

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Институт «Архитектурно-строительный»  
Кафедра «Градостроительство, инженерные сети и системы»

ВКР МАГИСТРА  
ПРОВЕРЕНА

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Рецензент,  
Заместитель главного инженера  
СП ОСВ МУП ПОВВ  
г. Челябинска,  
\_\_\_\_\_ Китаева С.В.  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Заведующий кафедрой,  
\_\_\_\_\_ Д.В. Ульрих  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Осадки очистных сооружений водопровода как модифицирующая  
добавка в производстве керамического кирпича

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ МАГИСТРА  
ЮУрГУ–08.04.01.2020.305-04.035 ПЗ ВКР

Руководитель ВКР магистра  
Доц., к.х.н. М.Ю. Белканова  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор ВКР магистр группы  
АС-227  
В.А. Тонков  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Нормоконтролер  
Доц., к.т.н. Е.В. Николаенко  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Челябинск  
2020

## РЕФЕРАТ

Тонков В.А. Осадки станций водоподготовки, удельное сопротивление фильтрации, обезвоживание, замораживание-оттаивание. – Челябинск: ЮУрГУ, АСИ-227, 2020. – 84 с., 23 ил., 11 табл., библиогр. список – 31 наим., 1 приложение.

Объектом исследования являются осадки очистных сооружений водопровода г. Челябинска.

Цель работы – выявить потенциальную возможность применения осадков очистных сооружений водопровода г. Челябинска в качестве добавок при изготовлении строительных материалов.

В первом разделе дана краткая характеристика очистных сооружений водопровода, рассмотрены современные направления утилизации обезвоженных осадков очистных сооружений водопровода. Приведены и проанализированы данные изменения показателей качества воды в источнике.

Второй раздел посвящен изучению методов обработки и обезвоживания осадков очистных сооружений водопровода, рассмотрены различные варианты кондиционирования.

В третьем разделе представлены методики проведения исследований, предварительной обработки осадков, методика проведения процесса замораживания-оттаивания.

В четвертом разделе приведены результаты исследований: подготовка осадков к обезвоживанию; апробирование модифицированной добавки в производстве керамического кирпича.

В пятом разделе даны рекомендации по технологии обработки осадков ОСВ г. Челябинск с использованием метода «замораживание-оттаивание».

## СОДЕРЖАНИЕ

ВЕДЕНИЕ.....	9
1. НАПРАВЛЕНИЯ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ ОСВ.....	11
1.1 Краткая характеристика очистных сооружений водопровода .....	11
1.2 Влияние качества воды в Шершневском водохранилище на свойства осадков ОСВ .....	12
1.3 Направления утилизации осадков ОСВ .....	18
1.3.1 Вторичное использование осадка в виде сырья для производства коагулянта .....	19
1.3.2 Использование осадка в качестве удобрения.....	19
1.3.3 Утилизация осадка в качестве огнеупорного напыляемого материала.....	21
1.3.4 Использование осадка в производстве строительных материалов .....	22
2. СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОСАДКОВ.....	26
2.1 Управление осадками природных вод .....	26
2.2 Методы безреагентной обработки осадка перед обезвоживанием.....	29
2.2.1 Уплотнение и сгущение.....	30
2.2.2 Замораживание – оттаивание .....	31
2.2.3 Электрокоагуляция .....	33
2.2.4 Магнитная обработка.....	34
2.2.5 Радиационная обработка .....	35
2.3 Реагентная обработка осадков ОСВ .....	35
2.3.1 Обработка известью.....	36
2.3.2 Обработка присадочными материалами .....	37
2.3.3 Обработка флокулянтами .....	38
2.4 Обезвоживание осадков ОСВ.....	40
2.4.1 Механическая обработка осадков.....	40
2.4.2 Фильтр – пресс.....	42
2.4.3 Вакуум – фильтр.....	43
2.4.4 Центрифуги .....	43
3. МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	46
3.1 Определение удельного сопротивления фильтрации.....	46
3.2 Методика определения влажности осадка.....	48
3.3 Методика обработки осадка известью .....	49
3.3.1 Сухое дозирование .....	49
3.3.2 Обработка известковым молоком.....	50
3.4 Методика замораживания-оттаивания .....	50
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	52

4.1	Подготовка осадков к обезвоживанию.....	52
4.1.1	Исследование исходного осадка.....	52
4.1.2	Обработка осадков сухой известью .....	56
4.1.3	Обработка осадков известковым молоком .....	62
4.1.4	Замораживание-оттаивание осадка ОСВ.....	64
4.2	Апробирование модифицированной добавки в производстве керамического кирпича.....	68
5.	РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ ОСВ.....	72
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	78
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	80
	ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	84

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день водные ресурсы в качестве пресной воды являются наиболее значимыми для человечества. Сложная эпидемиологическая ситуация в ряде регионов России заставляет задуматься над рациональным использованием данного вида ресурсов. Гарант здоровья страны – это экологически чистая и безопасная вода.

Источники водоснабжения, такие как водохранилища, зачастую осуществляют подпитку водных ресурсов из рек. На протяженности реки встречаются не один десяток поселений и городов. Результатом антропогенных факторов является ежедневное загрязнение этих источников. Станции водоподготовки в мире для хозяйственно-питьевых целей ежегодно образуют приблизительно десять тысяч тонн осадков (по сухому веществу). Эти страшные цифры дают повод задуматься о рациональной утилизации таких осадков в нашей стране, ведь здоровье населения и благоприятная экологическая обстановка являются одними из приоритетных направлений в деятельности государства, субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, юридических и физических лиц.

Утилизация осадков очистных станций водоподготовки на сегодняшний день в нашей стране не имеет широкого распространения, когда как в зарубежных странах процент утилизации осадков составляет порядка 40-60%. Данные осадки используются в сельском хозяйстве, металлургической отрасли, лесоводстве, а также в качестве добавок строительных материалов и т.д.

Подготовка осадков к дальнейшей утилизации занимает довольно длительный процесс. Технологическую схему по подготовке осадков к утилизации для каждого предприятия составляют индивидуально, так как технология подготовки и качество воды для каждого водоисточника разная.

Порядка двух миллионов кубометров осадков в год образуется на очистных сооружениях водопровода г. Челябинск. На сегодняшний день предприятие

перекачивает осадки на очистные сооружения канализации. Это приводит к большим затратам на транспортировку осадка и существенно увеличивает гидравлическую нагрузку на ОСК.

**Актуальность работы** заключается в необходимости научного и комплексного обоснования технологий обработки и утилизации осадков ОСВ.

**Целью работы** является выявление потенциальной возможности применения осадков очистных сооружений водопровода г. Челябинска в качестве добавок при изготовлении керамического кирпича.

**Задачи исследования:**

1. Изучить состав и свойства водопроводных осадков и выявить закономерности их изменения;
2. Изучить методы кондиционирования осадка ОСВ;
3. Выявить наиболее оптимальные методы обезвоживания осадка с целью дальнейшего использования их в строительной отрасли;
4. Дать рекомендации по технологии обработки осадка, его кондиционированию и рассмотреть возможность дальнейшего использования осадка в качестве выгорающей добавки в производстве керамического кирпича.

**Научная новизна работы:** предложена технологическая схема обработки и обезвоживания осадка ОСВ с последующим применением осадка в качестве добавки при производстве керамического кирпича.

**Практическая значимость работы:** показано, что обезвоженные осадки ОСВ являются перспективным сырьем для получения керамического кирпича с улучшенными характеристиками.

Работа выполнена совместно с кафедрой «Строительные материалы и изделия» при активном участии завкафедрой СМиИ доц., к.т.н. Орлова Александра Анатольевича.

## ГЛАВА 1. НАПРАВЛЕНИЯ УТИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ ОСВ

### 1.1 Краткая характеристика очистных сооружений водопровода

Очистные сооружения водопровода г. Челябинска подготавливают воду питьевого качества для ряда городов: Челябинск, Еманжелинск, Копейск, Коркино. Максимальная мощность очистных сооружений водопровода составляет 975000 м<sup>3</sup>/сут. Подача воды на очистные сооружения осуществляется из Шершневого водохранилища, которое расположено в бассейне реки Миасс. Забор и предварительное удаление из воды взвеси и плавающих загрязнений требуемого количества воды производится двумя водозаборами берегового типа. Водозаборы оснащены насосными станциями первого подъема.

В насосной станции первого подъема осуществляется подщелачивание воды и при необходимости обработка перманганатом калия. Далее вода поступает в камеру переключений. В камере переключений установлены приборы учета подаваемой воды. Отсюда вода подается на все блоки водоподготовки.

На очистных сооружениях существует две схемы очистки: одноступенчатая и двухступенчатая. По одноступенчатой схеме работают блоки № 4 и 5, по принципу двухступенчатой схемы очистки работают блоки № 1, 2 и 3. В блоки двухступенчатой очистки исходная вода подается через блок микрофильтров, где в быстродействующий трубчатый смеситель подается коагулянт. В этом же здании находится точка обеззараживания. Оно осуществляется путем добавления первичного хлора. Далее вода подается в камеры хлопьеобразования. Перед камерами хлопьеобразования на станции водоочистки предусмотрено введение флокулянта.

При одноступенчатой схеме очистки исходная вода поступает из камеры переключений на микрофильтры. Далее вода, с целью обеззараживания, направляется в контактную камеру, куда вводится хлор.

Подача коагулянта осуществляется при помощи быстродействующего смесителя. Перед контактными осветлителями во входной коллектор вводится флокулянт.

Для обеззараживания воды используют хлорную воду. Вторичное хлорирование осуществляется перед резервуарами чистой воды.

Промывка фильтров на всех блоках очистки осуществляется промывными насосами. Забор воды на промывку ведется из резервуаров чистой воды.

На станции водоочистки предусмотрены три насосные станции второго подъема для подачи чистой воды из резервуаров в сеть города. Всего сеть города запитывают семь главных водоводов. Для приема промывных вод и осадков существуют две насосные станции. Промывные воды образуются от промывки микрофильтров, контактных осветлителей и баков реагентного хозяйства.

Осадки накапливаются при продувке, сбросе и промывке отстойников.

Промывная вода, возвращается в «голову» очистных сооружений для повторной обработки, либо по выпускам сбрасывается в Шершневское водохранилище.

Осадки станции природной водоочистки перекачиваются на канализационную насосную станцию №16, откуда совместно с другими стоками направляются на очистные сооружения канализации, расположенные в Metallургическом районе г. Челябинска.

## **1.2 Влияние качества воды в Шершневском водохранилище на свойства осадков ОСВ**

Состав и свойства осадка определяются в первую очередь качеством воды в водоисточнике [1]. Шершневское водохранилище относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция. Вода в водохранилище маломутная (1,5 – 40 мг/л), цветность от средней до высокой (18 – 120 град.). Для оценки качества воды в различные периоды 2018-2019 года были собраны сведения о динамике



изменения мутности, цветности, перманганатной окисляемости и температуры в Шершневском водохранилище (рисунки 1-8).

