром-усреднителем промывных вод скорых фильтров

«Технологическая схема обработки промывных вод с применением отстойника периодического действия (часто отстойники с тонкослойными модулями), в отличие от схемы с использованием резервуара-усреднителя, имеет следующие преимущества: в смеситель станции очистки поступает уже частично осветленная вода со сравнительно постоянной мутностью около 10-15 мг/л, что создает предпосылки для более надежной работы основной схемы очистки (при мутности речной воды более 50 мг/л). В том случае, когда средняя мутность воды в источнике находится в меньших пределах (например, 3-8 мг/л или при обработке маломутных вод), данная схема может вызвать нарушения в работе основной схемы очистки речной

воды, поскольку концентрация взвешенных веществ в промывных водах значительно превышает значения этого показателя в речной воде» [50].

«В последнее время в литературе появились другие варианты обработки промывных вод с возвратом последних в «голову» сооружений. Один из таких вариантов описан в работах [15, 19], в которых предлагается обрабатывать промывные воды на фильтрах с плавающей загрузкой (ФПЗ). Авторами указываются преимущества обработки промывной воды на ФПЗ, к которым относятся: высокая адгезионная способность плавающей загрузки, возможность глубокой очистки благодаря контактной коагуляции в толще загрузки, исключение энергоемкого оборудования для подачи промывных вод, возможность проведения промывки ФПЗ исходной водой. Фильтрация промывной воды [15] проводилась в безреагентном и реагентном режимах» [50].

«Согласно исследованиям [19], проведенным на Симферопольском гидроузле, промывные воды обработанные реагентами, направляют на ФПЗ, а затем возвращают в смеситель станции очистки. К существенным недостаткам ФПЗ относится сложность получения мелкогранульной загрузки (с диаметром 0,5-1 мм) в больших объемах и возможность формирования неоднородного фильтрующего слоя по убывающей крупности гранул при восходящем фильтровании воды. Кроме этого, указанная схема потребует строительства специальной фильтровальной станции с ФПЗ, режим эксплуатации которой будет отличаться от работы основной станции. Авторами указываются преимущества обработки промывной воды на ФПЗ, к которым относятся: высокая адгезионная способность плавающей загрузки, возможность глубокой очистки благодаря контактной коагуляции в толще загрузки, исключение энергоемкого оборудования для подачи промывных вод, возможность проведения промывки ФПЗ исходной водой.

Предлагается введение в основную схему очистки осветлителей-рециркуляторов, в которых процесс хлопьеобразования переводится из режима коагуляции в объеме в контактную коагуляцию. В результате этого,

по утверждению авторов, промывные воды возможно подавать в «голову» процесса без дополнительной очистки. Данная схема используется в таких городах как Кострома, Череповец; Пермь, Даугавпилс, Тихвин [32].

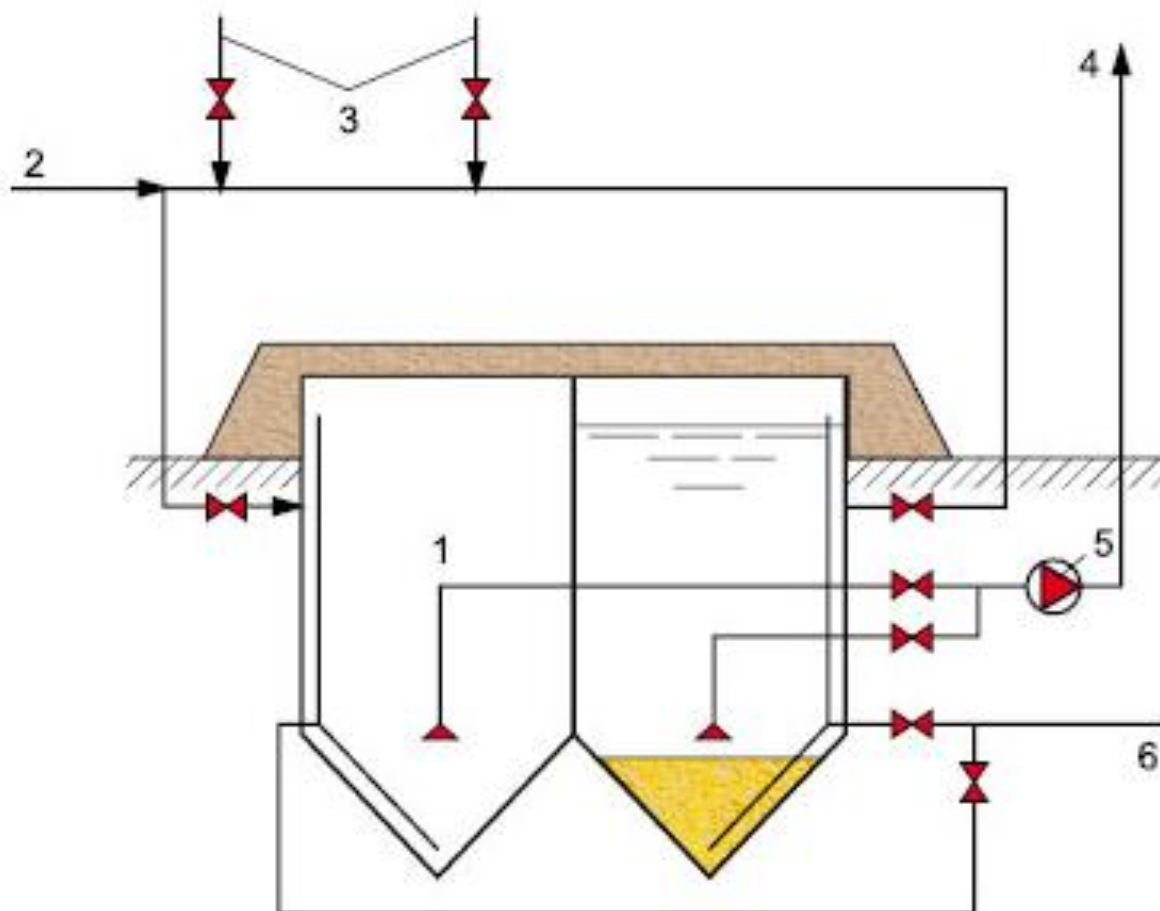
Другое технологическое решение очистки промывных вод предложено МУП АНО «Ангарский водоканал» [37]. Промывные воды разделяют на два потока. Первый поток наиболее концентрированных и загрязненных промывных вод направляют в резервуар, откуда они будут подаваться на локальную очистку. Промывные воды после четвертой минуты промывки; содержащие низкие концентрации загрязнений; напрямую можно направлять в голову технологической схемы, водоочистки» [50].

Такое решение было предложено исходя из того, что экспериментально было установлено, «что за первые две минуты из загрузки вымывается 91% всех загрязнений, а в остальные 6-8 минут происходит «домывка» фильтрующей загрузки и загрязненность промывной воды резко уменьшается. В связи с высокой концентрацией хлорорганических соединений и остаточного алюминия, грязные промывные воды не используются повторно для получения питьевой воды. Технологическое решение с разделением промывной воды на два потока позволяет предотвращать появление дополнительной нагрузки на оборудование по очистке от мелкой минеральной взвеси и бактериальных загрязнений, а также сократить материальные затраты на очистку промывных вод за счет уменьшения объемов очистных сооружений. На практике фильтровальные сооружения, как правило, промываются друг за другом (или с коротким промежутком между промывками), поэтому существенным недостатком утилизации промывных вод с разрывом промывного потока является трудность применения его на промышленных сооружениях» [50].

При использовании схемы с возвратом обработанной промывной воды в начало технологического тракта увеличивается гидравлическая нагрузка на очистные аппараты. При этом сам процесс очистки воды практически не поддается оптимизации. Поэтому «целесообразно выделить промывные воды



из основного процесса водоподготовки и использовать их после предварительной очистки повторно (рисунок 2).



1 – двухсекционный отстойник промывной воды; 2 - трубопровод отработанной промывной воды; 3 – подача реагентов; 4 – подача очищенной воды на промывку; 5 – промывной насос; 6 – отведение осадка на обработку

Рисунок 2 – Технологическая схема многократного использования воды

На водопроводных станциях сибирских городов, была предложена и запатентована технологическая схема многократного использования промывных вод. Технология дает возможность задействовать основные сооружения насосно-фильтровальных станций: выделяется один или несколько горизонтальных отстойников и скорых фильтров, а очищенная промывная вода питьевого качества используется для промывки.

Такой способ очистки позволяет вернуть в процесс водоподготовки от 6 до 8% воды и значительному снижению капитальных затрат на строительство сооружений по обработке промывных вод» [6].

Для интенсификации процесса очистки промывной воды могут быть использованы реагенты, применяемые в основном технологическом процессе водоподготовки. При обработке промывных вод фильтровальных сооружений «наилучшие результаты обработки промывных вод были достигнуты при использовании коагулянта оксихлорида алюминия и флокулянта «Праестол», которые обычно применяются для обработки природных вод» [6]. В холодные периоды года, когда из-за низкой температуры воды процесс коагулирования протекает вяло, эффективно применение оксихлорида алюминия (ОХА) или совместное применение сернокислого алюминия (СА) и оксихлорида алюминия. в соотношении 2:1 по  $Al_2O_3$  [24].

На станции водоочистки автозаводского района г.о.Тольятти было предложено совместное использование коагулянта "АКВА-АУРАТ<sup>™</sup> 30" с флокуляном "Праестол 2515". Это связано с тем, что «по проекту четвертой очереди водоочистных сооружений возврат промывных вод приводил к изменению физико-химических характеристик процессов коагуляции и седиментации в отстойниках. В результате содержание взвешенных веществ в воде увеличивалось, что приводило к подаче некачественной питьевой воды насосной станцией второго подъема. Коагулянт лучше дозировать перед смесителем, а флокулянт - после смесителя. На данной водоочистной станции такая особенность использования реагентов позволила увеличить эффективность процессов коагуляции и осаждения взвешенных веществ» [32]

В «зарубежной практике на водоочистных сооружениях в Калифорнии и Неваде [12, 55, 59], промывные воды после промывки и осадок из отстойников подаются в специальные открытые железобетонные емкости, в которых обеспечивается продолжительное отстаивание сбросных вод и при

благоприятных погодных условиях происходит естественное выпаривание избыточной влаги из осадка. Периодически отстоенные воды перекачиваются в отстойники станции водоподготовки» [50]. Такие методы хороши для жарких регионов и, к сожалению, для большей части территории нашей страны не подходят. Кроме того, они требуют значительных капитальных вложений и свободных площадей при возведении и реконструкции станций водоочистки.

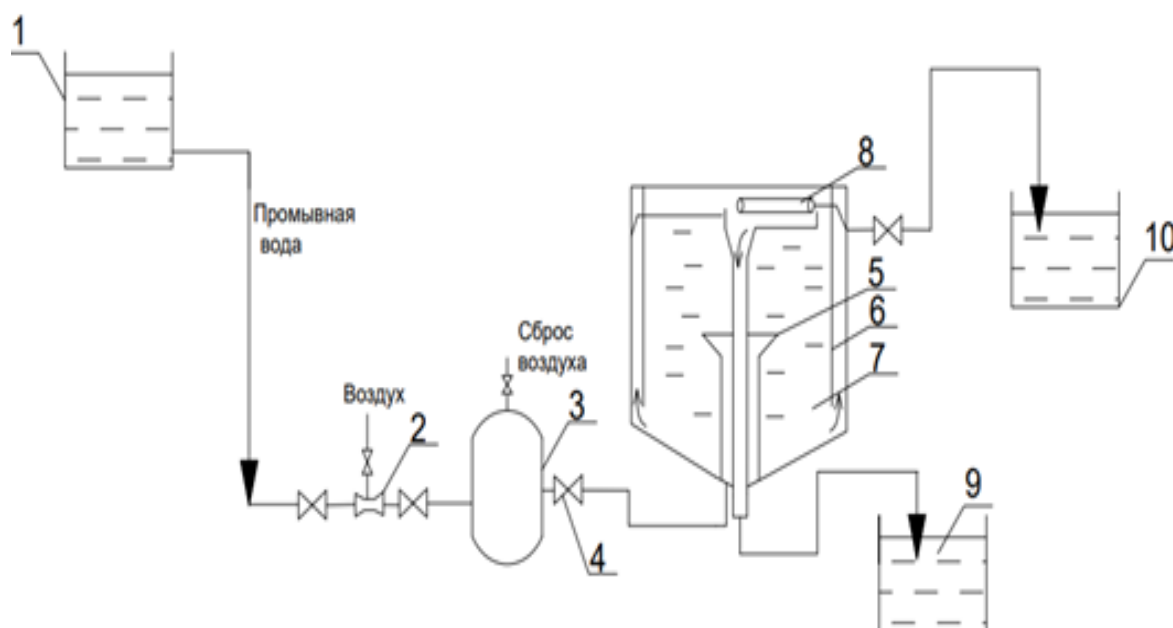
«Фирма Дегремон [21] предлагает для обработки промывных вод скорых фильтров использовать: статический сгуститель, статический сгуститель с рециркуляцией, флотацию. Необходимо отметить, что очищенный сток так же направляется в голову процесса, что обуславливает ранее отмеченные недостатки» [50].