Данные полученные со станции водоочистки можно разделить на четыре периода года:

1. Зимний - с 1 ноября по 31 марта;
2. Паводок - с 1 апреля по 15 мая;
3. Летний - с 16 мая по 31 августа;
4. Осенний - с 1 сентября по 31 октября.

Средние значения показателей качества воды Шершневского водохранилища за 2018 и 2019 год представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Средние значения показателей качества воды

Период года	Усредненное качество воды в водоемисточнике				Средние дозы реагентов, мг/л (тип/ср.доза/дни)	
	М, мг/л	Цв, град	ПО, мг О/л	Т, °С	Блок 1 и Блок 2	Блок 3
2018 год						
зимний	2,55	11,68	4,56	0,86	СА/11,77/90; ОХА/5,53/61	СА/8,90/151
паводок	7,71	29,86	6,98	3,59	СА/12,0/2; ОХА/8,48/43	СА/9,30/38; ОХА/9,41/7
летний	7,08	15,70	6,27	18,24	СА/9,30/99; ОХА/5,70/9	СА/5,73/108
осенний	3,85	14,11	5,51	10,83	СА/5,22/40; ОХА/4,04/21	СА/5,76/61
2019 год						
зимний	2,85	11,80	4,39	0,75	СА/8,10/13; ОХА/7,46/77	СА/8,05/90

Окончание таблицы 1

Период года	Усредненное качество воды в водоисточнике				Средние дозы реагентов, мг/л (тип/ср.доза/дни)	
	М, мг/л	Цв, град	ПО, мг О/л	Т, °С	Блок 1 и Блок 2	Блок 3
2019 год						
паводок	11,59	34,93	7,33	5,34	СА/8,48/25; ОХА/11,39/20	СА/9,77/45
летний	6,58	15,72	6,24	18,64	СА/6,53/108	СА/6,27/108
осенний	5,21	13,73	5,79	12,50	СА/7,70/3; ОХА/5,60/27	СА/5,83/30

Характеристика качества воды в водоисточнике за 2018 год:

- В 2018 году максимальное значение мутности – 19,1 мг/л – соответствует осеннему периоду, в летние месяцы мутность не превышает 17,5 мг/л, в зимний период – менее 4 мг/л.

- Цветность в паводок достигала 76 град., летом не превышала 23 град., в зимний период колебалась в интервале 10–14 град.

- Перманганатная окисляемость в воде в зимний период не превышает значения 5,82 мг О/л. С началом паводка в период с апреля по май содержание кислорода увеличивается с 3,79 мг О/л до 11,2 мг О/л. В летнее время показания варьируются от 5,5 до 10,5 мг О/л.

- Температура воды в водохранилище с ноября по апрель включительно составляла 1°С. С повышением температуры наружного воздуха наблюдался рост значений температуры очищаемой воды: с 4 °С в мае до 24,2 °С в августе. В сентябре–октябре температура воды снижалась, достигнув в октябре 4,8 °С.

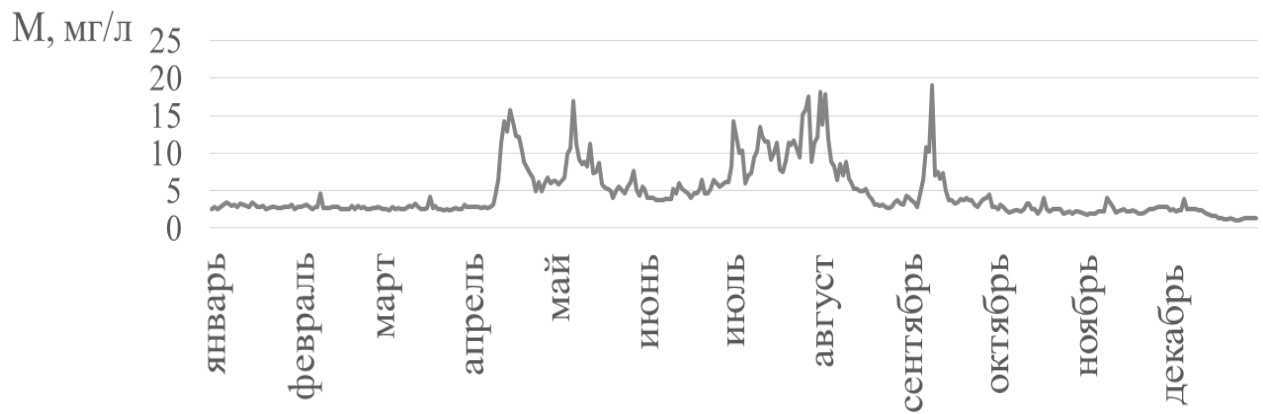


Рисунок 1.1 – Мутность воды Шершневого водохранилища, 2018 год

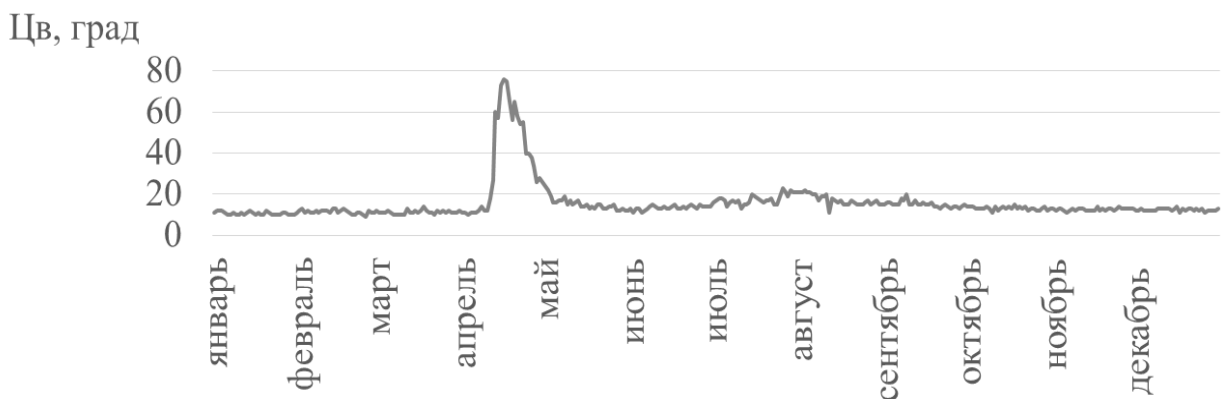


Рисунок 1.2 – Цветность воды Шершневого водохранилища, 2018 год

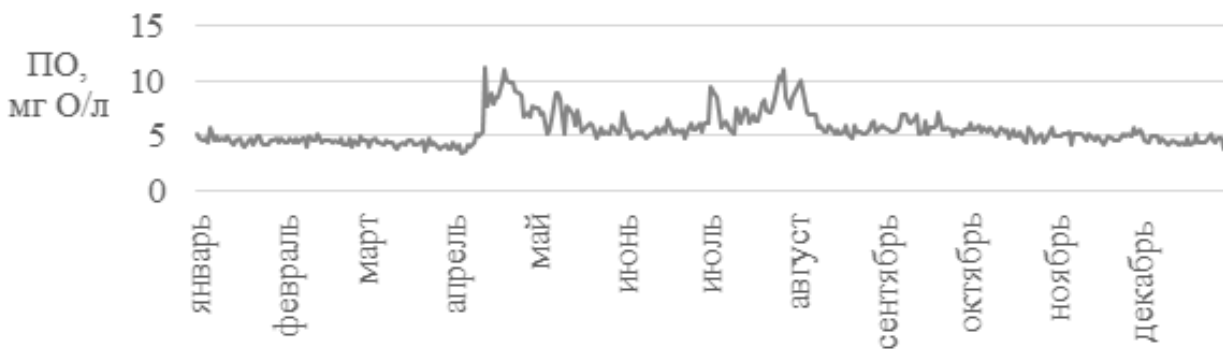


Рисунок 1.3 – Перманганатная окисляемость Шершневого водохранилища, 2018 год

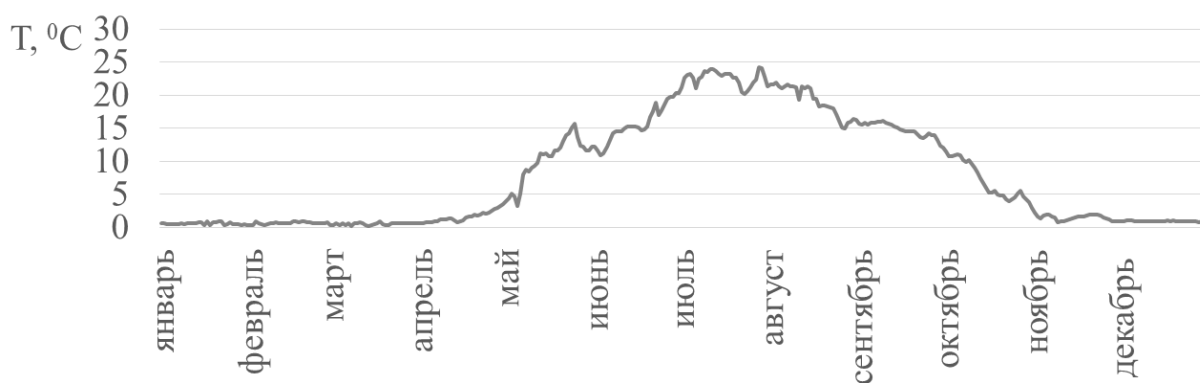


Рисунок 1.4 – Температура воды Шершневого водохранилища, 2018 год

Характеристика качества воды в водоисточнике за 2019 год:

- В зимний период показания мутности в водохранилище не превышают 3 мг/л, с увеличением температуры наружного воздуха в период паводка, показания мутности возрастают до 33,2 мг/л. Летом показания более спокойные и варьируются от 5 до 10 мг/л.

- Цветность в водоисточнике в течении года относительно стабильная в районе от 12 до 25 град. В период паводка возрастает до 69 град.

- Перманганатная окисляемость по показаниям станции водоочистки за 2019 год в зимний период года не превышает 5 мг О/л. В период паводка с апреля по май включительно показания возрастают до 9,9 мг О/л. В летний период в связи с высокими температурными показателями перманганатная окисляемость варьируется от 5 до 10 мг О/л.

- Температурные показания в осенне-зимний период не превышает 1<sup>0</sup>С. С наступлением весны температура начинает повышаться с конца апреля от 1<sup>0</sup>С до максимального значения в августе 22<sup>0</sup>С.

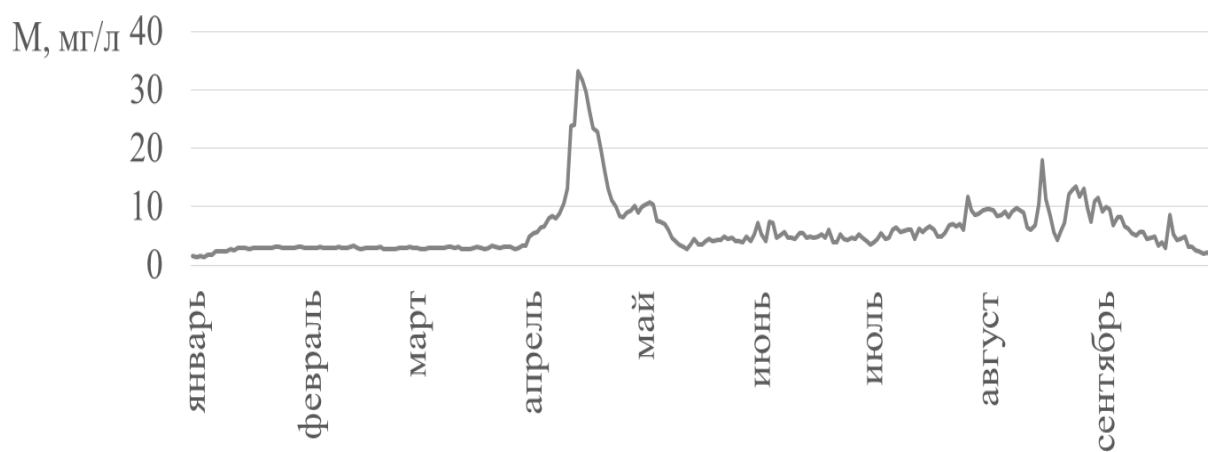


Рисунок 1.5 – Мутность воды Шершневого водохранилища, 2019 год

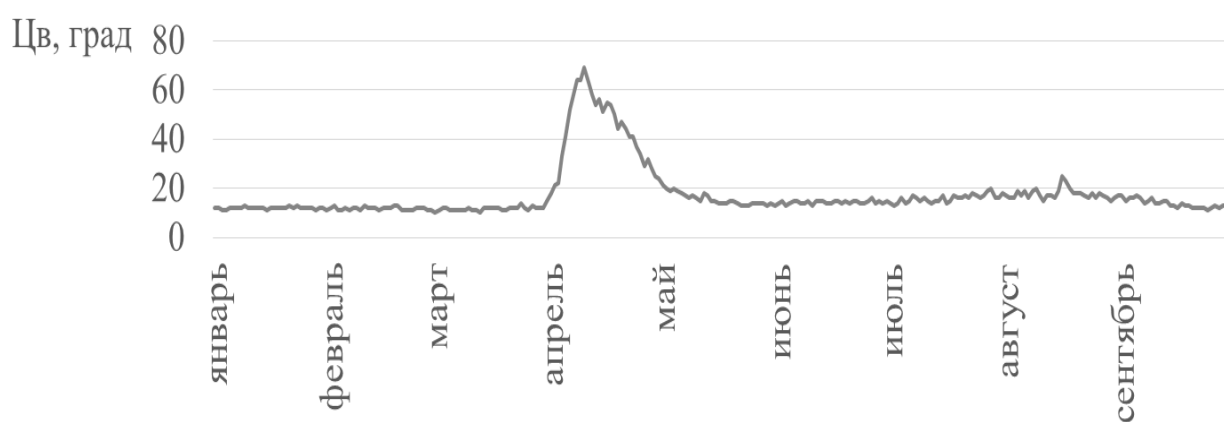


Рисунок 1.6 – Цветность воды Шершневого водохранилища, 2019 год

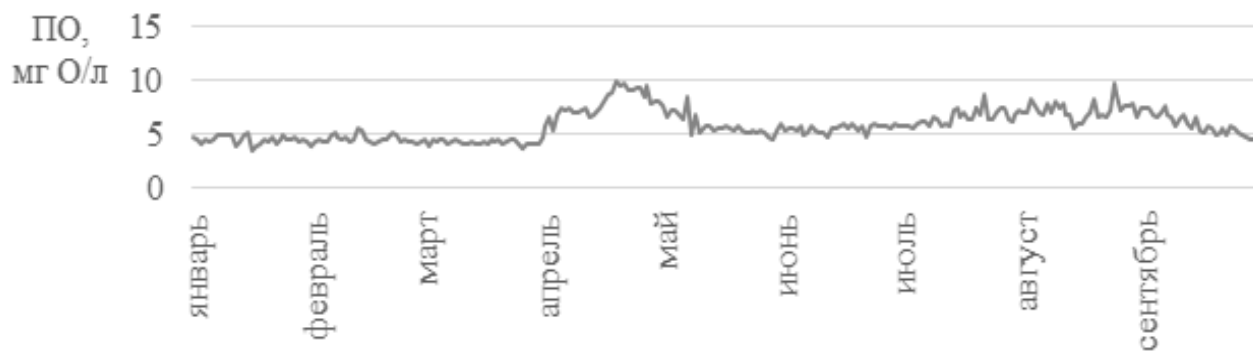


Рисунок 1.7 – Перманганатная окисляемость Шершневого водохранилища, 2019 год

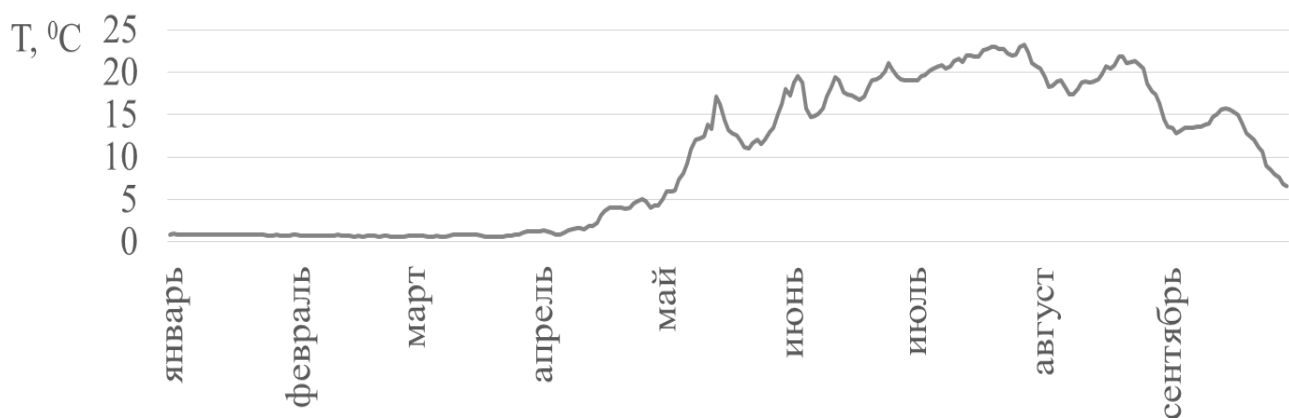


Рисунок 1.8 – Температура воды Шершневого водохранилища, 2019 год

### 1.3 Направления утилизации осадков ОСВ

Выбор направления утилизации осадков сильно зависит от химического состава, который определяется качеством исходной воды и видами используемых реагентов в процессе водоподготовки и обработки осадков.

Основными компонентами осадков являются продукты гидролиза коагулянта и загрязнения, содержащиеся в исходной воде минерального и органического происхождения. Осадки, образующиеся при очистке маломутных цветных вод, характеризуются более высокой влажностью, более высоким содержанием органики и гидроксида алюминия и низкими водоотдающими свойствами, чем осадки вод повышенной мутности.

Утилизация осадков ОСВ, преимущественно уплотненного, может осуществляться в следующих основных направлениях [3-16]:

1. Использование осадка для интенсификации хлопьеобразования при обработке природных вод (рециркуляция осадков ОСВ);
2. В сельском хозяйстве (как удобрение и агроулучшитель), для рекультивации земель;
3. В металлургии в качестве огнеупорного напыляемого материала;
4. Производство строительных материалов.

### **1.3.1 Вторичное использование осадка в виде сырья для производства коагулянта**

Рециркуляция осадков природных вод используется вторично на водопроводных станциях для улучшения хлопьеобразования при обработке природных вод. Так ранее образовавшийся осадок вводится в очищаемую воду и образует дополнительные центры хлопьеобразования [4, 5]. Наилучший эффект наблюдается при использовании осадка для зарядки осветлителей с взвешенным осадком. Благодаря этому методу производительность водопроводных станций увеличивается на 25-40%. Также замечено, что за счет рециркуляции осадка ощутимо повышается барьерная роль сооружений 1-й ступени очистки в отношении планктона (на 80-100%). Рециркуляция осадка позволяет перерабатывать промывные воды фильтровальных сооружений путем их равномерного перекачивания из резервуара-усреднителя в головной узел водоочистных сооружений. В России рециркуляция осадков природных вод используется на водоочистных станциях Нижнего Новгорода, Череповца, Выборга, Костромы и других городов. Данный способ утилизации осадка позволяет экономить коагулянт (до 35%). Регенерацию коагулянтов желательно использовать на водопроводных станциях большой и средней мощности, где вводится значительное количество реагентов и образуются большие объемы осадков. Реагенты можно регенерировать путем растворения продуктов гидролиза в кислотах или щелочах, аналогично получению сульфата алюминия из его гидроксида. Стоит заметить, что в ходе обработки осадка кислотами или щелочами накапливается в регенерированном коагулянте бактерии, органических и неорганических примесей. Это и есть причина не повсеместного практического применения данного способа утилизации.

### **1.3.2 Использование осадка в качестве удобрения**

Осадок природных вод включает в себя оксиды, которые могут быть полезными при использовании осадка в сельском хозяйстве. Водопроводный

осадок можно использовать при восстановлении нарушенных человеческой деятельностью земель и при облагораживании парков. Данный осадок используют для улучшения сцепления почвы, а также агрохимических свойств. Так, по оценке специалистов ВИУА им. Д.Н. Прянишникова, осадок московских водопроводных станций по составу аналогичен сапропелям повышенной зольности. Эксперименты по использованию осадка в качестве удобрений доказывают, что введение осадка увеличивает плодородие почвы и повышает урожайность зерновых культур на 40-70%. Большое влияние введения осадка в качестве удобрения выявилося в увеличении содержания подвижного фосфора, что с точки зрения агрономов доказывает эффективного увеличения плодородия почвы, так как показатель из среднеобеспеченности по фосфору (5-10 мг/100 г) перешел в категорию повышенной обеспеченности (11-15 мг/100 г). По основным агрохимическим показателям осадок природных вод можно считать ценным органическим удобрением. К примеру, благоприятная реакция среды, характерна для удобрений со значительным содержанием органического вещества, азота, фосфора, кальция и магния [6]. Обратило на себя внимание повышенное содержание марганца и алюминия (входящего в состав коагулянтов). При наличии в осадке больших количеств остатков введенных реагентов при водоподготовке, которые в кислой среде могут оказывать негативное влияние на растения, особое значение имеет кислотность удобряемой почвы. Данные эксперименты введения осадка в качестве удобрения указывают на снижение опасности проявления токсических свойств алюминия, марганца и других металлов, а также исключают необходимость периодического известкования почв. Ученые приходят к выводу о высоком увеличении плодородия почвы водопроводным осадком, применение которого существенно преумножает урожайность зерновых культур, а также не оказывает отрицательного влияния на экологическое состояние экосистемы.