«Авторами работ [43, 46, 48] предлагается способ реконструкции старых станций водоподготовки (работающих по двухступенчатой схеме с отстаиванием и фильтрацией), заключающийся в переходе от удаления взвешенных веществ фильтрованием к удалению большей части (95-97%) взвешенных веществ флотацией. Из-за низкой эффективности процессов седиментации на первой ступени (горизонтальные отстойники или контактные осветлители) на скорые фильтры поступает большое количество взвеси, поэтому, согласно описываемой технологии, основной ступенью очистки является флото-фильтрационная установка, работающая по принципу напорной флотации, а песчаный фильтр играет роль фильтра доочистки» [50]. В последние годы появились достаточно многочисленные публикации об использовании метода флотации для очистки промывных вод [51].

«Промывные воды подаются в резервуар-усреднитель с песколовкой, во избежание попадания песка, выносимого из фильтров, во флотатор. После чего, предварительно обработав коагулянтом, промывные воды погружным насосом подают на флотационную установку, где производится дозирование флокулянта. Подача регулируется с помощью задвижки. Флотошлам

непрерывно собирается с поверхности флотатора, т. е. загрязнения быстро выводятся и утилизируются» [50].

Схема такой установки представлена на рисунке 3.



- 1 – резервуар-усреднитель со встроенной песколовкой, 2 – эжектор, 3 – напорный бак, 4 – редукционный клапан, 5 – распределительное устройство, 6 – подвесная перегородка, 7 – флотатор радиальный, 8 – пеносорбное устройство, 9 – резервуар для флотошлама, 10 – резервуар технической воды

Рисунок 3 – Принципиальная схема обработки промывных вод

Появились так же публикации об оценке эффективности применения метода мембранной фильтрации в процессе очистки промывных вод на примере отечественных станций водоочистки [47]. «Такие методы находят достаточно широкое применение для очистки речной воды на объектах небольшой производительности как в качестве самостоятельных, так и в составе более сложных технологических решений.

Были проведены исследования процесса очистки промывных вод насосно-фильтровальной станции, работающей по одноступенчатой схеме с применением полволоконных мембран и рассмотрены основные направления и возможности внедрения новой технологической схемы на основе полволоконного мембранного элемента модуля UNA-620A (на основе напорных мембран Microza®)» [17].

## **1.4 Выбор и обоснование технологических схем повторного использования промывных вод очистных устройств**

На сегодняшний день существуют три наиболее распространенных технологий для повторного применения оборотных вод в схемах водоочистных станций: отстаивание, ультрафильтрация и флотация. Рассмотрим подробнее каждый из этих методов.

Типовые решения, предусматривающие очистку загрязненных промывных вод с целью их повторного использования для промывки фильтровальных сооружений, предусматривают применение метода гравитационного осаждения в осадителях различной конструкции.

«Отстаивание воды – процесс выделения из нее взвешенных веществ под действием гравитационных сил, происходящих в отстойниках. При этом частицы, с плотностью, большей плотности воды, движутся вниз, с меньшей – вверх. Отстаивание является наиболее распространенным методом отделения взвешенных веществ и коллоидов, однако последние должны быть предварительно агрегированы в форме флоккул на стадиях коагуляции-флокуляции» [48].

Процесс флотации представляет собой «разделения фаз жидкость-твердое вещество или жидкость-жидкость, применяемый в отношении частиц, плотность которых меньше плотности содержащей их жидкости» [48].

«Флотация – процесс молекулярного прилипания частиц флотируемого материала на поверхности раздела газа и жидкости, обусловленный избытком свободной энергии поверхностных пограничных слоев, а также поверхностными явлениями смачивания» [48].

При сближении поднимающегося в воде пузырька воздуха с твердой гидрофобной частицей разделяющая их прослойка воды прорывается и происходит слипание пузырька с частицей. Затем комплекс «пузырек –

частица» поднимается на поверхность воды, где пузырьки собираются, и возникает слой флотошлама с более высокой концентрацией частиц, чем в исходной сточной воде.

Метод напорной флотации является одним из доступных и экономически целесообразных технологий обработки промывных вод. При этом в литературе отмечается, что «повышенное потребление электроэнергии по сравнению с процессом отстаивания. возможно компенсировать снижением затрат на обезвоживание, из-за отсутствия необходимости уплотнения шлама перед ним, а затраты на реагенты практически совпадают с затратами для отстаивания. Главным недостатком такого технологического решения является частичная или полная реконструкция станции водоподготовки с частичным или полным выводом сооружений из работы» [2].

«Ультрафильтрация – мембранный процесс, занимающий промежуточное место между микрофильтрацией и нанофильтрацией. Ультрафильтрация – это продавливание жидкости через полунепроницаемую мембрану. Все органические мембраны ультрафильтрации относятся к асимметричному типу, когда как минеральные УФ-мембраны имеют композитную структуру. Они свободно пропускают соли и задерживают лишь наиболее крупные растворенные формы (макромолекулы) и некоторые специфические частицы, такие как вирусы, бактерии, коллоиды и др» [48].

Этот метод в последние годы находит все больше сторонников прежде всего из-за высокой эффективности процесса очистки (до 80%). При этом, в отличие от традиционных способов, расход реагентов крайне низок, а сам процесс можно полностью автоматизировать. Ультрафильтрационные мембраны задерживают примеси, размером более 10-100 нанометров (в зависимости от размера конкретной мембранной поры). «Движущей силой, заставляющей жидкость проникать через мембрану, может быть электродвижущая сила, приложенное давление, разница концентраций растворенных веществ, разница температур по обе стороны перегородки.

В мембранах, в отличие от обычных фильтрующих сред, удаляемые примеси задерживаются не в объеме, а только на поверхности мембран. Мембраны могут иметь различную геометрическую форму: трубчатую, половолоконистую и плоскую. Трубчатые мембраны представляют собой трубки диаметром от нескольких миллиметров до 1-2 см, изготовленные из пористого материала, например, керамики. При этом они могут быть симметричными или асимметричными» [47]. При сравнении конструкций самих мембран, можно отметить, что половолоконные более устойчивы к регенерации, меньше стоят, но при этом срок службы до промывки значительно выше. При этом плоские мембраны проще в эксплуатации и монтаже и более устойчивы к механическим повреждениям.

К промышленным мембранным установкам предъявляются достаточно высокие требования по надежности и герметичности, удовлетворить которые полностью на практике весьма проблематично. Поэтому для каждого конкретного случая необходимо проектировать индивидуальную установку, которая обеспечит оптимальные параметры процесса.

Метод флотации на сегодняшний день является наиболее перспективным по сравнению с традиционными технологиями очистки питьевой и технологической вод. При этом удельные затраты стали сопоставимыми с традиционными методами, неуклонно снижаясь.

Преимущества этой технологии:

- сокращение площадей, занимаемых фильтрационным оборудованием из-за отсутствия громоздкого реагентного хозяйства;
- снижение сроков и стоимости монтажных работ на 15-18%;
- высокая степень автоматизации технологического процесса и уменьшение обслуживающего персонала.

В таблице 2 перечислены основные методы, используемые на сегодняшний день в технике водоочистки, указаны их достоинства и недостатки.

Таблица 2 – Достоинства и недостатки основных технологий, используемых при очистке промывных вод

Технология и применяемые аппараты очистки	Достоинства технологической схемы	Недостатки технологии очистки
1 Осаждение	Простота конструкций и надежность эксплуатации. Полная независимость процесса от всего цикла очистки.	Значительные капитальные расходы. Необходимость в период эксплуатации очистки и обеззараживания оборудования. Большая площадь, занимаемая аппаратами
2 Ультрафильтрация	Наиболее высокая эффективность очистки от взвешенных веществ. Высокая степень автоматизации	Повышенный расход электроэнергии. Большой расход химических реагентов. Высокие эксплуатационные затраты
3 Флотация	Полная автоматизация и краткосрочность процесса. Высокая степень очистки как от взвешенных, так и коллоидных частиц	Повышенные энергозатраты.

Выбор технологии очистки должен быть обоснован и конкретно выбран для каждой действующей или проектируемой станции, оценив возможность и эффективность его применения.

### **Выводы по первой главе:**

Обзор литературных источников показал, что на сегодняшний день недостаточно данных о составе и свойствах промывных вод водопроводных станций страны, расположенных на источниках малой и средней мутности и цветности, к которым принадлежит большинство рек нашей страны.



Вопросы обработки промывных вод изучены недостаточно и нуждаются в более тщательной проработке. При этом отсутствуют типовые рекомендации и разработки.

Промывные воды могут быть или сброшены в ближайший водоем, канализацию без очистки, или направлены в голову сооружений, или подвергнуты очистки.

При очистке загрязненных вод используются три основных метода: отстаивание, флотация и ультрафильтрация.

Основные аппараты, используемые для механической очистки: гравитационные осадители, инерционные аппараты (гидроциклоны), фильтры.

Очищенные промывные воды в дальнейшем могут быть:

- Повторно использованы для промывки аппаратов водоочистки, что рекомендуется СП 31.13330.2012;
- Направлены в резервуар с чистой воды;
- Сброшены в водоем или канализацию условно чистых стоков.

Многократное использование очищенных промывных вод для промывки сооружений позволяет экономить до 10% воды на станциях водоподготовки, улучшая экологическую ситуацию в районе.

Хотя проблема утилизации промывных вод стоит достаточно остро на многих водопроводных станциях страны, применение их в обороте возможно только при обосновании для конкретных условий, так как это может привести к нарушению технологических режимов очистки природных вод.

## Глава 2 Основные способы обработки и утилизации осадка

### 2.1 Характеристика осадков водопроводных станций

При обработке воды поверхностных источников до питьевого качества образуется значительное количество высоковлажных гидроксидных осадков из отстойников, осветлителей, скорых фильтров, контактных осветлителей, смесителей и резервуаров чистой воды. По оценкам специалистов на станциях водоочистки производится до 10 тыс. тонн осадков (по сухому веществу) в день. На водопроводной станции производительностью 750 тыс. м<sup>3</sup>/сут. примерно образуется 12 тыс. тонн сухого осадка в год [23], что составляет от 0,1 до 2% от полезной производительности очистных сооружений [53]. Так, для примера, в таблице 3 приведены данные по массе образующегося осадка на некоторых станциях водоподготовки страны.

Таблица 3 – Данные о производящемся водопроводном осадке на станциях водоподготовки [45]

Район расположения водоочистой станции	Производительность станции, тыс. м <sup>3</sup> /сут.	Объем осадка, кг/сут.
Московская Западная	1700	38100
Московская Рублевская	2000	46300
Московская Восточная	1300	33800
Московская Северная	2020	58800
Челябинская Сосновская Челябинск)	630	36240
Кривой Рог. Карачуновская	266	13100
Новосибирская НФС-1, НФС-5	820	4160

Количество образующегося осадка, его состав и свойства зависят как от качества воды поверхностного источника, так и от технологической схемы ее

очистки и существенно варьируются в зависимости от времени года. Сезонные колебания по величине мутности и количеству взвешенных частиц, а также залповость и периодичность сброса, характерные процессу регенерации оборудования, приводят к неравномерности образования осадка.

Хотя водопроводный осадок (ВПО), в целом, менее опасен, чем осадок городских сточных вод (ОСВ), содержащиеся в нем вещества могут включаться в геохимические и биогеохимические циклы, что представляет угрозу для окружающей среды. В нем могут встречаться тяжелые металлы (Co, As, Pb, Mn, Cd, Cu, Zn) и ряд вредных веществ антропогенного загрязнения, поэтому в некоторых странах, например, в США, отходы станций подготовки питьевой воды нормативами признаны токсичными [57].

Осадки относятся к сложной многокомпонентной системе, аналогичной донным отложениям пресноводных водоемов, по внешнему виду представляющая из себя серо-коричневую гелеобразную массу. Она состоит из минеральных веществ (песка, частиц глины) соединений различных металлов ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ) от 0,1 до 3,0 % и органических веществ в количестве 15-40%. Основным компонентом ВПО является гидроксид алюминия, который образуется в процессе гидролиза коагулянта до  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (до 25-45%) [34]. Если обеззараживание воды происходит хлорированием, как на большинстве поверхностных водоисточниках, бактериальное загрязнение осадка минимально, хотя в нем могут присутствовать вегетативные и споровые формы бактерий, как например, в волжском водоисточнике [26]. Осадок характеризуется относительно низким содержанием азота (0,5-0,9% в пересчете на общий азот) и фосфора (1% в пересчете на оксид фосфора). Химический состав водопроводного осадка зависит от сезонных изменений в поверхностном водоисточнике и применяемой дозы коагулянта (сульфата или оксихлорида алюминия).

В осадке мутных вод нерастворимый осадок составляет 40-50%, в то время как в осадке цветных вод – лишь 2-15% [27]. При повышенной

мутности воды источника осадок обладает хорошей водоотдающей способностью, с увеличением показателя цветности воды и уменьшением минеральных примесей степень уплотнения осадка снижается.