Так, внесение осадка Краснопавловской водопроводной станции ПУВХ «Днепр» под посевы ячменя и люцерны позволило получить увеличение урожая



ячменя на 10-15% и увеличение зеленой массы люцерны до 5 ц/га [2]. На опытно-экспериментальной базе Чугуево-Бабченского лесничества проводились исследования по влиянию внесения осадка очистных сооружений водопровода на рост древесных культур. Установлено интенсивное зеленое окрашивание листьев и отсутствие их пожелтения в период засухи. Вдобавок, растения не поражались листовой ржавчиной, так как в осадке содержатся соли алюминия, способствующие повышению устойчивости растений к грибковым заболеваниям. Осадок данной станции использовался также вместо гипса, что привело к увеличению урожайности на 10%. Осадок очистных сооружений водопровода может также применяться в качестве средства защиты растений от клубеньковых долгоносиков. Эксперименты показали, что при использовании осадка гибель личинок насекомых была в три раза выше по сравнению с традиционной борьбой. Губительными для личинок является наличие в осадке остаточного хлора и сероводорода. В результате осадок увеличил прибавки урожая семенной люцерны в 2 раза.

### **1.3.3 Утилизация осадка в качестве огнеупорного напыляемого материала**

В настоящее время ученые говорят о широком применении осадков очистных сооружений водопровода в качестве огнеупорного напыляемого материала и при изготовлении антикоррозионных добавок [3]. Заводом «Азовсталь» (г. Мариуполь) совместно с институтом «УкрНИИмет» (г. Харьков) были проведены промышленные испытания разработанного защитного покрытия на базе осадка Днепровской водопроводной станции на футеровке прибыльных подставок изложниц при разливке стали сверху [2]. Осадок влажностью 93-94% наносили пульверизатором на внутреннюю поверхность изложницы слоем толщиной 2-2,5 мм. Надставки с защитным покрытием выдерживали 12 наливов на 20-тонных слитках по сравнению с 10 наливками надставок на известных покрытиях. Стойкость футеровки при применении водопроводного осадка

повышается на 20%. С целью защиты конструкций водопроводных станций от коррозии на основании проведенных лабораторных исследований и промышленных испытания также был разработан способ защиты бетонных и металлических поверхностей с использованием осадка в составе антикоррозийных покрытий [2]. В процессе исследований 15% (масс.) эпоксидной смолы ЭД-6 нагревали до 50 °С, затем вводили 38,5% ацетона, перемешивали и добавляли 45% обезвоженного водопроводного осадка, после перемешивания вводили 1,5% отвердителя. Композицию наносили на поверхность сооружений при температуре от +5 °С до -8 °С в два слоя толщиной 0,5-1,0 мм, с промежуточной выдержкой каждого слоя в течение суток. Композиции готовили при различных соотношениях наполнителя (осадка): 40-45% и соответственно остальных компонентов. Данный защитный слой характеризуется более высокими показателями защитных свойств по сравнению с известными материалами [3].

#### **1.3.4 Использование осадка в производстве строительных материалов**

В данный момент в мире известно множество работ, которые отражают возможность эффективного и экономически выгодного использования осадка природных вод в производстве строительных материалов. Существует много примеров применения осадка: в керамическом и цементном производстве, в качестве наполнителя асфальтовых смесей и бетона, в производстве керамзита, огнеупорного кирпича. Большое содержание гидроксидов алюминия, кальция и кремния в осадке определяет возможность его введения в цементную сырьевую смесь в качестве алюминатной добавки [2]. Например, на Балаклейском ЦШК выпущены опытные партии портландцемента с введением в сырьевые смеси от 3 до 6% осадков водоисточников Кочетовской водопроводной станции (г. Харьков) вместо высокоалюминатных глин. Это позволило не только снизить затраты на сырье, но и увеличить прочность портландцемента (до 50 кг/см<sup>2</sup>)[4]. Осадок водопроводных станций Молдовы рекомендуется использовать при производстве кирпича в качестве добавки к исходной шихте [7]. Опытным путем доказано, что

оптимальной оказалась шихта, содержащая 65-71% глины, 11-12% песка, 7-7,5% золя, 9-17% осадка. Данные полученные в лаборатории были подтверждены на Кишиневском заводе стройматериалов. Водопронимный осадок, характеризующийся повышенным содержанием коллоидных гидроксидов (20-45%) и органических веществ, в качестве алюмосиликатного материала (опудривателя) может использоваться при получении керамзитового гравия, что снижает объемную массу и водопоглощение керамзита, расширяет интервал его вспучивания [2].

В данный момент на производстве керамических изделий часто применяют выгорающие добавки. Применение таких добавок позволяет снизить плотность, и повысить эффективность керамических кирпичей. Введение добавок гарантирует равномерный прогрев сырца и позволяют снизить температуру его обжига. Осадки очистных сооружений потенциально могут быть применены в качестве выгорающих добавок, но важно отметить, что при производстве керамического кирпича все добавки вводятся в шихту в сухом виде. Для оценки возможности применения обезвоженных осадков в качестве выгорающих добавок при производстве керамического кирпича, научные сотрудники оценили влияние добавки шихты на пластичность керамической массы, на воздушную и огневую усадки, плотность керамических образцов. Для решения поставленной задачи сотрудники провели эксперимент, в рамках которого определяли свойства образцов из глиняной шихты без добавок и с выгорающей добавкой из осадков ОСВ [8]. Авторами эксперимента было предложено использовать обезвоженные до воздушно-сухого состояния осадки ОСВ как выгорающую добавку при производстве керамического кирпича в количестве 7.5% (от массы глины), получены образцы шихты с добавкой. Установлено, что введение добавки значительно повышает пластичность шихты без уменьшения воздушной усадки в сравнении с контрольными образцами без добавки [8].

Сотрудники государственного университета Северного Флуминенсе Дарси Рибейро предлагают перерабатывать осадки природных вод благодаря

добавлению их в керамические изделия, подобные обычным кирпичам. Сырьем, использованным в этом исследовании, была глина, которая обычно применяется при изготовлении кирпичей и кровельной черепицы, а также осадки, полученные на стадии декантации водоочистой установки. Ученые установили, что при внесении до 10% осадков в глину, незначительно увеличивается водопоглощение и уменьшается механическая прочность глины после стадии обжига. Добавление этого типа отходов может быть применено в производство красной керамики. Однако, процент добавки из осадка не должен быть высоким, чтобы избежать нарушения прочности керамики [9].

В работе [10] предлагается использовать осадки природных вод совместно с рисовой шелухой для изготовления облегченных кирпичей. Из-за большого количества открытых пор, спеченные продукты керамики имеют хорошие теплоизоляционные свойства. Добавление рисовой шелухи и водопроводного осадка определенно уменьшает насыпную плотность спеченных продуктов благодаря увеличению количества открытых пор в спеченных изделиях.

Студенты технологического университета Сиднея в Австралии, полагают, что осадки станций водоподготовки обладают некоторыми уникальными характеристиками, позволяющими включать их в состав строительных материалов, таких как кирпич, керамика, цемент и геополимеры. Основные выводы применения осадка в строительных материалах сделаны исходя из его высокого разнообразия физико-химических свойств и относительно высокого содержания органического вещества, которое увеличивает пористость и водопоглощение поэтому отрицательно влияет на структурную целостность изделий. Производство цемента и бетона с частичным добавлением осадка, потенциально осуществимо, и дает результат в виде замены мелкого заполнителя (песка) до 5%. Использование осадка взамен основного сырья экономически выгодно и позволяет утилизировать отходы водоподготовки не загрязняя окружающую среду [11].

Сотрудники Бразильского университета считают, что осадок станций водоподготовки садов может быть одним из компонентов для приготовления глиняной смеси в производстве керамического кирпича. Количество осадка, которое может быть включено, определяется температурой обжига, свойством осадка и главным образом свойством сырья, используемого в качестве матрицы. Рассматривая бразильские технические стандарты, можно сделать вывод, что: добавление 10% шлама позволяет производить твердые кирпичи для обжига при температурах ниже 1000°C; выше этой температуры; позволяет включать до 20% осадка. По данным ученых, осадок может быть включен в сырье как материал для производства кирпича, а также черепицы [12].

Исследования ученых из Литвы подтвердили, что осадок очистных станций природных вод, имеющий в составе оксиды  $Fe_2O_3$ , может выступать в роли красящей добавки керамического изделия. Даже добавление сравнительно небольшого 5% количества осадка окрашивает керамическое изделие в более красный, насыщенный и темный цвет. Осадок природных вод может быть использован в качестве объемного окрашивания керамических изделий, плитки, кирпича или блоков [13].

Учеными из Бразилии, было установлено, что осадок природных вод является возобновляемым сырьем для изготовления керамической плитки. Осадок может частично заменить натуральный каолин в составах керамической плитки для пола. Добавление осадка городских сооружений водоочистки положительно повлияло на поведение уплотнения и технологические свойства кусков напольной плитки во время цикла быстрого обжига. Это было продемонстрировано заменой каолина до 10% от массы добавки. Введение природной добавки в производстве керамической плитки может быть интересным технологическим решением для утилизации осадка городских гидротехнических сооружений [14].

## ГЛАВА 2. СУЩЕСТВУЮЩИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОСАДКОВ

### 2.1 Управление осадками природных вод

Осадки ОСВ представляют собой жидкие системы, плотность которых очень близка к плотности воды. Осадки имеют высокую влажность, порядка 98,0-99,8%, что говорит о высокой обводненности. По внешнему виду водопроводный осадок представляет собой гелеобразную массу серо-зеленого цвета. Состав и свойства осадков, зависящие от качества исходной воды, влияют на интенсивность и глубину их уплотнения [3]. В осадке мутных вод нерастворимый осадок составляет 40–50%, в то время как в осадке цветных вод – лишь 2–15%. С увеличением в исходной воде минеральных примесей осадок получается более плотным и возрастает скорость протекания процесса уплотнения. Увеличение цветности воды и сокращение содержания в ней минеральных примесей приводит к образованию легкого (рыхлого) осадка высокой влажности, степень уплотнения которого снижается, а продолжительность уплотнения возрастает. Основными включениями водопроводного осадка являются содержащиеся в очищаемой воде глинистые частицы, мелкий песок, органические вещества, фитопланктон [3].

Согласно сводным данным станций водоочистки основным компонентом водопроводного осадка можно считать гидроксид алюминия. Использование коагулянтов на основе солей алюминия обуславливает гидроксидную природу образующихся осадков. Отличительными свойствами таких осадков выступают сжимаемость и нефильтруемость.

На сегодняшний день мировой практикой преимущественно применяется такая схема направлений утилизации и обработки осадков природных вод.

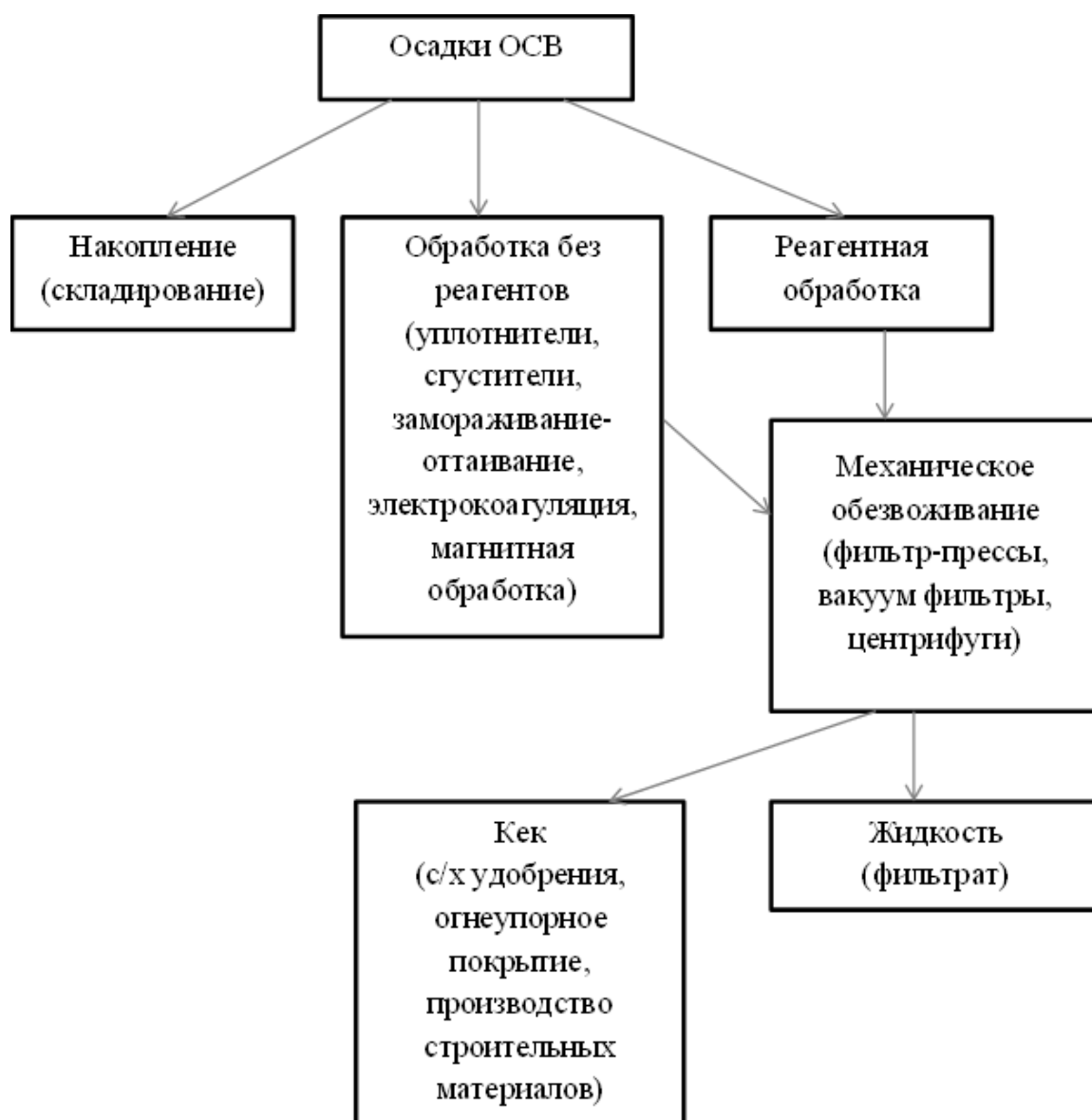


Рисунок 2.9 – Схема различных направлений утилизации и обработки осадков ОСВ

Но не все методы, применяемые на практике, соответствуют запросам современного развитого общества. Так, применяемые на станциях Молдовы и г. Ростова-на Дону сброс и захоронение осадка природных вод без первичной обработки являются устаревшими [3].

Негативное влияние на экосистему водоемов оказывают выпуск неочищенных осадков. Загрязнение водоемов (морей, озер, рек) представляет огромную опасность для живых организмов, в том числе, человека. Не является секретом то, что при сбросе неочищенных осадков в реку в одном месте, они

(осадки) распространяются далее по течению реки, и доходят до потребителей, которые могут не подозревать о загрязнении речной воды осадками.

Не является перспективным метод обработки осадков природных вод в естественных условиях (иловые площадки, пруды-накопители, площадки подсушивания, система подземной фильтрации, биопруды).

Площадки подсушивания применяются для интенсификации процесса обезвоживания осадков в естественных условиях за счет испарения воды. Применять их рекомендуют в районах с устойчивым дефицитом влажности и рассчитывают на ежегодный вывоз осадка (подсушенного) через 1-3 года на площадки складирования. Целесообразно устраивать площадки на хорошо фильтрующих грунтах.

Пруды-накопители представляют собой глубокие земляные емкости (овраги, карьеры, спланированные площадки глубиной более 2 метров). Такие сооружения должны быть оборудованы устройствами для отвода осветленной воды с любого уровня по глубине. подача осадка в пруды осуществляется в течении 5 лет. Очистку накопителя осуществляют через 3-10 лет после завершения срока эксплуатации.

В районах, где отсутствует возможность промораживания, после отвода осветленной воды на поверхности пруда-накопителя образуется корка, препятствующая дальнейшему обезвоживанию.

В районах, где продолжительность замораживания осадка превышает 2 месяца, заполнение в летний период должно быть меньше глубины промерзания. Наибольший эффект достигается при отводе в накопители сгущенного осадка. Основание накопителей должно быть водонепроницаемым (иметь защитный глинистый слой).

Пруды-накопители могут быть применены как экономически выгодный метод обработки гидроксидного осадка лишь в случае его кратковременного использования (и при условии, что рядом имеются свободные территории-карты),



так как для длительного использования данный метод на сегодняшний день является устаревшим.

Ранее широко применялось обезвоживание осадка природных вод на иловых площадках. Иловые площадки представляют собой спланированные участки земли от 10 до 30 метров шириной и длиной в 20-200 метров. Такие площадки ограждены земляным рвом 0,5-1,5 метра. Используются иловые площадки для складирования обезвоженных в естественных условиях осадков, образованных в процессе очистки природных вод. Подаваемая вода отстаивается, при этом часть воды испаряется, а оставшаяся осветлённая вода удаляется через дренаж или поверхностный водоотвод. Технология обработки осадка на таких площадках заключается в подсушке его слоями толщиной 0,2–0,3 метра, причем каждый последующий слой осадка заливают после подсушки предыдущего до влажности не более 80%.

Применение прудов-накопителей и иловых площадок, на наш взгляд, не может быть повсеместным, поскольку для этого необходимо соблюдение ряда условий (климата, конструкции прудов-накопителей и площадок, наличия необходимых территорий). Занятые прудами-накопителями и иловыми площадками территории зачастую загнивают, что влечет за собой установление в ближайших местностях антисанитарных условий (например, размножение насекомых, неприятный запах). Сбор и вывоз осадков с площадок является весьма затратным и трудоемким процессом. Таким образом, обработка осадка с помощью иловых площадок и прудов-накопителей может служить лишь временной мерой.

## **2.2 Методы безреагентной обработки осадка перед обезвоживанием**

Целью кондиционирования является улучшение водоотдающих свойств осадков путем изменения их свойства, структуры и формы связи воды с твердой фазой осадка. Кондиционирование может осуществляться без применения реагентов такими методами, как: уплотнение и сгущение, замораживание-оттаивание, электрокоагуляция, магнитная обработка, радиационная обработка.

### 2.2.1 Уплотнение и сгущение

Сгущение осадков станций водопровода производится на сгустителях, уплотнителях и декантерах. Целью сгущения является увеличение твердой фазы в осадке, уменьшение объема осадка и сокращение затрат на последующее обезвоживание.

Различают следующие виды сгустителей: ленточный, шнековый и дисковый сгуститель. Процесс на ленточном сгустителе происходит за счет действия силы тяжести. Для лучшего эффекта обезвоживания необходимо добавить флокулянт, который позволит освободить физико-механически заземленную воду, что понизит влажность осадка. Шнековый сгуститель оказывает механическое воздействие на осадок, разрушая его структуру, и высвобождая воду. Данный вид сгустителя отличается высокой производительностью. Конструкция дискового сгустителя оснащена наклонной дисковой сеткой. Производительность у дисковых сгустителей небольшая.

Выделяют следующие виды уплотнителей: гравитационный и флотационный. Гравитационный уплотнитель представляет собой железобетонный резервуар, который оснащен медленно вращающимся скребком. Скребок разрушает связь между частицами осадка, что позволяет отделить жидкую фазу осадка и увеличить осаждаемость осадка. Плюсом данной установки является большая производительность. Чем меньше в осадке находится взвешенных веществ, тем время перемешивания осадка больше. Различают два типа гравитационных уплотнителей – радиальный и вертикальный. Принцип работы флотационного уплотнителя заключается в подаче снизу в камеру установки воздуха. Осадок начинает бурлить и отделяться. Наиболее тяжелые частицы оседают на дно, а легкие всплывают на поверхность.

Декантер представляет собой горизонтальную центрифугу, которая отделяет воду посредством центробежной силы. Вращаясь, твердая фаза осадка

отбрасывается к стенкам и удаляется шнеком. Такие установки эффективны, но очень громкие и обладают сильным износом внутренней поверхности.

Для эффективного использования данных установок необходима равномерная подача осадка.

### **2.2.2 Замораживание - оттаивание**

На сегодняшний день, в мире широко распространены различные способы искусственного замораживания-оттаивания осадков ОСВ. Особенно эффективен данный способ для обработки осадка маломутных цветных вод, обладающих низкой водоотдающей способностью [1]. В конце 20 века метод замораживания - оттаивания во многих зарубежных странах применялся в естественных условиях на площадках замораживания. Площадки целесообразно располагать на открытых, не защищенных от ветра местах, при этом их длинная сторона должна быть ориентирована в сторону интенсивного движения ветра в зимний период. Данные площадки применяют в районах с периодом устойчивой среднесуточной отрицательной температуры воздуха не менее двух месяцев в году. Чтобы произошло необратимое изменение структуры осадка, замораживание проводят медленно, по всей толще осадка. Для достижения максимального эффекта промораживания осадка необходимо, чтобы его слой на площадках не превышал глубины промерзания. Данным методом производят обезвоживание больших объемов осадков.

По мнению Британских ученых [25], одна из основных проблем, связанных с использованием замораживания-оттаивания - это энергия, необходимая для процесса фазового перехода. Теоретически это занимает 93 Вт·ч для преобразования 1 кг осадка в лед. Кроме того, для охлаждения жидкого осадка требуется 1,16 Вт·ч до точки замерзания и 0,58 Вт·ч для охлаждения

замерзшего осадка ниже точки замерзания. Ученые выяснили, что при начальной температуре +10°C и конечной температуре -2°C энергии, необходимой для замораживания одной тонны (1000 кг) осадка составляет 105,8 кВт·ч.

Результаты этого исследования показывают, что при замораживании изначальное количество твердых веществ в осадке будет влиять на полученный результат после процесса замораживания-оттаивания. В целом, более быстрые темпы замораживания приведут к снижению размера частиц. Время замораживания не имеет никакого значения для размера частиц осадка. Поэтому нет никакой необходимости промораживать осадок за пределами времени замерзания. Это означает, что процесс оттаивания может начаться сразу же после замерзания. Механическое замораживание осадка имеет дополнительное преимущество в том, что оно может значительно облегчить обработку, как для утилизации, так и для повторного использования осадка. Как в результате получается наиболее экономически выгодное использование данного метода, по сравнению с другими методами обработки осадков перед обезвоживанием [25].