«Физические свойства осадка склонны не только к сезонным изменениям по временам года, являющимся следствием колебаний качества речной воды, в частности, ее отношения цветности к мутности (Ц/М), но и значительно зависят от продолжительности работы сооружений» [34], из которых этот осадок получен. В таблице 4 приведены данные для водозабора Ростова-на-Дону.

Таблица 4 – Исходные физические показатели осадка маломутной и малоцветной донской воды [50]

Показатель	Величина для периода работы отстойника при значении Ц/М (град·дм <sup>3</sup> /мг) речной воды		
	зимне-весенний Ц/М=1,8-6,2	летний Ц/М=1,4-1,8	летне-осенний Ц/М=1,4-2,4
Влажность (относительная весовая),%	86,2-9,5	88,8-93,8	85,4-94,6
Плотность (объемный вес), г/см <sup>3</sup>	1,071-,08	1,02÷1,06	1,01÷1,09
Плотность сухих частиц, г/см <sup>3</sup>	1,80-1,95	1,70÷1,80	1,65÷1,85
Концентрация твердой фазы,г/дм <sup>3</sup>	112-149	64÷116	55÷159
Удельное сопротивление фильтрации**, г·10 <sup>10</sup> , см/г	<u>23-32</u> 55-91	<u>38-78</u> 98-163	<u>41-84</u> 123-163
Предельное напряжение сдвигу (РВ-4), Па	41,55-1,5	16,5-44,8	15,5-64,9
Прокаленный остаток, %	83,9-86,4	84,9-86,7	83,78-7,2
** на начальных этапах фильтрования (над чертой) и на завершающих (под чертой)			

Из данных таблицы видно, что «увеличение отношения Ц/М водоисточника приводит к росту влажности осадка и ухудшению его водоотдачи. Длительное накопление осадка в отстойнике, наблюдаемое в

зимне-весенний период, способствует снижению влагосодержания, несмотря на рост показателя Ц/М в указанный период» [34].

Основные свойства водопроводного осадка – это влажность, плотность, водоотдающая способность, характеризующаяся удельным сопротивлением фильтрации, угол скольжения и вязкость, от которых в основном и зависит выбор технологической схемы обработки осадка. Осадок – это вязкопластическая жидкость, характеризующаяся высокой влажностью (от 92 до 99,8%), высоким сопротивлением фильтрации, высокими значениями БПК<sub>5</sub> (биологическое потребление кислорода) и ХПК (химическое потребление кислорода).

Таблица 5 – Данные о химическом составе и основных свойствах осадка [54]

Показатель	Из отстойников московских водопроводных станций			Из контактных осветлителей станций водоочистки		
	Северной	Западной	Рублевской	Петербурга		Сестрорецка
				Северной	Южной	
Влажность, %	99,7-95	99,2-93,6	99,2-94	99,5-97	99,5-96	99,6-98,5
Потери при прокаливании, %	40-60	24-28	22-28	27-60	30-60	65-67
БПК <sub>5</sub> , мг/л	145-160	125-134				
ХПК, мг/л	4000-4500	5810-7120				
Состав прокаленного остатка, %:						
SiO <sub>2</sub>	1,6-7	27-42	30-40	8-28	8-28,6	5-7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20-36	15-20	14-15	15-24,5	17-25	20-30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,8-2,8	2-5	2,6-5	0,2-1,8	0,2-1,8	2-5
CaO	1-3	2-3	1,5-2,5	0,2-0,5	0,1-0,3	1,5-2
MgO	0,3-1,3	0,6-1,2	0,6-1,1	0,4-0,6	0,2-3,5	0,8-3,5
Нерастворимый в кислоте остаток (по разности), %	5-16	33-47	27-42,5	20-25	2-8	2-8
Начальное удельное сопротивление, г·10 <sup>-10</sup> см/г	1870-2590	850-1420	1050-1980	-	-	-

Для очистки водопроводного осадка необходимы большие затраты, так как он по сравнению с осадком сточных вод имеет большие значения величины показателя удельного сопротивления фильтрации, которая особенно значительна для высокоцветных маломутных вод.

Гранулометрический состав ВПО в основном определяется технологией очистки водопроводной воды и сезона года. При одноступенчатой схеме очистки в осадке содержатся частицы всех размеров, при двухступенчатой – более крупные фракции отсутствуют. Наиболее высокодисперсен осадок промывных вод фильтров.

Важно отметить, что свойства ВПО изменяются в очень широких пределах в зависимости от свойств воды поверхностного источника (табл. 5), поэтому для каждой станции водоподготовки вопрос обработки и утилизации осадка, обычно решается индивидуально.

## **2.2 Способы обработки и утилизации осадка**

На многих станциях водоподготовки технологическая схема не предполагает обработки образующегося водопроводного осадка, и он напрямую без очистки поступает в поверхностные водные объекты в виде шламовой пульпы, загрязненной продуктами гидролиза коагулянтов и другими химическими примесями, которые входят в состав реагентов, что приводит к изменению эколого-геохимических особенностей водных систем [23] и является недопустимым.

Обработка высоковлажных осадков станций водоподготовки может выполняться в естественных, специально созданных или комбинированных условиях. В практике используются несколько направлений:

– «сброс на канализационные очистные сооружения или обработки смеси предварительно сгущенного водопроводного осадка совместно с канализационными осадками;

– обезвоживание осадка в естественных условиях (размещение осадка в прудах-накопителях), подсушивание осадка на иловых (дренажных) площадках в режиме испарения и/или замораживания-оттаивания» [50, 54] в соответствии с климатическими условиями;

– «механическое обезвоживание уплотненного осадка на камерных или ленточных фильтр-прессах, вакуум-фильтрах или в аппаратах центробежного типа с предварительным кондиционированием с обработкой реагентами или замораживанием-оттаиванием» [52], радиационной обработкой, магнитной обработкой и электрокоагуляцией.

Практически для всех технологий обработки осадка характерно его предварительное уплотнение при перемешивании в радиальных отстойниках или на специальных аппаратах-кавитаторах [50, 54]. Затем уже сгущенный осадок поступает или на площадки замораживания (подсушивания), или на вторую ступень – аппараты механической очистки.

Рассмотрим коротко каждый из способов.

Применение первого метода – сброса в канализационную сеть, обеспечивает:

– использование существующих мощностей и действующих технологий канализационных станций;

– уменьшение затрат на химические реагенты;

– снижение капитальных затрат;

– уменьшение энергозатрат на обработку водопроводного осадка.

Авторами отмечается [50], что подобный способ не оказывает существенного влияния на эффективность и устойчивость работы как аппаратов очистки, так и в целом всего очистного комплекса.

С другой стороны, при этом увеличивается количество обрабатываемых канализационных стоков на 3-20%, а привнесение в стоки гидроксида алюминия способствует осаждению фосфора, содержащегося в бытовых сточных водах. Еще одним препятствием для внедрения этого направления является ограничение расстояния между очистными

сооружениями водопровода и канализации, которые зачастую оказываются значительными. При этом подсчитано, что экономически выгодным является расстояние до 5–6 км [58].

Причем, увеличение количества стоков зачастую приводит к «необходимости строительства дополнительной насосной станции с напорными водопроводами, затраты на которую могут быть сопоставимы с затратами на создание цеха механического обезвоживания ВПО» [54].

### **2.2.1 Обезвоживание осадка в естественных условиях**

Второе направление – естественная обработка может происходить несколькими способами.

1. Удаление неуплотненного водопроводного осадка в пруды-накопители с дальнейшим уплотнением его в накопителях, получило широкое применение во многих странах.

В качестве прудов-накопителей используются овраги, отработанные карьеры или обвалованные грунтом спланированные площади заболоченные места и озера. Обезвоживание осуществляется путем испарения влаги с поверхности и сброса осветленной воды. Наиболее затруднительно обезвоживание в прудах осадка маломутных вод, содержащего гидроксид алюминия. Для интенсификации процесса можно добавлять известь к осадку в количестве 25-30% CaO от его сухой массы, что позволяет повысить концентрацию ВПО в 2,5 раза [25]. Иловая жидкость из прудов-накопителей отводится в поверхностные водные объекты или в голову очистных водопроводных сооружений.

«Этот метод из-за низких капитальных и эксплуатационных затрат является экономически целесообразным при наличии вблизи водопроводной станции свободных земельных участков и может служить, как временное мероприятие по удалению осадка. Пруды целесообразно использовать в качестве уплотнителей водопроводного осадка перед дальнейшей его обработкой» [25].

2. Удаление на площадки - вымораживания.



«Метод замораживания-оттаивания ВПО целесообразен и экономически оправдан в районах с холодным климатом, где замораживание можно осуществить естественным путем (в зимний период). Для достижения максимального эффекта зимнего промораживания ВПО необходимо, чтобы его слой на площадках перед наступлением холодного периода не превышал глубины промерзания, соответствующей данному климатическому району. При этом на площадках перед наступлением холодного периода должен находиться максимально уплотненный осадок, содержащий минимальное количество балластной влаги и обладающий повышенной теплопроводностью» [25].

Искусственное замораживание-оттаивание через теплопередающие поверхности особенно эффективно для обработки осадка маломутных цветных вод, обладающих низкой водоотдающей способностью.

Исследователи отмечают [25], что при применении этого метода резко, более чем в 1,6-1,8 раз, снижаются эксплуатационные расходы, если сравнивать его с реагентным обезвоживанием.

Но, несмотря на высокую эффективность этого способа, применение его ограничено прежде всего из-за высоких энергозатрат.

3. В настоящее время в отечественной практике основным методом обработки водопроводных осадков является их естественная сушка на иловых площадках с последующим удалением за пределы водопроводной станции.

Технология обработки осадка на таких площадках заключается в подсушке его слоями толщиной 0,2-0,3 м. Наибольшее применение получили иловые площадки на естественном дренирующем основании и на искусственном основании с дренажем. Обезвоживание осадка на иловых площадках осуществляется путем испарения влаги и ее фильтрации.

Несмотря на повсеместную практику этого метода он имеет огромные недостатки. Прежде всего, необходимость достаточного количества земли,

которую необходимо выделить для этих нужд. И значительный экологический урон, который наносится в ходе эксплуатации, и воздушной среде, и подземным грунтовыми водами, приводя к их загрязнению.

Следует отметить, что и эффективность обезвоживания на площадках достаточно низка, что вызвано целым рядом причин:

- существенная зависимость работы площадок от качественного состава водопроводного осадка, климатических условий района строительства и изменения режима грунтовых вод на прилегающих территориях;

- выведение больших площадей земельных угодий, необходимых для площадок, из хозяйственного оборота;

- удорожание обработки осадков с течением времени;

- низкая механизация процесса;

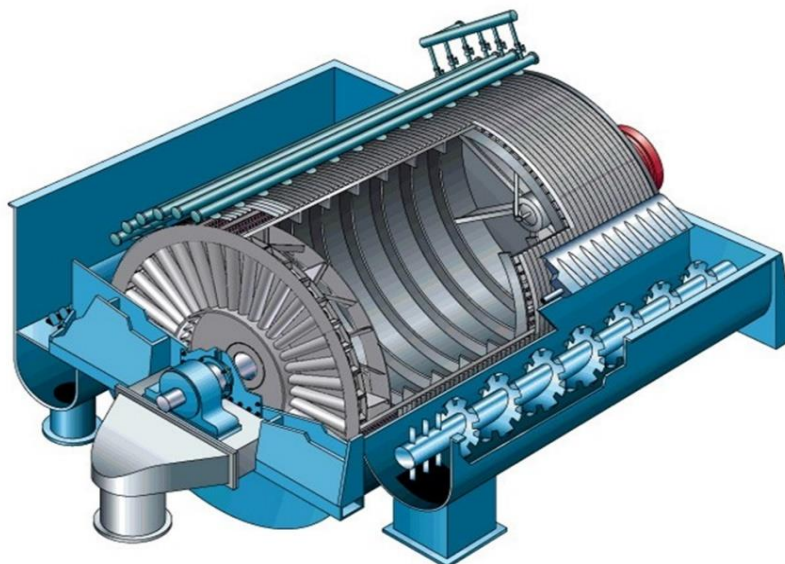
- антисанитарные условия на площадках и прилегающей к ним территории;

- большие капитальные и эксплуатационные затраты.

### **2.2.2 Механическое обезвоживание**

Механическое обезвоживание ВПО осуществляется с применением вакуум-фильтров, фильт-прессов, центрифуг, декандеров и других устройствах. Рассмотрим подробнее эти аппараты.

#### **1. Вакуум-фильтры (рисунок 4)**



#### Рисунок 4 – Вакуум-фильтр

Это один из первых аппаратов для механического обезвоживания, который нашел свое применение, начиная со второй половины XX века.

Не смотря на достаточно широкое применение в технике обезвоживания осадка, «недолговечность ткани вакуум-фильтров, высокая стоимость эксплуатации, большой расход реагентов сдерживают применение данного метода для обезвоживания осадков водопроводных станций, содержащих гидроксид алюминия» [25].

#### 2. Фильтр-пресс (рисунок 5)



Рисунок 5 – Фильтр-пресс

«Это наиболее экономически малозатратный метод, хотя сами аппараты громоздкие и сложные устройства. Современный фильтр-пресс впервые появился на очистных сооружениях канализации США в середине 60-х годов. Применение фильтр-прессов неэффективно для осадков маломутных цветных вод. Высокая стоимость эксплуатации, большой расход реагентов, проблема удаления и обработки фильтрата – вот то, что

ограничивает применение данного метода для обработки водопроводных осадков, содержащих гидроксид алюминия» [25].

### 3. Центрифуги (рисунок 6)



Рисунок 6 – Центрифуга

К «преимуществам использования центрифуг можно отнести малую занимаемую площадь, возможность полного автоматического управления, способность обрабатывать неуплотненный и уплотненный осадок.

К недостаткам относятся: предварительная обработка реагентами, дорогостоящими флокулянтами, высокая стоимость эксплуатации, проблема удаления и обработки фильтрата, капризность в эксплуатации.

Эффективность центрифугирования сильно зависит от состава осадка. Обычно предпочтение отдается корзиночным, маятниковым и цилиндроконическим центрифугам.

Применение центрифуг для обезвоживания водопроводных осадков, может эффективно использоваться только на малых водопроводных станциях» [25].

#### 4. Декантеры (рисунок 7)



Рисунок 7 – Декантер (горизонтальная центрифуга)

В последние годы для обезвоживания осадка, образующегося при коагуляции примесей сульфатом алюминия, а также осадка, образующегося в процессе осветления, нашли свое применение, так называемые, декантеры – это цельнометаллическая шнековая центрифуга, которая обеспечивает высокое качество осветления и максимальное обезвоживание осадка. При использовании этих аппаратов при водоочистке технологических процессов промышленных установок, а также на городских станциях аппараты используются более прочными: лопасти шнека, зоны подвода к нему, приемная камера и отверстия для твердого осадка выполняются из высокопрочного материала с повышенной износостойчивостью.

В таблице 5 обобщены основные показатели оборудования, применяемого для обезвоживания осадка.

Таблица 5 – Обобщение основных методов механического обезвоживания

Показатель	Декантер	Ленточный фильтр-пресс	Камерный фильтр-пресс при кондиционировании	
			полимером	известью
Эффективность обезвоживания	18-24%	15-35%	18-24%	28-35%
Расход реагентов	4-14 г/кг сухого вещества	4-12 г/кг сухого вещества	5-12 г/кг сухого вещества	Известь 15-25 кг/м <sup>3</sup> и железо
Расход электроэнергии	Высокий	Низкий	Средний	Средний
Автоматический и непрерывный ход процесса	+	+	-	-

Для того, чтобы эффективно использовать аппараты для механического обезвоживания, осадок предварительно подвергают кондиционированию. Оно может происходить или при обработке различными химическими реагентами (флокулянтами, коагулянтами), а также осуществляться замораживанием-оттаиванием, радиционной и магнитной обработкой, или с применением электрокоагуляции. Для повышения эффективности процесса кондиционирования и для улучшения водоотдающей способности осадка, в него добавляются присадочные материалы.

В качестве присадочных материалов используют активный уголь, диамит, пыль из электрофильтров [25]. Среди реагентов особое место занимает известь, являющаяся одновременно реагентом и присадочным материалом.

В настоящее время в отечественной практике обработки осадка существуют технологии, которые достигают достаточно высокой эффективности обезвоживания водопроводного осадка до величины его относительной влажности порядка 65-80%. Наиболее распространенными аппаратами для этих целей являются фильтр-прессы, вакуум-фильтры после

предварительного кондиционирования, которое проводится введением раствора извести, полиакриламида или замораживанием осадка с целью повышения его водоотдающих свойств.

Технологическая схема обработки ВПО на ленточных и камерных фильтр-прессах обязательно включает уплотнение осадка, обладающего (особенно маломутных цветных вод) высокой влажностью (99% и выше). После прохождения гравитационных уплотнителей влажность осадка снижается до 92-98% в зависимости от его исходных параметров. Гравитационные уплотнители имеют вид вертикальных емкостей круглого или квадратного сечения. Для интенсификации процесса уплотнения осадок обычно подвергается медленному перемешиванию.

Применение механических методов обезвоживания ограничивается высокой стоимостью эксплуатации и сложностью обслуживания.

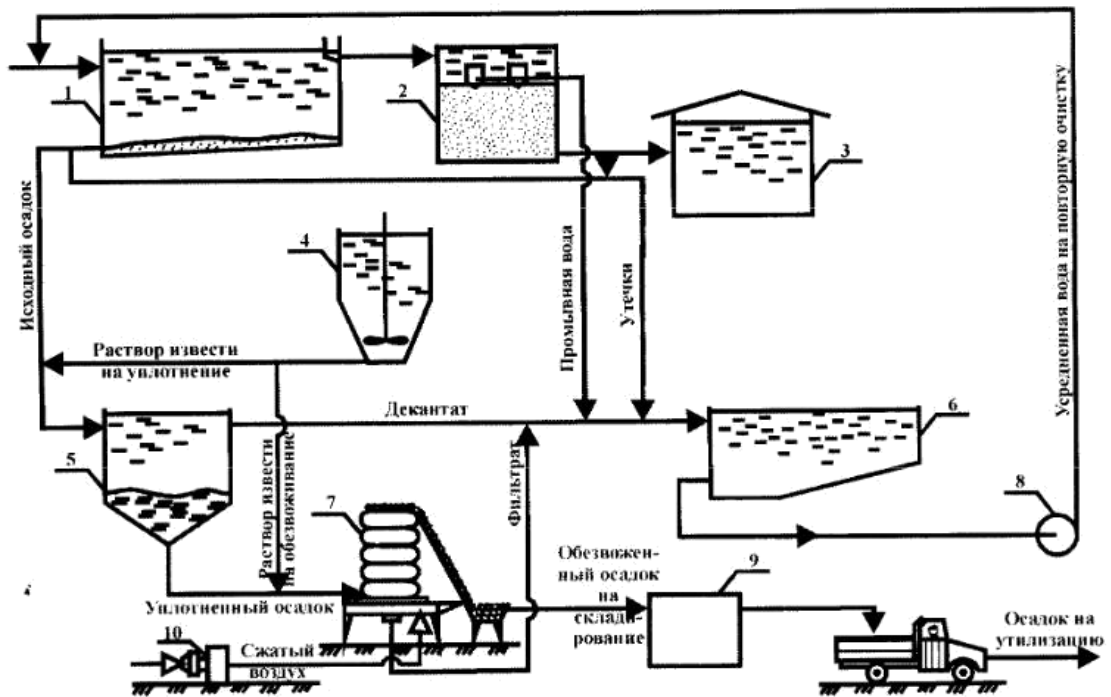
Кроме того:

- необходимость создания новой инфраструктуры для уплотнения, обезвоживания осадка;
- значительные энергетические затраты;
- применение высоких доз коагулянтов и дорогостоящих флокулянтов, так же являются сдерживающими факторами.

В нашей стране не разработаны типовые технологические решения по обработке осадков, поэтому при проектировании и реконструкции очистных сооружений водопровода конкретно для каждого случае исследуются состав и свойства осадка, проводятся технико-экономическое обоснование.

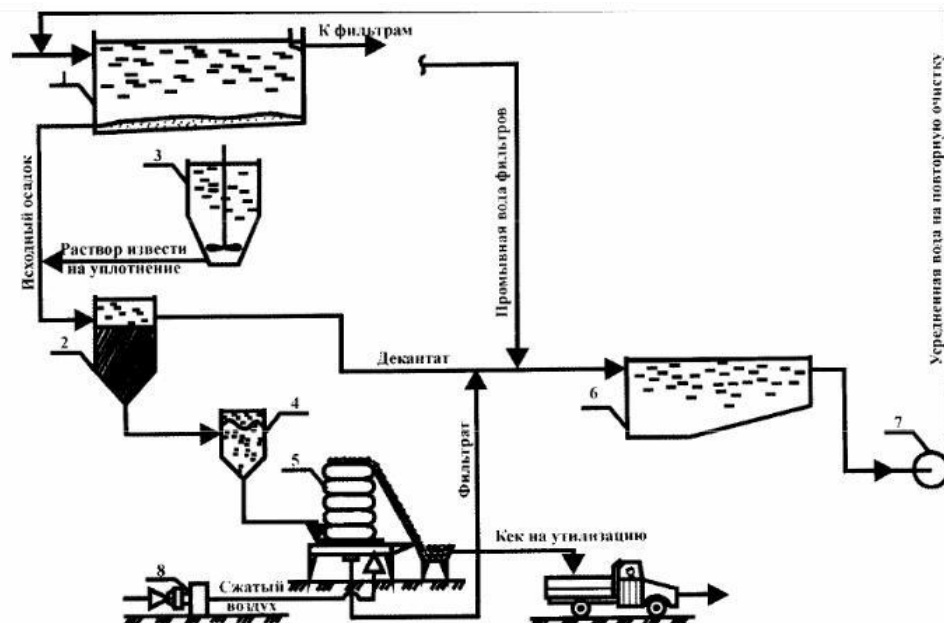
Между тем, на Украине были систематизированы данные и разработаны рекомендации по применению технологий обработки осадка в зависимости от группы водоисточника по цветности и мутности (таблица 6), которые представляют интерес и могут быть учтены при выборе и обосновании инженерных решений [10].

Рекомендуемые технологические схемы обработки осадка для четырех основных групп водоисточников представлены на рисунках 8-11.



1 – горизонтальный отстойник; 2 – скорый фильтр; 3 – РЧВ; 4 – емкости для приготовления известкового молока; 5 – уплотнитель осадка; 6 – резервуар-усреднитель промывной воды; 7 – цех фильтр-прессов; 8 – насос перекачки усредненной воды; 9 – территория для складирования; 10 – компрессор высокого давления

Рисунок 8 – Схема обработки осадков первой группы водоисточников



1– горизонтальный отстойник; 2 – осадкоуплотнитель; 3 – емкости для приготовления известкового молока; 4 – накопитель уплотненного осадка; 5 – фильтр-пресс; 6 – резервуар-усреднитель промывной воды; 7 – насос перекачки усредненной воды; 8 – компрессор высокого давления.

Рисунок 9 – Схема обработки осадков второй группы водоисточников





Таблица 6 – Рекомендуемые технологии обработки осадков в зависимости от группы водоисточника

Классификация водоисточника	Характеристика осадков							
	Дисперсность		Содержание органических веществ, %	Содержание коллоидных гидроксидов, %	Рекомендуемая технология обработки осадков		Удельное сопротивление фильтрации, $\cdot 10^{10}$ см/г	
	Свыше 10 мкм	Менее 10 мкм			подготовки	обезвоживания		
1	2	3	4	5	6	7	8	
1 группа маломутные (до 50 мг/дм <sup>3</sup> ), среднецветные (35-120 град.)	25-30	70-75	58-60	40-45	Уплотнение добавками минеральных присадок (глин)	с	На фильтр-прессах с предварительной термообработкой (70-80°C)	840-1410
	40-45	55-60	60-63	20-25	Уплотнение добавкой извести	с	На фильтр-прессах с добавкой извести	1280-1620
	25-30	70-75	55-60	30-35	Уплотнение добавкой глины или извести	с	На фильтр-прессах с добавкой извести или с нагревом	800-1600
2 группа маломутные (до 50 мг/дм <sup>3</sup> ), малоцветные (до 35 град.)	45-50	50-55	35-40	10-12	Уплотнение добавкой извести	с	На фильтр-прессах с добавкой извести	840-890
	50-52	45-55	35-41	11-14	Уплотнение добавкой извести	с	На фильтр-прессах с добавкой извести	450-580
	50-55	40-55	40-55	22-26	Уплотнение добавкой извести	с	На фильтр-прессах с добавкой извести	470-550
	48-50	38-44	47-52	16-18	Гравитационное уплотнение		На фильтр-прессах с добавкой извести	280-320

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6	7	8
3 группа средней мутности (50-250 мг/дм <sup>3</sup> ), малоцветные (до 35 град.)	60-65	35-40	16-30	1-5	Гравитационное уплотнение	На фильтр-прессах с добавкой извести или вторичных отходов химпроизводств	100-180
	57-65	38-40	13-20	3-6	Гравитационное уплотнение	На фильтр-прессах с добавкой извести или вторичных отходов химпроизводств	160-270
	55-60	40-45	15-22	2-5	Уплотнение глиной	На вакуум-фильтрах или фильтр-прессах	130-230
4 группа мутные (свыше 250 мг/дм <sup>3</sup> ), малоцветные (до 35 град.)	70-75	25-35	5-10	< 1	Гравитационное уплотнение	На вакуум-фильтрах или фильтр-прессах с добавкой вторичных реагентов	8-100
	60-70	30-35	4-7	следы			3-100
	70-75	25-35	1-2	следы			35-80
	70-75	25-30	6-11	1-3			60-70
	70-80	25-30	10-12	1-5			90-150
	60-65	30-35	5-9	1,5-2			40-96

Механическое обезвоживание не является завершающим процессом. Обезвоженный осадок подлежит удалению, поэтому появляются дополнительные расходы на транспортирование и места хранения осадка.