Метод замораживания–оттаивания через теплопередающие поверхности нашел широкое практическое применение. Процесс осуществляется в емкостях, оборудованных трубчатыми теплообменными элементами. В элементах испаряется и конденсируется хладагент. Искусственно созданное замораживание-оттаивание применяется на станция ОСВ в Европейских странах (Англии, Шотландии, Германии). На сегодняшний день термические методы обезвоживания осадков на 25-30% экономичнее реагентных методов обезвоживания. Отечественная установка замораживания-оттаивания впервые была введена в эксплуатацию в 1987 г. на водопроводной станции г. Саратова [1].

В технологию входит предварительное уплотнение осадка, непосредственное замораживание-оттаивание и дальнейшее обезвоживание. В результате после обезвоживания влажность осадка была менее 70%. В начале 1990-х гг. проектировались цеха обработки осадков ОСВ с применением данного метода для городов Энгельс, Самара, Ульяновск, Тула. При замораживании осадка в его структуре происходит частичный переход воды из связанного в свободное состояние, сопровождаемый коагуляцией твердых веществ [1]. После оттаивания новые водоотдающие свойства осадка сохраняются, и он может быть

легко обезвожен. Установлено, что вымораживание воды из осадка происходит двумя путями:

1. В результате пленочной диффузии воды из слоя осадка к поверхности растущей ледяной фазы;
2. Вследствие зарождения новых центров кристаллизации воды внутри пор сетчатой коагуляционной структуры [3].

После замораживания-оттаивания фильтрационные свойства осадка значительно улучшаются. Зарубежный опыт ОСВ доказывает, что применение данного метода перед обработкой осадка на установках вакуум-фильтров дает наиболее высокий экономический эффект, чем использование флокулянтов [1].

### **2.2.3 Электрокоагуляция**

Для очистных станций водоподготовки, имеющих сравнительно небольшие объемы осадков, целесообразным методом обработки является электрохимическая коагуляция. Данный метод состоит в пропускании электрического тока через осадок, с последующим растворением анодов и переходом ионов в обрабатываемый осадок. Выделяющийся при этом водород флотирует осадок, тем самым изменяя его свойства. Сущность процесса заключается в способствовании образования крупных хлопьев для увеличения скорости осаждения. Электрокоагулятор чаще всего представляет собой корпус прямоугольной формы, в который помещают ряд (блок) электродов. Расстояние между электродами зависит от электропроводности воды и может составлять 6 - 20 мм. Обрабатываемая вода протекает между электродами. Анодами в процессе электрокоагуляции выступают растворимые металлы – железо, алюминий, магний.

Чаще всего, электрокоагулятор необходим только для образования гидроксидов металлов и присоединения (агрегации) частиц. Разделение фаз производится в отстойниках, гидроциклонах и др. Существуют конструкции, в которых эти процессы совмещены и протекают в одной камере. К достоинствам

метода можно отнести универсальность, компактность установки и простота управления. Данные установки имеют существенные недостатки: взрывоопасность установок за счет выделения на катоде водорода и пожароопасность [17].

#### **2.2.4 Магнитная обработка**

Магнитная обработка осадка - осуществляется благодаря воздействию на осадок постоянного магнитного поля. Метод магнитной обработки основывается на силе Лоренца. При установленных опытным путем значениях магнитной индукции и скорости движения воды возникает эффект магнитогидродинамического резонанса. Совпадение частоты силы Лоренца и собственных колебаний воды инициирует изменение структуры осадка без изменения его агрегатного состояния.

В осадках, прошедших магнитную обработку, увеличивается эффективность процессов, широко используемых в различных технологических установках (ускоряются процессы флокуляции, коагуляции и седиментации, повышается эффективность фильтрации).

Структурирование воды позволяет существенно сократить эксплуатационные затраты и повысить эффективность технологических систем водоподготовки. Магнитные системы встраиваются в существующие технологические схемы и не требуют полного обновления оборудования. Для данного метода используются коррозионностойкие материалы и покрытия, что позволяет добиться долговечной и бесперебойной работы установок.

Применение магнитных систем на станциях водоподготовки, позволяет заметно повысить качество воды, снизить эксплуатационные затраты и улучшить состояние водоемов. Например, применение магнитных технологий на очистных сооружениях бытовых стоков позволит увеличить выход осадка на 5-7% и снизить потребление флокулянта на 10-15% (на участке отстаивания); сократить время стабилизации ила на 25-30% [18].

### **2.2.5 Радиационная обработка**

Обработка осадков ускоренными электронами и гамма лучами в 1 Мрад получила название «радиационный метод». При облучении необходимо соблюдать определенные условия. Главное из таких условий – это создание равномерного слоя осадка толщиной, не превышающей проникающей способности электронов.

В этом случае технологическая схема очистки остается такой же, а радиационной обработке подвергается только осадки, образующиеся после химической очистки. Радиационная обработка может привести к уплотнению осадка и облегчить процесс его обезвоживания, который является наиболее дорогостоящим при обработке рыхлых осадков. Применение данного метода значительно дешевле традиционных методов, так как осадки по массе составляют незначительную долю от всей очищенной воды и для их обработки должно потребляться во много раз меньше энергии излучения, чем потребовалось бы для обработки всей воды [19].

Облученный осадок не имеет запаха и значительно лучше обезвоживается на иловых полях, чем сброженный или пастеризованный осадок. За 10 дней содержание твердых веществ в нем увеличивается до 8%, т. е. примерно вдвое, в то время как необлученный осадок достигает такой же степени обезвоживания за 20 дней [20].

### **2.3 Реагентная обработка осадков ОСВ**

Реагентная обработка является довольно эффективным методом предварительного обезвоживания осадка. Этап реагентной обработки позволяет утяжелить и структурировать осадок. Практика показывает действенность реагентной обработки такими реагентами, как:

1. Известь [1, 15, 16];
2. Присадочные материалы [15];

### 3. Флокулянты [16].

#### 2.3.1 Обработка известью

Исследования показали, что известь при введении в осадок выполняет двойную функцию: как химический реагент, и как присадочный материал, снижающий величину показателя сжимаемости (степень сокращения порового пространства осадка при изменении прилагаемого давления). Данный процесс в результате улучшает фильтрационные свойства осадка. Также известь обеззараживает осадок. Применение извести в дозах по СаО от 10 до 40% от массы сухого твердого вещества в осадке, позволяет снизить удельное сопротивление фильтрации до пригодных для осуществления дальнейшего механического обезвоживания осадка. Наиболее экономически выгодной дозой извести является доза 10–30% массы сухого твердого вещества в осадке. Возможно использование негашеной извести и соединений магния. МГП «Мосводканал» была проведена серия промышленных экспериментов по обезвоживанию осадка московских водопроводных станций на мембранном камерном фильтр-прессе с применением извести [5]. Установлено, что при дозе СаО 20-40% технологических трудностей в процессе механического обезвоживания осадков не возникает. Высокая стоимость извести и большие объемы, требующие большие площади хранения при данных дозах, говорят о нецелесообразности данного метода. При механическом фильтровании на непрерывно действующих ленточных фильтр-прессах для кондиционирования осадков наиболее целесообразно использовать сочетание извести с флокулянтами преимущественно анионного типа [3]. В результате доза извести может быть значительно снижена, при этом доза флокулянта составляет до 2 кг/т сухого вещества осадка. Флокулянт используется в виде 0,1-0,2%-ного рабочего раствора, приготовление которого осуществляется в специальных установках или баках с диспергаторами и мешалками. Первоначально в осадок вводится известь, а затем раствор флокулянта, который дозируется винтовым насосом-дозатором.



Влажность обезвоженного на фильтр-прессе осадка зависит от дозы извести и может составлять 70-80%. Большое влияние на выбор способа утилизации обезвоженного осадка оказывают добавленные реагенты. Они могут сильно ограничить круг возможных для применения способов утилизации.

### **2.3.2 Обработка присадочными материалами**

Снижение показателя сжимаемости гидроокисных осадков маломутных вод при одновременном улучшении их водоотдающей способности может быть достигнуто с помощью вспомогательных присадочных материалов [1, 21]. Например, присадочным материалом могут выступать вермикулит, зола, щепа, перлит, шелуха. В основном присадочными материалами являются отходы промышленности. Присадочные материалы не могут быть использованы самостоятельно. Поверхности частиц присадочных материалов химически инертны, имеют малую удельную площадь, низкую плотность и малую сжимаемость. Вспомогательные вещества должны обладать следующими свойствами:

- химической инертностью по отношению к воде (вспомогательные вещества не должны содержать растворимых в воде составляющих, чтобы не загрязнять фильтрат, получающийся в процессе обезвоживания осадков);
- высокой пористостью слоя осадка, достигающей 85–90% (вследствие наличия частиц неправильной формы);
- малой удельной площадью поверхности твердых частиц; – малой сжимаемостью в диапазонах давлений, применяемых при обезвоживании;
- низкой плотностью, не допускающей быстрой седиментации после введения в осадок.

При выборе типа вспомогательных веществ руководствуются составом исходного осадка. Содержание крупных примесей в исходном осадке говорит о необходимости применения присадочных материалов пониженной дисперсности. Выбор материала должен быть экономически обоснован и доказан опытным

путем непосредственно на ОСВ. Увеличение количества вспомогательных веществ приводит к увеличению пористости исходного осадка. Это приводит к снижению удельного сопротивления осадка. По исследованиям обработки осадков ОСВ г. Челябинска катионным флокулянтom на основе полиакриламида (ПАА) марки Vesfloc, серия 6841 и флокулянтom совместно с присадочным материалом – вермикулитом, проведенным в работе [22] установлено, что оптимальные дозы флокулянта следует подбирать в интервале 0,2–1%, вермикулита – в интервале 0,6–2%. Возврат промывных вод (фильтрат) способствует уменьшению доз реагентов для кондиционирования. Доказано, что кондиционирование летнего осадка с помощью вермикулита и флокулянта позволяет достичь результата сравнимого с промораживанием по показателям удельного сопротивления осадка.

Возможно применение присадочных материалов одним из способов:

1. Присадочный материал добавляется к осадку и равномерно распределяется в нем перемешиванием, после чего осуществляется процесс фильтрования;
2. На поверхность фильтрования предварительно наносится фильтровспомогательное вещество в виде слоя толщиной 0,8-2,3 мм;
3. Комбинация двух предыдущих способов.

### **2.3.3 Обработка флокулянтами**

Предварительная обработка осадка флокулянтom приводит к агрегации частиц дисперсной фазы осадка, сокращению активной удельной площади поверхности частиц, увеличению размера пор. Для достижения более глубокого обезвоживания требуется введение присадочных материалов. Среди реагентов особое место занимает известь.

Количество добавляемого реагента рассчитывается по сухому веществу осадка. При этом, добавление в осадок только полиакриламида, предусматривает его дозу не менее 0,1% от массы сухого вещества[1]. Количественный и

качественный состав применяемых в том или ином случае реагентов определяется экспериментальным путем, а технология обработки отрабатывается в лабораторных условиях. Сложность в выборе флокулянта заключается в отсутствии теоретического обоснования такого выбора, поскольку каждый конкретный случай обработки осадка является уникальным.