### **2.3 Утилизация осадка**

После применения даже самых эффективных способов обезвоживания влажность осадков остается достаточно высокой (не менее 50%), как и их объем, поэтому решение вопроса утилизации остается актуальным. Полученный осадок обычно вывозится к местам хранения, отторгая при этом значительное количество земли. Оптимальным вариантом является полезное его использование для каких-либо народно-хозяйственных нужд. При этом и технология складирования (захоронения), и направления «полезной» утилизации, подразумевающие использование осадка в качестве компонента или исходного материала для производства какой-либо продукции, требуют его минимального влагосодержания. При этом, то, что в нем присутствуют дополнительные химические компоненты, накладывает существенные ограничения на его дальнейшее применение.

В таблице 7 приводятся рекомендации по технологии обработки осадков и по использованию их в различных отраслях народного хозяйства осадков четырех основных групп водоисточников, классифицированным по характеру осадкообразования.

Предлагается несколько направлений использования ВПО в зависимости от его состава и основных качеств [23, 50, 56]:

– строительстве и в промышленности строительных материалов;

Использование полученного осадка в строительной отрасли предполагает ассимилирование его части и применение в качестве одной из составных частей при производстве каких-либо строительных материалов и изделий. «Типичные осадки, идентичные по составу и природному глинистому или лессовидному сырью, предпочтительно использовать в

качестве керамического сырья, компонентов при производстве различных строительных материалов: цементов, бетонов, защитных покрытий и т.д.

Таблица 7 – Основные направления утилизации осадка водопроводных станций

Группа водоисточников	Область утилизации осадка
1 группа. Маломутные до 50 мг/л, среднецветные	Металлургия (защитное покрытие для поддонов и изложниц)
2 группа. Маломутные, высокоцветные	Строительные материалы (производство керамзита) Сельское хозяйство
3 и 4 группы Средней мутности (50-250 мг/л), малоцветные и высокомутные (более 250 мг/л), малоцветные	Строительные материалы (производство цемента) Антикоррозийные покрытия

Установлена возможность утилизации обезвоженного осадка в составе цементных сырьевых смесей вместо глинистого компонента от 3 до 10%. Введение осадка в сырьевую смесь увеличивает содержание в клинкере трехкальциевого алюмината, повышая прочность цемента на 30-50 кгс/см<sup>2</sup>.

В промышленности строительных материалов возможно использование водопроводного осадка в качестве опудривателя гранул при производстве керамзита позволит повысить качество и увеличить его выпуск при том же расходе сырья взамен дорогостоящих высокоогнеупорных опудривателей (глинозема).

Однако в связи с непостоянным составом применение водопроводного осадка в качестве строительного материала сильно ограничено.

- при изготовлении красок и мастик;
- в металлургии при защите огнеупорной футеровки печей;

Проведенные промышленные эксперименты по защите футеровки прибыльных надставок покрытием из осадка водопроводных станций

установили повышение стойкости футеровки на 20% при сохранении жаростойких противопопригарных свойств» [34].

- в дорожном строительстве при изготовлении пеностеклогранулята, материала для дорожных покрытий и укладка в дорожное полотно;

- в сельском хозяйстве в качестве жидких или сухих удобрений;

Хотя осадок промывных вод и безвреден, так как в нем не содержатся соли тяжелых металлов, но он менее питателен по сравнению с канализационным осадком, поэтому крайне редко применяется в этом направлении.

- на полигонах ТБО как субстрат для изолирующих слоев;

- регенерация из осадка коагулянта для использования на самой водопроводной станции, использование его в качестве реагента и интенсификатора процесса хлопьеобразования;

- в лесном и городском хозяйстве в виде одного из компонентов почвогрунта для рекультивации деградированных земель.

В настоящее время для крупных населенных пунктов проблема техногенной деградации почв стоит достаточно остро. «В городах под действием интенсивной антропогенной нагрузки не только исчезают и загрязняются почвы, но и уничтожаются возможности естественного формирования и поддержания почвенного покрова. Водопроводный осадок, являясь источником доступного для растений питания, стимулирует микробиологическое разложение торфа, что увеличивает содержание питательных веществ в почвогрунте, поддерживая его на необходимом уровне несколько лет без добавления минеральных удобрений.

Осадок содержит значительное количество солей и гидроксидов алюминия, обладающих амфотерными свойствами, что позволяет почвогрунту проявлять высокую буферность по отношению к высококислотным или высокощелочным поверхностным водам городской среды. Безвредность внесения осадков в почвогрунты объясняется отсутствием в них солей тяжелых металлов и органических токсикантов» [18].

Использование этого направления на московских водоочистных станциях показало и высокую эффективность применения почвогрунта и быструю окупаемость при минимальных начальных затратах.

### **Выводы по второй главе:**

Анализ литературных источников по проблеме обработки осадка водопроводных станций показал, что основным направлением является его механическое обезвоживание с предварительным сгущением и обработкой реагентами. Естественные методы обработки осадка приводят к загрязнению окружающей среды, связаны с отчуждением больших территорий, что экономически нецелесообразно.

Схема обработки осадков в каждом конкретном случае должна быть технологически и экономически обоснована и учитывать режимы работы основных сооружений, используемые реагенты, качественные и количественные показатели обрабатываемых вод.

В настоящее время отсутствуют унифицированные методы обработки осадков очистных сооружений водопровода, поскольку свойства осадков определяются качеством воды в водоисточнике и технологией водоподготовки. Кроме того, водопроводные осадки имеют низкую водоотдающую способность в сочетании с высокой влажностью, достигающей 98–99 %, что затрудняет их механическое обезвоживание.

## **Глава 3 Технологические решения обработки промывных вод и осадка на примере НФС г.о. Жигулевск**

### **3.1 Описание системы и структуры водоснабжения городского округа Жигулевск**

Источник водоснабжения г.о. Жигулевск является река Волга. Водозабор руслового типа забирает воду с глубины 17м на расстоянии 45 м от правого берега реки в приплотинной зоне Куйбышевского водохранилища.

На Жигулевской станции водоочистки принята типовая одноступенчатая схема. Речная вода после предварительной очистки на барабанных сетках по трубопроводам, в которые подается хлор для первичного хлорирования, и далее – в смеситель с дырчатыми перегородками, в который вводится коагулянт и полиакриламид (ПАА). После смесителя вода поступает в контактные осветлители КО, где освобождается от взвеси.

Контактные осветлители работают по принципу фильтрования воды через слой загрузки большой толщины снизу-вверх. В качестве фильтрующего материала применяется дробленый керамзит. Пройдя контактные осветлители, вода по трубопроводу, в котором происходит вторичное хлорирование, поступает в резервуары чистой воды. Из резервуаров, очищенная и обеззараженная вода с помощью насосных агрегатов НС-2 подается по магистральным водоводам в распределительную сеть города. Технологическая схема подготовки воды на НФС представлена на рисунке 12.

«Городские водопроводные очистные сооружения построены по типовым проектам и рассчитаны на осветление и обеззараживание умеренно загрязненной воды. В последние годы в воде водоисточника наблюдается резкое снижение концентрации взвешенных веществ и увеличение содержания органических загрязнений (в основном природного происхождения). В период паводка присутствуют техногенные загрязнения



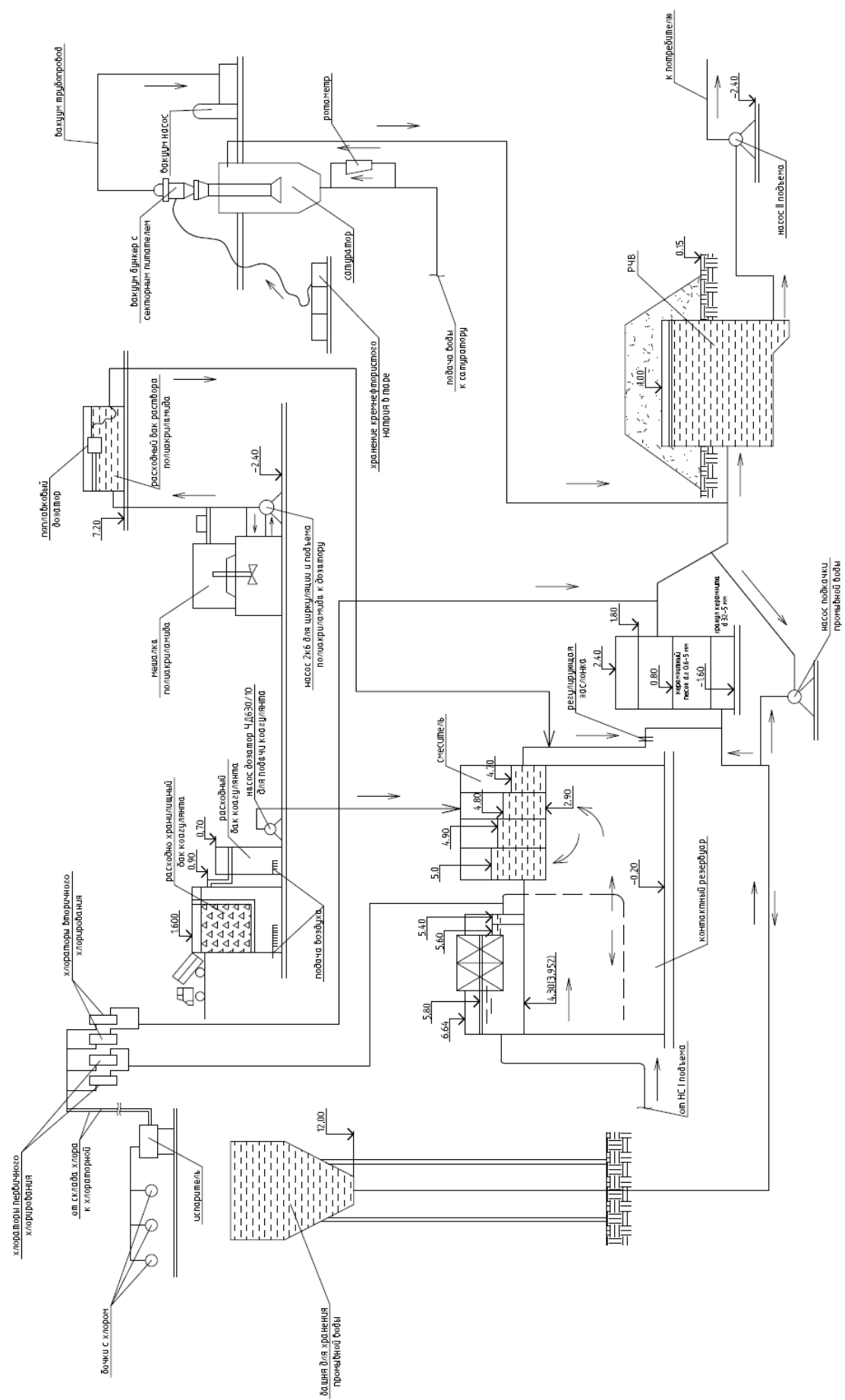


Рисунок 12 – Технологическая схема подготовки воды на НФС г. Жигулевска

(поверхностно-активные вещества), увеличивается концентрация марганца, обнаруживается фенол» [40].

Текущее состояние сетей и рост количества аварий в них негативно отражается на качестве питьевой воды. В питьевой воде в течение последних лет, особенно в весенние периоды, были выявлены несоответствие холодной воды санитарным нормам (предельно допустимой концентрации) не только по цветности и мутности, но и наличию коли формных бактерий.

Для оценки качества воды в различные периоды 2020 года были собраны сведения о динамике изменения мутности, цветности и других показателей. Средние значения мутности составляют 1,4–1,6 мг/л, в паводок мутность возрастает до 4–6 мг/л, цветность до 48 град. Перманганатная окисляемость находится в пределах 6–11,5 мг/л. Концентрация алюминия составляет менее 0,04 мг/л, щелочность в среднем 2,3–2,4 мг-экв/л, рН 7,8. В воде присутствует повышенное содержание железа (в среднем 0,3–0,36 мг/дм<sup>3</sup>). В паводок его концентрация достигает величин 0,85–0,95 мг/дм<sup>3</sup> [40].

Качество и микробиологические показатели очищенной воды на НФС в целом соответствует нормативным требованиям (данные таблицы 8). Хотя в некоторые периоды года (зимой) величина перманганатной окисляемости достигает величины 6,72 мг/л, что превышает ПДК. В периоды же половодья питьевая вода по цветности превышает 30 град, что является недопустимым, так как согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 в распределительную сеть очищенная вода должна подаваться до 20 градусов.

Проектная производительность очистной водопроводной станции составляет 50 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Жигулевская станция водоподготовки имеет резерв до 78%. Она оснащена 8 контактными осветлителями площадью 44,5 м<sup>2</sup> производительностью 30 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Для их промывки, которая в летний сезон проходит раз в сутки, а в зимний через 48 часов, расходуется 1800 м<sup>3</sup>/сутки чистой воды. В дальнейшем они, пройдя резервуар-усреднитель без очистки сбрасываются в водохранилище. Промывная вода осветлителей, также, как и

водопроводный осадок сбрасывается без обработки в водохранилище. Учитывая, что количество осадка составляет 1–2 % от производительности станции, это составляет порядка 300-600 м<sup>3</sup>/ч.

Таблица 8 – Свойства и качественный состав питьевой воды г.о. Жигулевск [39]

Показатели	Ед. изм.	ПДК	Фактический показатель
<b>НФС г. Жигулевск</b>			
Аммиак по азоту	мг/л		0,156
Нитраты по NO <sub>3</sub>	мг/л	45	4,16
Железо	мг/л	0,3	0,16
Окисляемость	мг/л	5	6,72
Мутность	мг/л	2,6	0,097
Цветность	град	20	20,6
Запах	балл	2	1
Привкус	балл	2	-
Свободный хлор	мг/л	350	26,14
ОМЧ КОЕ	в 1 мл	50	не обл.
ОКБ КОЕ	в 100 мл	-	не обл.
ТКБ КОЕ	в 100 мл	-	не обл.

Согласно «Генеральному плану развития городского округа Жигулевск Самарской области» и принятой на ее основании программы экологической реабилитации города, предусмотрена реконструкция станции водоочистки. «Известно, что одним из постоянных источников концентрированного загрязнения поверхностных водоемов являются сбрасываемые без обработки воды, образующиеся в результате промывки фильтровальных сооружений

станций водоочистки. Находящиеся в их составе взвешенные вещества и компоненты технологических материалов, а также бактериальные загрязнения, попадая в водоем, увеличивают мутность воды, сокращают доступ света в глубину, и, как следствие, снижают интенсивность фотосинтеза, что в свою очередь приводит к уменьшению сообщества, способствующего процессам самоочищения. Для предотвращения неблагоприятного воздействия на водоем в процессе водоподготовки необходимо использование ресурсосберегающей, природоохранной технологии повторного использования промывных вод фильтров.

Данная технология позволяет повысить экологическую безопасность водного объекта, исключив сброс промывных вод в водоем» [3].

### **3.2 Предлагаемые схемы обработки промывных вод и осадка на Жигулевской станции водоподготовки**

Проанализировав работу станции и рекомендации проектировщиков и эксплуатационников, было предложено несколько путей утилизации промывных вод и осадка. Причем, в обоих случаях, учитывая финансовые возможности и наличие свободных площадей при реконструкции, решено было остановиться на механической обработке. Рассмотрим предлагаемые варианты обработки промывных вод контактных осветлителей и образующегося осадка.

Значения гидравлической крупности взвеси в промывных водах, обработанных реагентом, в течение года изменяется в пределах от 0,29 до 0,39 мм/с. Частицы такого размера могут быть эффективно удалены в отстойниках, на гидроциклонах малого диаметра и центрифугах. Высокая стоимость проточных центрифуг и сложность эксплуатации делают их неконкурентноспособными по сравнению с другими аппаратами, поэтому в дальнейшем не рассматривались.

Руководствуясь нормативными документами [44], рекомендуемые отстаивание промывной воды с предварительным выделением песка в песколовке и дальнейшую перекачку в начало сооружений, были предложены возможные технологические схемы – это возвращение промывных вод после очистки в начало технологического цикла до смесителя, что на НФС возможно, учитывая большой запас по производительности КО.

Вариант 1: Регенеративные воды из КО поступают в резервуар-усреднитель, откуда равномерно в течение суток перекачиваются в головной узел водоочистных сооружений. Перед резервуаром-усреднителем для очистки от песка монтируется горизонтальная песколовка. Возврат в начало технологической цепочки вызван необходимостью дальнейшей очистки промывных вод, так как горизонтальные отстойники рекомендуется применять для производительности сооружений более 30000 м<sup>3</sup>/сут. при большой мутности воды [44, п.9.10], а количество регенеративной воды на станции не превышает 1800 м<sup>3</sup>/сут. с относительно небольшой мутностью, не более 100 мг/л.

Для обработки же осадка можно предложить установку медленного перемешивания с последующим обезвоживанием в вакуум-фильтрах или по мере его накопления отправкой на площадки для хранения песка (рисунок 13).

Вариант 2 (рисунок 14): В отличие от варианта 1 в данной технологической схеме после резервуара-усреднителя осадок направляется на сушилки мешкового типа (рисунок 15).

Вариант 3: На НФС предложено повторное использование промывных вод (рисунок 16) с использованием гидроциклона. В состав сооружений для повторного использования промывных вод входят: вертикальная песколовка со встроенными тонкослойными модулями; открытые гидроциклоны;

отстойники промывных вод. В этом случае воды после очистки можно вновь направлять на промывку контактных осветлителей.

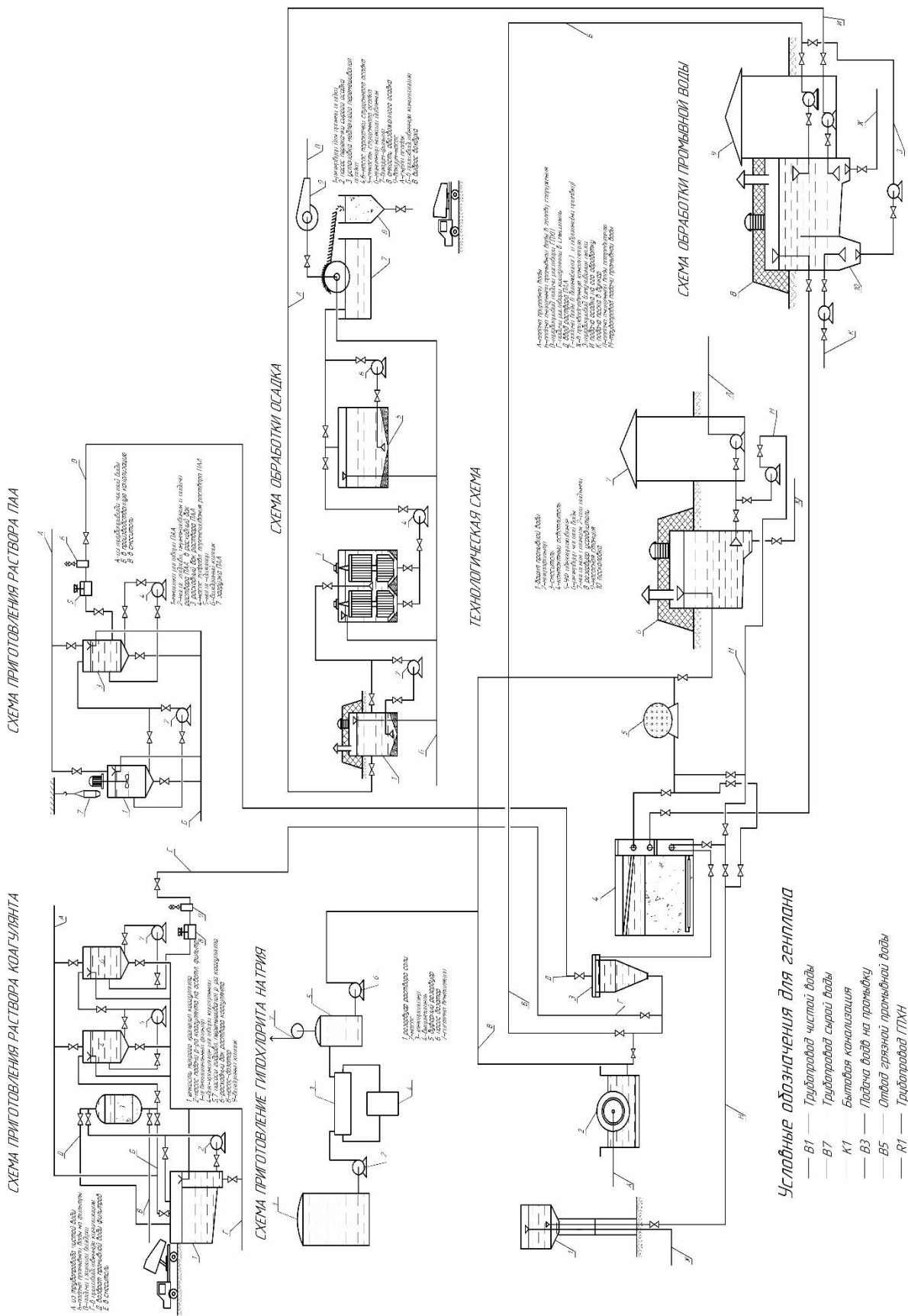


Рисунок 13 – Вариант 1 предлагаемых технологических схем подготовки воды на НФ г. Жигулевска

СХЕМА ПРИГОТОВЛЕНИЯ РАСТВОРА КОАГУЛЯНТА

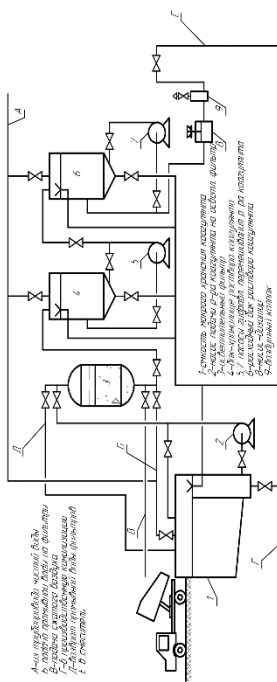


СХЕМА ПРИГОТОВЛЕНИЯ РАСТВОРА ПАА

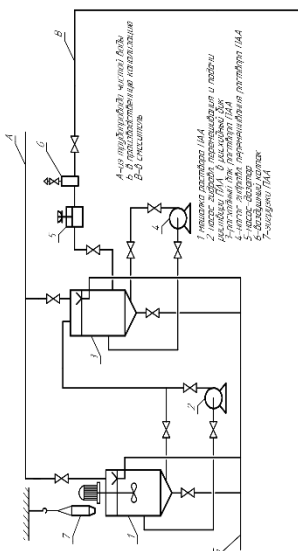


СХЕМА ПРИГОТОВЛЕНИЕ ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ

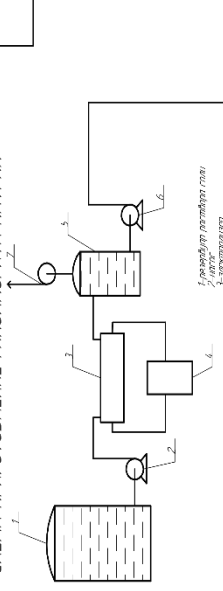
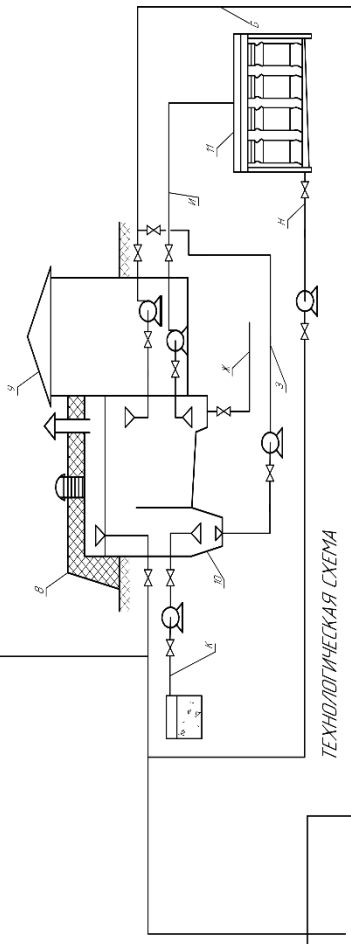


СХЕМА ОБРАБОТКИ ПРОМЫВНОЙ ВОДЫ И ОСАДКА



ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА

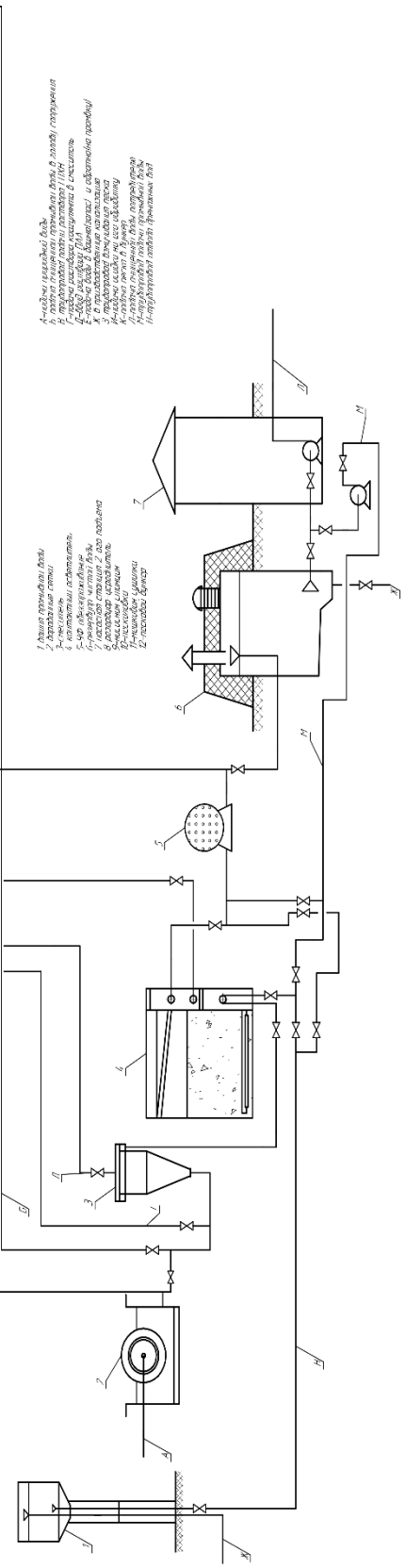


Рисунок 14 – Вариант2 предлагаемых технологических схем подготовки воды на НФ г. Жигулевска



Рисунок 15 – Сушилки мешкового типа

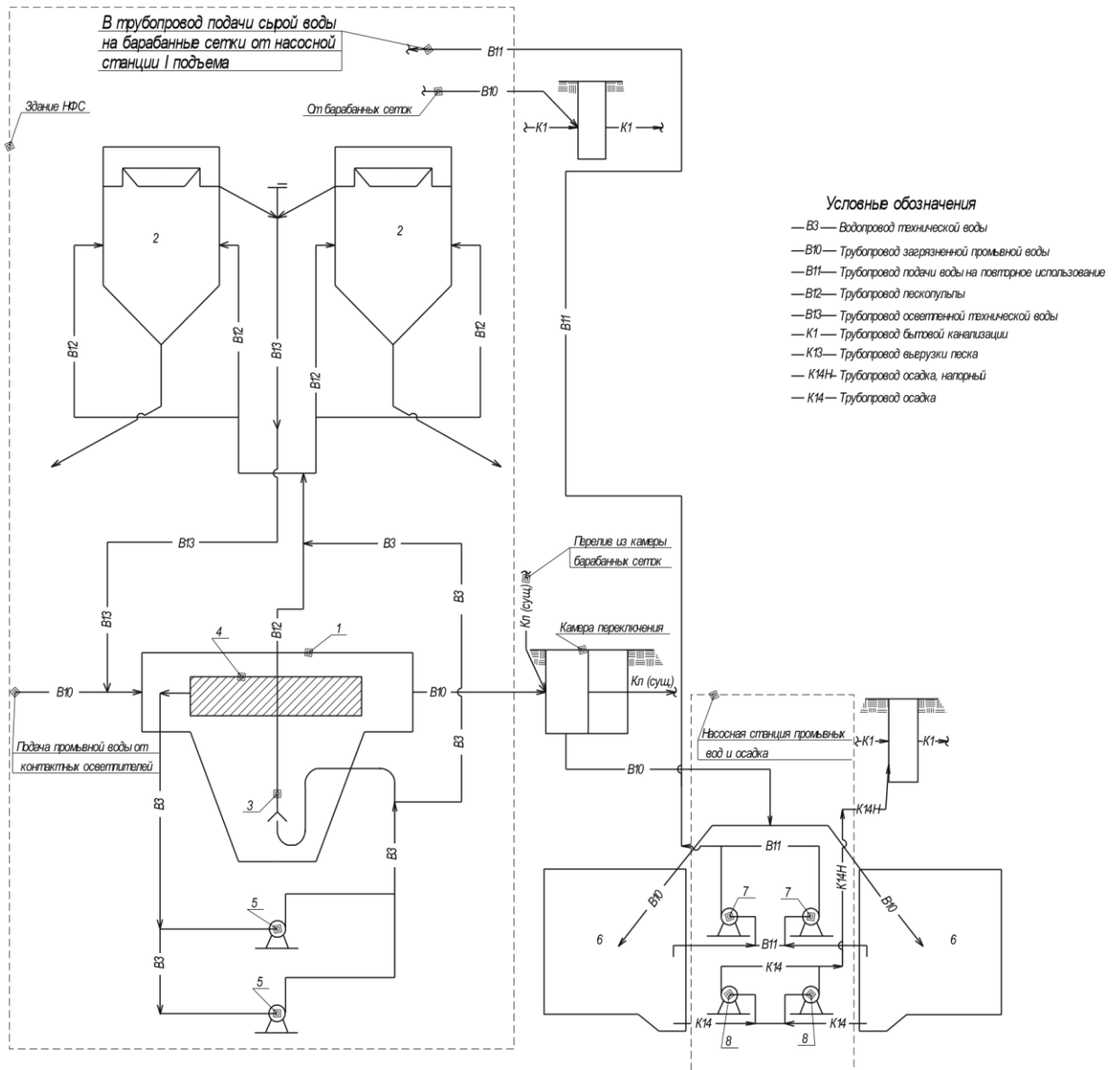


Рисунок 16 – Схема повторного использования промывных вод с использованием гидроциклона



Недостатком этих схем являются затраты на устройство отстойников и значительная занимаемая ими площадь, что важно при наличии ее дефицита при реконструкции станции.

На наш взгляд, устройство предварительной песколовки является вовсе не обязательной ступенью. Известно, что открытые гидроциклоны успешно справляются с очисткой частиц крупнее 0,2 мм/с. Поэтому можно предложить следующую схему сооружений: промежуточная емкость, повысительный насос, гидроциклон, после чего возвращать очищенную воду в начало цепочки в смеситель. Высокая степень очистки в инерционном аппарате позволяет использовать очищенную в нем воду в дальнейшем для промывки КО, так как в действующем СП допускается использование воды для этих целей «при условиях: мутности ее не более 10 мг/л» [44, п.9.92]. На наш взгляд, наиболее рационально многократное использование промывных вод с использованием существующих КО.

Необходимо выделить промывные воды из основного процесса водоподготовки и использовать их после предварительной очистки повторно. В городе имеется существенный резерв по действующим производительностям водозабора. Существующий резерв водозаборных сооружений составляет 78%, а водоочистных сооружений – 40% (данные таблицы 9).

Таблица 9 – Прогнозируемая мощность водоочистных сооружений [39]

Наименование технологической зоны	Полная фактическая производительность очистных сооружений, тыс.м <sup>3</sup> /сут.	2025г	
		Прогнозное потребление, м <sup>3</sup> /сут.	Резерв производственной мощности, %
г. Жигулевск (ВОС)	30	17,3	42,3

Тенденция к сокращению водопотребления потребителями, а также уменьшению потерь и неучтенных расходов при транспортировке воды

позволяет использовать существующие осветлители для очистки промывных вод и оборотного водоснабжения. При этом использование действующих сооружений значительно снижает стоимость планируемой реконструкции

Были рассмотрены две, на наш взгляд, более целесообразные и экономически обоснованные схемы обработки ВПО: возможность использования существующей системы канализации и применение механического обезвоживания. На сегодняшний день вариант совместной обработки осадка водопроводных станций и канализационных стоков не осуществим. В Жигулевске в системе водоотведения практически полностью изношены насосные станции по перекачке сточных вод на очистные сооружения. При пиковых нагрузках (утро/вечер) просто не справляются с объемом сточных вод, что зачастую приводит к сбросу части стока в Волгу. Данная ситуация привела к микробному и химическому загрязнению акватории реки, ниже по течению которой располагаются территории национального парка «Самарская Лука», Жигулевского государственного природного биосферного заповедника им. И.И. Спрыгина. Затем эта загрязненная вода попадает в Куйбышевское водохранилище, которое является местом водозабора питьевой воды для городского округа Самара. Поэтому увеличение нагрузки на станцию очистки канализационных стоков на данный момент недопустима. Хочется отметить, что проводимая в рамках Нацпроекта «Экология» и региональной программы «Оздоровление Волги» реконструкция очистных сооружений г.Жигулевск, которую планируют закончить до 2022 года увеличит мощность до 16200 м<sup>3</sup>/сут, что в перспективе позволит использовать их для переработки осадка станции водоподготовки.

На сегодняшний день, пока реконструкция существующих сетей водоотведения не завершена, реальным остается лишь предложение о возможности использования механических методов обработки осадка.

Если руководствоваться рекомендациями украинских ученых, то оптимальным вариантом обработки осадка является использование фильтр-

прессов с добавкой извести или с нагревом с предварительным уплотнением (см таблицу 6).

Учитывая высокая стоимость и сложность эксплуатации фильтр-прессов, после предварительного технико-экономического анализа, рассмотрев преимущества и недостатки основных аппаратов обезвоживания, было предложено отказаться от них, используя для этих целей гидроциклон.

«Любая схема обработки гидроокисных осадков природных вод поверхностных водоисточников должна начинаться с уплотнения, что обусловлено высокой исходной влажностью осадков. Сокращение объема осадка при его уплотнении является наиболее простым и дешевым способом частичного обезвоживания осадка, позволяющим к тому же существенно снизить затраты на последующее его обезвоживание.

Перемешивание позволяет, при определенных условиях, повысить исходную концентрацию осадка в 5–10 раз и во столько же раз сократить его объем. Поэтому большой интерес представляет использование гидроциклонов для обработки осадков природных вод, так как в них за счет повышенных скоростей и вращающихся разнонаправленных потоков суспензии (внешнего вниз к песковому насадку, внутреннего – вверх к сливному отверстию) будет происходить нарушение сплошности пространственной решетки осадка и выделение минеральных частиц, а, следовательно, и интенсификация процесса уплотнения» [53].

Кроме того, повышенное содержание минеральных примесей (песка) в осадке осветлителей, работающих на речной воде, следует ожидать позитивные результаты работы напорных гидроциклонов, которые предлагаются нами для первой ступени обработки осадка.

Гидроциклоны являются компактными аппаратами, имеют высокую удельную производительность, отсутствие движущихся частей, низкие капитальные затраты, удобство размещения и эксплуатации. Результаты исследований обработки осадка на гидроциклонах показывают, что

эффективность удаления минеральных частиц из осадка составляет 23–34 %. По экспериментальным данным максимальный эффект достигается при 0,15–0,2 Мпа. В результате обработки осадка в поле центробежных сил в нем будут содержаться в основном крупные частицы (песок, глинистые частицы и др.), а оставшаяся часть взвешенных веществ будет обуславливать мутность слива. Вода, поступающая в слив после осветления, может быть повторно использована в производстве, а осадок после обработки на гидроциклонах будет гораздо эффективнее обезвоживаться в стгустителях, центрифугах и сепараторах.

«При включении гидроциклонов в технологическую схему обработки осадка главным преимуществом является ее экологичность за счет обеспечения максимального обезвоживания безреагентным способом» [53].

Известно несколько способов удаления водопроводного осадка на канализационные очистные сооружения: сброс в канализационную сеть, перекачка по трубопроводам и привоз автоцистернами на канализационные очистные сооружения. В данном случае оптимальным и экономически оправданным будет перевозка автоцистернами.

Минеральный состав осадка воды малой и средней мутности и цветности характеризует его как «ил алевритово-глинистый, состоящий из трех основных компонентов: илистых (иллиты), терригенных (полевые шпаты, ильмениты и магнетиты) и аутигенных (пириты, известковые шпаты). На основании химического и минерального состава осадка выделены наиболее вероятные направления его «полезной» утилизации: в производстве строительных материалов (ввиду схожести с глинами) и почвогрунтов (по содержанию элементов питания растений в доступной форме)» [33].

Однако в связи с непостоянным составом применение водопроводного осадка в качестве компонента какого-либо строительного материала сильно ограничено. Поэтому наиболее продуктивно использовать его при приготовлении почвогрунтов. Для городов нашей области чрезвычайно актуальна проблема эрозии почв. Так, более 87% всей почвы г.о.Тольятти

деградированы, не пригодны практически для целей озеленения. При этом увеличение в атмосферном воздухе частиц пыли приводит к ухудшению экологической ситуации не самого благоприятного в этом отношении города. Содержащийся в осадке гумус и биогенные элементы позволяют применять его для получения биомассы, используемой при озеленении городов и производстве технических культур. Почвогрунт состоит из 50% торфа, 35% водопроводного осадка и 15% песка, и он близок по своему составу и свойствам к натуральной почве. Кроме того, он обладает высокими противозерозными свойствами и устойчивостью к неблагоприятным воздействиям городской среды.

#### **Выводы по третьей главе:**

Применение гидроциклонов для обработки осадков и промывных вод на водопроводных очистных сооружениях позволит уменьшить сброс загрязнений в р. Волга, а также повысит эффективность работы сооружений повторного использования промывных вод.

Осадок водопроводных очистных сооружений возможно использовать при производстве строительных материалов и при приготовлении почвогрунтов.

## Заключение

Проблема утилизации промывных вод стоит достаточно остро на многих водопроводных станциях страны.

Промывные воды могут быть или сброшены в ближайший водоем, канализацию без очистки, или направлены в голову сооружений, или подвергнуты очистки.

Многократное использование очищенных промывных вод для промывки сооружений позволяет экономить до 10% воды на станциях водоподготовки, улучшая экологическую ситуацию в районе. Но этот вопрос должен решаться только при обосновании для конкретных условий, так как оборот промывных вод может привести к нарушению технологических режимов очистки природных вод. При этом, так как качество воды, подаваемой на промывку фильтровальных сооружений, должно практически соответствовать качеству питьевой воды, то сооружения для их очистки, должны удовлетворять этим требованиям.

Схема обработки осадков в каждом конкретном случае должна быть технологически и экономически обоснована и учитывать режимы работы основных сооружений, используемые реагенты, качественные и количественные показатели обрабатываемых вод.

Показано, что существующая схема сброса промывных вод и водопроводных осадков ОСВ г. Жигулевска в реку Волга на сегодняшний день недопустима. Изучена возможность перехода очистных сооружений водопровода на технологию многократного использования промывных вод. Технология дает возможность задействовать основные сооружения насосно-фильтровальных станций. Выделяется один или несколько контактных осветлителей, а очищенная промывная вода питьевого качества используется для их же промывки.

При обработке осадка рассмотрена возможность механического обезвоживания, используя для этих целей напорный гидроциклон.

В качестве наиболее перспективного направления утилизации осадка предложено его использование как составной части почвогрунта для городских территорий.

## Список используемых источников

1. Абрамова А. А. Повторное использование промывных вод станций водоподготовки: магистерская диссертация – ИжГТУ – [Электронный ресурс] - URL: <https://pandia.ru/text/81/113/93753.php> (дата обращения 21.01.2021)
2. Абрамова А. А., Шакирова Г. М., Жариков О. В. Повторное использование промывных вод станций водоподготовки. // Технологии водоснабжения и водоотведения: сборник статей II Русско-немецкой летней школы по проблеме водоснабжения и водоотведения населенных мест. Ижевск. : Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, 2019. С. 37-41
3. Алексеев С. Е., Шелест С. Н., Захаров В. Р., Моор Н. В. Опыт внедрения технологии утилизации промывных вод на водопроводных очистных сооружениях г. Омска // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. №6. С. 9-18.
4. Алферова Л. И., Курочкин Е. Ю., Дзюбо В. В. Повторное использование промывных вод и утилизация осадка на станциях очистки подземных вод // Водоочистка. 2008. №6. С. 26-31.
5. Артеменок Н. Д., Иващенко А. Т., Шоколов А. Н., Палецкий А. В., Передерей Л. Г. Исследование процессов обработки промывных вод насосно-фильтровальной станции № 5 г. Новосибирска // Водоснабжение и санитарная техника. 2014. № 4. С. 29–32.
6. Артеменок Н. Д., Урванцева М. И. Комплексная оценка процессов очистки промывных вод водопроводных станций в Западной Сибири// Водоснабжение и санитарная техника. 2011. №2. С.25-29
7. Артеменок Н. Д., Урванцева М. И. Обработка промывных вод и осадков водопроводных станций зарегулированных стоков // Решение проблем развития водохозяйственных систем Новосибирска и городов Сибирского региона. Новосибирск, 2006. С.12-18.

8. Бутко Д. А., Лысов В. А., Родионова А. Б. Реагентное осветление промывных вод скорых фильтров // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. №9. С. 53-56.

9. Бутко Д. А. Ресурсосберегающая технология повторного использования промывных вод скорых фильтров водопроводных станций: Автореф. дис. канд. техн. наук. /Д. А. Бутко Ростов-на-Дону, 2002. - 24 с.

10. Волик Ю. И., Терновская О. И., Шевченко Л. Я. Классификация осадков водопроводных станций Украины в зависимости от качества водоисточников // Основные направления развития водоснабжения, очистки природных вод и обработки осадков: материалы всес. научн.-техн. конф., Харьков, 14-16 мая 1986 г. Харьков. 1986. С. 136-140.

11. Главчук С. А., Медиоланская М. М. Очистка и повторное использование промывных вод на водопроводных очистных сооружениях // Менеджмент экологии : тез. докл. конф., Вологда. 1999. С. 128-130.

12. Головин В. Л. У эффективной водоподготовки несколько слагаемых. Фильтрация основа глубокой очистки природных вод // Вода Magazine. 2008. №3. С. 28-34.

13. Гироль Н. Н., Гироль А. Н., Якимчук Б. Н. и др. Обработка технологических стоков и утилизация осадков станций очистки питьевых вод // СОК [сайт]. URL: <http://www.c-o-k.com.ua/content/view/764> (дата обращения 23.01.2021)

14. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П. Обработка промывных вод фильтров водоочистных станций // Водоснабжение и санитарная техника. 2005. №8. С. 25-31.

15. Дзюбо В. В., Курочкин Е.Ю. Очистка промывных вод на станциях обезжелезивания подземных вод // Вода и экология. 2005. №1 С. 3-8.

16. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Гетманцев С. В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. М. : Научное издание, 2005. 576 с.



17. Егорова Ю. А., Кичигин В. И., Полстыянов С. Н., Нестеренко О. И. Исследование технологий очистки промывных вод контактных осветлителей // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. №8. С.25-32.

18. Жуков Н. Н. Состояние и перспективы развития сооружений по обработке водопроводных и канализационных осадков в городах России // ВСТ: Водоснабжение и санитарная техника. 2002. № 12. ч. 1. с. 3-6.

19. Журба М. Г., Чекрышов А. В., Говорова Ж. М. Обработка промывных вод и осадков водопроводных станций. Обзорная информация. Вып.1 - М., ВНИИТПИ, 2001. 46 с.

20. Журба М. Г., Чекрышов А. В., Говорова Ж. М. Обработка промывных вод фильтров и осадков водопроводных станций. М.: АСВ, 2003. 158 с.

21. Журба М. Г. Водоснабжение: Проектирование систем и сооружений: учебное пособие /М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова. - изд. 2-ое, перераб. и доп. М. : АСВ; 2004. 496 с.

22. Кадров А.А., Кинах И.С. Методы переработки водопроводного осадка // Евразийский научный журнал. 2016. №1. С. 234

23. Калашников А. А, Соловьева А. В., Васильев В. С. Технология обработки осадка промывных вод на станции водоподготовки // Инновационные технологии в системах водоснабжения и водоотведения: материалы междун. научно-практ. конф., Чебоксары, 24–25 октяб. 2019 г. Чебоксары, 2019. С.43-53

24. Коева А. Ю., Максимова С. В., Качалова Г. С. Обработка промывных вод станции водоподготовки города Курган на реке Тобол // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-1. С. 47-50. URL: <http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=33692> (дата обращения 21.01.2021)

25. Кольчугин Б. М. Совместная очистка сточных вод и осадков водопроводных станций: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 1984.

26. Любарский В. М. Осадки природных вод и методы их обработки. М. : Стройиздат, 1980. 128 с.

27. Максимов А. Ф. Эколого-экономическое обоснование проекта по организации участка обезвоживания осадка ГСВ МУП «Водоканал» г. Екатеринбурга: магистер...дис. Екатеринбург. 2017.

28. Михеев И. Н. Водные ресурсы как база питьевого водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 1998. №4. С. 7-8.

29. Максимова С. В., Коева А. Ю., Максимов Л. И. Способы утилизации осадка горизонтальных отстойников (на примере Арбинской водопроводной станции города Курган) // Вестник Тюменского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 1. С. 66-70.

30. Никитин А. М., Сколубович Ю. Л., Войтов Е. Л. Повышение эффективности работы водопроводных станций // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. №2. С.21-25.

31. Николаенко Е. В., Белканова М. Ю., Репников Н. Е. Технологические аспекты обработки осадка сооружений водоподготовки // Перспективы развития строительного комплекса. 2016. №1. С. 80-86

32. Новиков М. Г., Иванова Н. Г., Дмитриева Л. П. Утилизация промывных вод фильтровальных сооружений на водоочистных станциях // Вода и экология, проблемы и решения. 2000. №1. С. 12-13.

33. Опыт сертификации // ООО НПФ Бифар [сайт]. URL: <http://www.bifar.ru/main/sertif/opit.aspx> (дата обращения 23.01.2021)

34. Пахомов А. Н., Храменков С. В., Данилович Д. А., Бакулин С. М., Поршнева В. Н., Коверга А. В., Хамидов М. Г. Обработка осадков станций водоподготовки // Водоснабжение и санитарная техника. 2008. № 10. С. 67–76.

35. Пат. РФ №2124480 РФ. Отстойник-усреднитель / В. А. Лысов, Д. А. Бутко, Н. А. Килякова, А. В. Бутко, Л. И. Нечаева, П. Д. Ананко (РФ). Заявл. 25.02.97; Оpubл. 10.01.99, Бюл. №1. 8с.

36. Пат. РФ № 2326819. Способ обработки промывных вод водоочистных станций / Никифорова Л.О., Пискайкин В. Н. (РФ). Заявл.

12.02.2007; Оpubл. 20.06.2008. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/232681>  
(дата обращения 21.01.2021)

37. Пискайкин В. Н. Никифорова Л. О. Технологическое решение очистки промывных вод : сб. докладов конгресса /ЭКВАТЭК: В 2-х ч., ч1. М.: ЗАО «Фирма СИБИКО Интернэшнл», 2006. С.581-582.

38. Почиталин Н. П., Минеева Н. Р. и др. Коагулянт "АКВА-АУРАТ"<sup>™</sup> 30" в системе повторного использования воды "АвтоВАЗ" г.Тольятти // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. №8. С.29-31.

39. Разработка схемы водоснабжения и схемы водоотведения в административных границах городского округа Жигулевск Самарской области на период до 2028 года. Администрация городского округа Жигулевск. [сайт]. URL: [https://zhigulevsk.org/shema\\_vodosnabzheniya\\_gozhigulevsk/](https://zhigulevsk.org/shema_vodosnabzheniya_gozhigulevsk/) (дата обращения 21.01.2021)

40. Рафф П. А., Селюков А. В., Байкова И. С. Технология контактного осветления воды в условиях Волжского водозабора г. Казани // Водоснабжение и санитарная техника. №6. С. 25-34.

41. Рыльцева Ю. А. Оптимизация процесса обработки осадка станций подготовки маломутной и малоцветной природной воды : Автореферат дис. канд. Техн. наук : 05.23.04 / Ю.А. Рыльцева - Пенза, 2016. - 22 с.

42. СанПиН 2.1.5.980-00 Гигиенические требования к охране поверхностных вод - Дата введения 2001-01 // Консультант плюс: справочно-Оправовая система

43. Смирнов А.М. Инновационная технология водоподготовки - реконструкция старых станций /А.М. Смирнов, М.Н. Смирнов, Э.Л. Ким // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2009. №6. С. 36-43.

44. СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84\* Дата введения 2013-01-01 // Консультант плюс: справочно-правовая система

45. Совместная обработка осадков сточных вод и осадков, образующихся на водопроводных станциях / С. В. Яковлев [и др.]. М.: Стройиздат, 1990. 104 с.

46. Способ очистки, природных вод напорной флотацией. Патент №2327646, 25.01.2007.

47. Стрелков А. К., Баранов А. В., Цабилев О. В., Ефанов И. А. Оценка эффективности применения полуволоконных мембран при очистке промывных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2014. №8. С.10-14.

48. Технический справочник по обработке воды. Том 1. СПб.: Новый журнал, 2007. 878 с.

49. Устройство для флотационной очистки сточных вод. Патент РФ на полезную модель №66327, 02.04.2007.

50. Урванцева М.И. Обработка промывных вод и осадков водопроводных станций, расположенных на источниках малой и средней мутности и цветности : дис. ... канд. техн. Наук. Новосибирск, 2011.

51. Фрог Б. Н., Левченко А. П. Водоподготовка: учеб: для вузов. М. : Изд-во МГУ, 1996. 668 с.

52. Хамитов М.Г. Технологическое взаимодействие коммунальных систем водоподготовки и канализации в процессах очистки воды и обработки осадков диссертация : Автореферат дис. канд. Техн. наук : 05.23.04 /М.Г. Хамитов - Москва, 2007. – 57 с.

53. Шевцов М. Н., Носенко М. О. Совершенствование технологической схемы обработки осадков водопроводных станций//Вестник ТОГУ. 2008. №3. С. 53-60

54. Янин Е.П. Осадок водопроводных станций (состав, обработка, утилизация) // Экологическая экспертиза. 2010. № 5. С. 3–45.

55. Bagwell T., Ettlich B. &. Handbook of public water systems second edition / HDR Engineering, Inc. -2nd ed. New York: by John Wiley&Sons, 2001. 1136 pp.

56. Hirol A., Boychuk S., Girol A., Hirol M. // Flushing water and sediments

utilization from selected water treatment station // Proceedings of ECOpole. 2009. Vol. 3, No. 2. P. 311-316

57. Pontius F.W. Are water treatment plant wastes hazardous? // J. Amer. Water Works Assoc. 2010. 82. № 12. P. 12-14.

58. Shevchenko L. Réduction of effluents from water supply stations to surface water bodies // J. Environ. Engineering and Landscape Management. 2005. XIII. № 2. P. 97a-102a

59. Water Treatment. Principles and Practices of Water Supply Operations. Melissa Christensen (Project Manager). Denver: American Water Works Association. - 3rd ed, 2003. 552 pp.