На сегодняшний день в России широко известными, выпускаемыми в промышленных масштабах флокулянтами являются следующие: ПАА, СФ-1, ВПК-101, ВПК-102, Аквапол; катионные флокулянты – Сибфлок (ООО НПП «Экохим», г. Новосибирск), Каустамин-15 (ЗАО «Каустик», Стерлитамак), Рекомин-100 (лесохимический завод, пос. Нейво-Рудянка Свердловской области).

Концентрация флокулянта вариативна в зависимости от поставленных задач. Так, для кондиционирования осадка возможно использование раствора флокулянта от 0,1 до 0,25%, но для большего эффекта предлагается использование раствора с концентрацией до 2,5% [16].

В г. Екатеринбурге была предложена обработка осадка в 2 этапа. Первый этап приводил к сгущению осадка с возрастанием содержания взвеси (с 1–1,5 до 7–9 г/дм<sup>3</sup>). Второй этап проходил с добавлением флокулянта и извести (повышение содержания взвеси до 30 г/дм<sup>3</sup>) [16]. Резкое повышение жесткости в фильтрате связывают с добавлением извести, поэтому ее применение зачастую нежелательно (особенно в случаях дальнейшего использования фильтрата).

Низкая доза флокулянта в фильтрате влечет повышенную концентрацию взвешенных веществ (до 100–200 мг/дм<sup>3</sup>). Высокая доза флокулянта является эффективной, в том числе, и для низко концентрированных осадков. Данные выводы необходимо использовать при разработке схем обработки осадков.

Этап перемешивания и перекачивания осадка требует тщательной теоретической и практической отработки, поскольку избыточное воздействие может разрушить образованные флокулы.

Технологически правильный процесс флокулирования предполагает на последней стадии нахождение флокулянта (в большинстве своем) в осадке.

Интерес представляет метод дробного добавления флокулянта: одну часть добавляют в осадок перед сгущением, другую – перед обезвоживанием.

Облегчения водоотдачи добиваются за счет кондиционирования реагентами.

Большое влияние на выбор способа утилизации обезвоженного осадка оказывают добавленные реагенты. Они могут сильно ограничить круг возможных для применения способов утилизации.

## **2.4 Обезвоживание осадка ОСВ**

Основопологающим фактором, который следует учитывать при выборе метода механического обезвоживания, является объем минеральных примесей в обрабатываемом осадке, а также перечень химикатов, используемый в процессе коагуляции. Механическая обработка осадков предполагает применение следующих основных типов аппаратов: вакуум-фильтры, фильтр-прессы, центрифуги. Процесс обезвоживания осадка напрямую зависит от мутности промывной воды. При умягчении воды, содержание карбонатов кальция значительно увеличивается, что превращает обезвоживаемую массу в идеальную субстанцию. К недостаткам механического обезвоживания осадка на месте образования, можно отнести [23].

- Необходимость строительства новых цехов для выполнения процедур уплотнения и обезвоживания;
- Низкая температура получаемого осадка в зимний период требует дополнительных затрат на электроэнергию, а также требует использования больших доз применяемых реагентов.

### **2.4.1 Метод механической обработки осадка**

Традиционные технологические схемы обработки осадков природных вод предваряются процессом уплотнения в связи с сильной обводненностью осадков. Такое предварительное уплотнение необходимо для достижения целей

увеличения твердой фазы в осадке, уменьшения объема самих осадков и сокращения дальнейших затрат на их обезвоживание. Для более качественного уплотнения (с последующим повышением результата этого процесса) зачастую применяются присадочные материалы, химические реагенты и аппараты для кавитации. Практика выявила один из наилучших способов уплотнения осадка предварительной обработке осадка полиакриламидом.

На практике ускорения уплотнения на 30-70% добиваются за счет медленного перемешивания осадков. При этом содержание твердой фазы возрастает в 1,4-2,2 раза [3]. В теории данный процесс объясняется через реопексию, широко известную в коллоидной химии. Реопексия представляет собой свойство неньютоновских жидкостей – возрастание вязкости с соответствующим ростом напряжения сдвига. Другими словами, реопексионные жидкости густеют (либо твердеют) при перемешивании. Обратным по отношению к реопексии процессом является тиксотропия. Практика выработала рекомендации и по отношению к механизмам для перемешивания – это должны быть мешалки с сетчатыми лопастями и стержневыми вращающимися элементами.

Механическая обработка осадка является неоднозначной в практическом плане. Несмотря на то, что данная обработка дает существенное уменьшение объема осадка, она невозможна без их предварительной обработки (кондиционирования с помощью реагентов или термической обработки в режиме замораживание-оттаивание), которая, в свою очередь, улучшает водоотдачу осадков. Механическая обработка осадка требует: особой инфраструктуры для уплотнения, обезвоживания, вывоза и размещения осадка; предварительной обработки осадков перед механическим обезвоживанием; значительных энергетических затрат и использования высоких доз коагулянтов при низкой температуре осадка в зимний период.

В рамках механической обработки осадков выделяют несколько методов: обезвоживание на фильтр-прессах, обезвоживание с помощью вакуум фильтров, обезвоживание с помощью центрифуг.

### 2.4.2 Фильтр – пресс

Обезвоживание осадков механическим путем на фильтр-прессах может производиться с использованием разных видов установок. Различают следующие виды установок: камерные фильтр-прессы (бездиафрагменные, диафрагменные), ленточные фильтр-прессы (барабанные, угловые, петлеобразные). Основным преимуществом таких установок является глубокая степень обезвоживания. При подборе фильтр-пресса необходимо учитывать некоторые характеристики установок: максимальное обезвоживание осадка и максимальная достижимая прозрачность осадка.

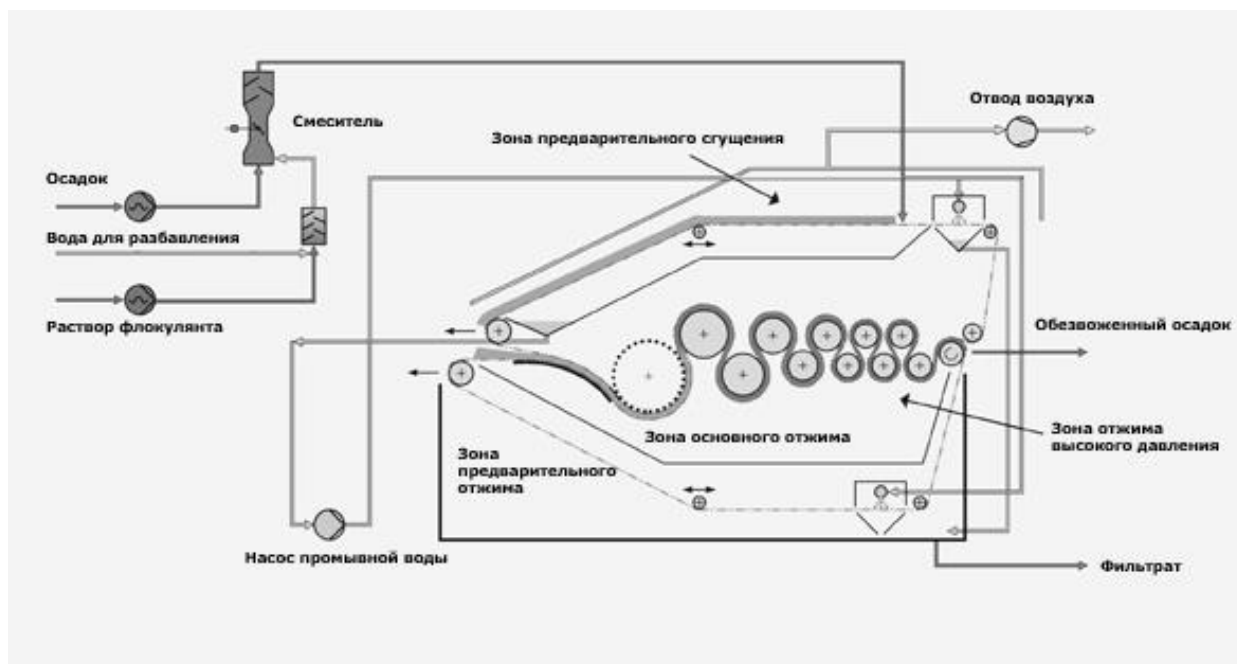


Рисунок 2.10 – Схема обработки осадка с использованием ленточного фильтр-пресса

### **2.4.3 Вакуум-фильтр**

На станциях водоочистки чаще всего применяют вакуум фильтры. Различают три вида таких установок: барабанные, барабанные со сходящим полотном, дисковые. Установка представляет собой аппарат для обезвоживания осадков посредством разрежения воздуха, создаваемого специальным вакуум-насосом. За один оборот барабана происходит непрерывное автоматическое чередование процессов образования кека, его подсушки и разгрузки. Область применения ограничивается для маломутных вод или вод с повышенной мутностью.



Рисунок 2.11 – Вакуум-фильтр

### **2.4.4 Центрифуги**

Также на станциях водоподготовки применяют центрифуги. Они представляют собой аппараты для разделения твердой и жидкой фазы осадка при центробежном ускорении, которое в сотни раз выше ускорения свободного падения. Различают следующие виды установок-центрифуг: по типу процесса:

непрерывный, периодический; по расположению вала: наклонный, горизонтальный, вертикальный; по назначению: отстойные, фильтрующие, разделяющие.

Выделяют следующие положительные и отрицательные характеристики центрифуг. К положительным моментам применения центрифуг традиционно относят высокую производительность, низкий расход флокулянтов, возможность одновременного уплотнения и обезвоживания осадка. К отрицательным сторонам можно отнести высокие затраты электроэнергии и сложный, дорогостоящий ремонт установок. Несомненным минусом установок является их шумность.



Рисунок 2.12 – Центрифуги

Выводы:

1. На основе существующих публикаций были изучены основные направления утилизации осадков станций водоподготовки;
2. Наиболее перспективно направление утилизации осадка ОСВ г. Челябинска в строительной индустрии. Предлагается исследовать применение обезвоженного осадка как модифицирующей добавки для получения керамического кирпича;



3. Для предварительной обработки осадков перед обезвоживанием были выбраны следующие методы: замораживание-оттаивание и обработка известью. Метод замораживания-оттаивания считается наиболее эффективным, если рассматривать его со стороны снижения удельного сопротивления. Обработка осадков станций водоподготовки известью позволяет достичь максимального снижения удельного сопротивления фильтрации. Данный метод можно считать экономически выгодным, так как известковое хозяйство уже имеется на площадке ОСВ г. Челябинска;

4. Окончательный выбор метода обработки осадка (известкование или замораживание - оттаивание) нужно проводить с учетом влияния извести на свойства керамического кирпича;

5. Необходимо разработать примерную технологическую схему обезвоживания осадка для дальнейшего внедрения ее на ОСВ г. Челябинска, дать рекомендации для применения осадка в качестве модифицирующей добавки.

## ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1 Определение удельного сопротивления фильтрации

Удельным сопротивлением осадка принято считать сопротивление единицы массы твердой фазы осадка, отлагающейся на единице площади фильтра при фильтровании жидкости и постоянном давлении суспензии, вязкость жидкой фазы которой равна единице [11].

#### Методика исследования

Опыты выполняются на лабораторной установке. Минимальное число опытов в одной серии равнялось пяти. Схема установки представлена на рисунке 11. На дно воронки Бюхнера укладывают изначально слегка смоченный водой двойной бумажный фильтр, подходящий по диаметру воронки. При закрытом запорном кране включают вакуум-насос и давление доводят до назначенной величины (500 мм рт. ст.).

В воронку Бюхнера наливают 100 мл предварительно взболтанного в таре осадка и открывают кран. Наблюдается некоторое падение давления, которое снова повышает автоматически вакуум-насос до нужной величины. Фильтрование производят при постоянном давлении. Количество образующегося фильтрата измеряют вначале за более короткие промежутки (10 секунд), а спустя некоторое время скорость фильтрования замедляется и промежуток времени замеров получаемого объема фильтрата можно увеличить до 30 секунд. Полученные результаты замеров объема фильтрата сводят в таблицу. По полученным результатам определяют удельное сопротивление фильтрации осадка. Погрешность измерения удельного сопротивления составляет 5-25%.

Далее определяем удельного сопротивления фильтрации по формуле 1.

$$r = \frac{2 \cdot \Delta P \cdot F^2}{\mu \cdot x} \cdot B, \quad (1)$$

где  $r$  – удельное сопротивление фильтрации, см/г;

$\Delta P = 66,661 \cdot 10^3 \text{ Па} = 500 \text{ мм.рт.ст.}$  – давление, при котором идет фильтрование;

$F$  – площадь фильтрации, равна площади воронки Бюхнера, измеряется в  $\text{см}^2$ ;

$\mu$  – динамический коэффициент вязкости фильтрата, который зависит от температуры кека и определяется из табличных данных (для  $9^\circ \text{C} = 1,346 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ , для  $20^\circ \text{C} = 1,005 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ ), измеряется  $\text{мПа}\cdot\text{с}$ ;

$x$  – масса твердой фазы кека, отлагающегося на фильтре которая численно равна содержанию сухого вещества в осадке ( $C_{\text{сух}}$ ), выраженному в  $\text{г/мл}$ ;

$V = t/V_2$  – параметр, получаемый опытным путем и численно равный углу наклона прямой, построенной в координатах  $t/(V-V_0)=f(V)$ , где  $t$  – время фильтрации,  $V$  – объем полученного фильтрата при данном времени фильтрации,  $V_0$  – нулевой объем, фиксируется в момент начала вакуумирования.

Дозы реагентов, используемые в кондиционировании осадков, рассчитываются по содержанию сухого вещества. Содержание сухого вещества осадка,  $C_{\text{сух}}$ ,  $\text{г/л}$ , рассчитывают следующим образом:

$$C_{\text{сух}} = 10 \cdot (100 - W), \quad (2)$$

где  $W$ - влажность осадка, %.

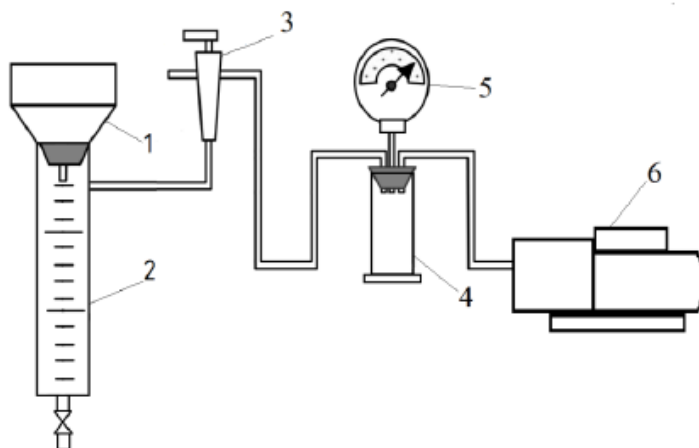


Рисунок 3.13 – Установка для определения удельного сопротивления фильтрации: 1-воронка Бюхнера; 2-мерный цилиндр; 3 – запорный кран; 4-ресивер; 5 – вакуумметр; 6 – вакуум-насос

### 3.2 Методика определения влажности осадка

Осадок на очистных сооружениях водопровода удаляют из отстойников по мере необходимости при операциях опорожнения и продувки. После этих операций получается сильно обводненный осадок. Влажностью признано называть содержание воды в осадке и выражать в процентах. Величина влажности напрямую связана с содержанием сухого вещества осадка, выраженного в г/л.

Мерным цилиндром отбирают 50 мл осадка. Далее переливают осадок во взвешенный ( $m_T$ ) и предварительно высушенный до постоянной массы (при  $105^{\circ}\text{C}$ ) тигель. Для количественного переноса омывают цилиндр дистиллированной водой из пипетки, строго учитывая объем использованной воды ( $V_B$ , мл). После взвешивают тигель с влажным осадком ( $m_{\text{вл}}$ ). Далее из полученной массы сразу вычитают массу воды, соответствующую  $m_B$ . Далее необходимо просушить тигель с осадком в сушильном шкафу при  $105^{\circ}\text{C}$ . Сушка производится до постоянной массы (от одного дня до трех суток). Далее тигель с осадком необходимо остудить в эксикаторе до комнатной температуры, а после взвесить ( $m_{\text{сух}}$ ). Взвешивания проводят на специальных аналитических весах, с погрешностью до четырех знаков после запятой.

Влажность осадка  $W$  (%), вычисляют по формуле 3.

$$W = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}} - m_B}{m_{\text{вл}} - m_T} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где  $m_{\text{вл}}$  – масса тигля с влажным осадком, г;

$m_{\text{сух}}$  – масса тигля с высушенным до постоянной массы осадком, г;

$m_B$  – масса воды для количественного переноса осадка, г, численно равна ее объему  $V_B$ , мл при плотности 1 г/мл;

$m_T$  – масса тигля, г.

### 3.3 Обработка осадков известью

Для обработки осадков очистных станций водопровода известью (сухой или известковым молоком) необходимо знать активность окиси кальция в навеске. Дозирование происходит после получения в навеске (для сухой извести) или дозе (для известкового молочка) необходимого процента извести. Сухую известь вносят в заранее подготовленный мерный цилиндр с осадок постепенно. Для качественной реакции осадка с известью необходимо тщательно перемешать полученную консистенцию. Известковое молоко дозируют с помощью пипетки.

#### 3.3.1 Сухое дозирование

Для сухого дозирования извести необходимо определить активность окиси кальция. Одна из самых популярных методик определения активности извести сахаратным методом описана в методичке «Анализ сточных вод и реагентов» [24].

Навеску 0,2 - 0,25 г тонкорастертой извести высыпают в коническую колбу, в которой предварительно помещено 10 - 15 штук стеклянных бус (или кусочки стеклянной палочки), и добавляют 50 мл 10 процентного раствора сахара. Взбалтывают в течении 15 минут, прибавляют 2 - 3 капли 1 процентного раствора фенолфталеина и титруют раствор 1 н. соляной кислотой. Титрование производят медленно, по каплям, до исчезновения розового окрашивания.

Количество активной окиси кальция (x) в процентах определяют по формуле 4.

$$x = \frac{a \cdot K \cdot 0,028 \cdot 100}{C}, \quad (4)$$

где a - количество соляной кислоты, мл;

K - коэффициент поправки для приведения к точно 1н. раствору HCl;

C - навеска извести, г;

0,028 - г CaO, соответствующее 1 мл 1н. раствора HCl.

Примечание. Появление розового окрашивания через некоторое время после титрования является результатом частичного растворения окиси магния. Поэтому титрование следует считать законченным после исчезновения окрашивания при основном титровании.

### **3.3.2 Обработка известковым молоком**

Для использования известкового молока в качестве реагента для предварительной обработки осадка очистных станций водопровода необходимо определить содержание окиси кальция в известковом молоке.

В упомянутом нами выше методическом пособии [24] описан метод определения содержания окиси кальция в известковом молоке.

Отмеривают пипеткой 10 мл раствора извести в коническую колбу емкостью 250 мл, добавляют 100 мл дистиллированной воды и 2 - 3 капли фенолфталеина. Медленно титруют 1 н. раствором соляной кислоты до обесцвечивания раствора. Если через 5 минут не появится розовое окрашивание, титрование считают законченным.

Содержание СаО (x) в г/л вычисляют по формуле 5.

$$x = \frac{a \cdot K \cdot 0,028 \cdot 1000}{10}, \quad (5)$$

где a - количество мл 1н. HCl, истраченное на титрование;

K - поправочный коэффициент соляной кислоты к точно 1 н. раствору;

10 - количество мл раствора, взятое на анализ.

### **3.4 Методика замораживания оттаивания**

Образцы осадка, объемом от 0,5 до 1 дм<sup>3</sup>, промораживали в течение 7 суток при одинаковой температуре. После оттаивания определяли удельное сопротивление фильтрации, влажность кека после обезвоживания.

Замораживание существенно изменяет текстуру осадка: если натуральный осадок представляет собой неоднородную гелеобразную массу, то после оттаивания он расслаивается на прозрачную надосадочную жидкость и твердую фазу в виде гранулоподобных частиц. Надосадочная жидкость может быть легко декантирована.

## ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 4.1 Подготовка осадков к обезвоживанию

Объектом нашего исследования являлись осадки отстойников 1, 2, 3 блоков очистных сооружений водопровода г. Челябинска. На станции водоподготовки сброс осадков осуществляли в различное время года. Отбор осадков для данного исследования производил лаборант станции по сезонам:

- зимний период;
- летний период;
- осенний период.

Исследования проводились в лаборатории кафедры ГИСС Архитектурно-строительного института ЮУрГУ. Серия опытов состояла минимум из пяти повторений. Были проведены опыты по определению характеристик исходного осадка (удельное сопротивление фильтрации, влажность). Кроме того, исследовали водоотдающую способность осадков при следующих методах кондиционирования:

- обработка сухой известью
- обработка известковым молочком
- замораживание - оттаивание.

Полученные данные были проанализированы и статистически обработаны с использованием учебного пособия [27].

#### 4.1.1 Исследование исходного осадка

Результаты исследований исходного осадка представлены в таблице 2. Осадки без обработки имеют влажность 96,72–97,86%, содержание сухого вещества осадка составляет не менее 17,86 и достигает 39,9 г/л.



Таблица 2 – Данные исходного осадка

Дата отбора	Номер блока	Влажность, %	Содержание сухого вещества, г/л	Влажность кека, %
17.12.18	1	97,86	17,8	97,34
09.06.19	3	96,72	25,6	95,003
13.06.19	1	97,14	29,5	96,237
15.07.19	2	97,34	35,75	96,476
16.07.19	2	97,51	39,9	96,873

В табл. 2 также указаны величины влажности кеков исходных осадков. Кек получали при фильтровании под вакуумом ( $66,66 \cdot 10^3$  Па) на установке для определения удельного сопротивления фильтрации (см. п.3.1).

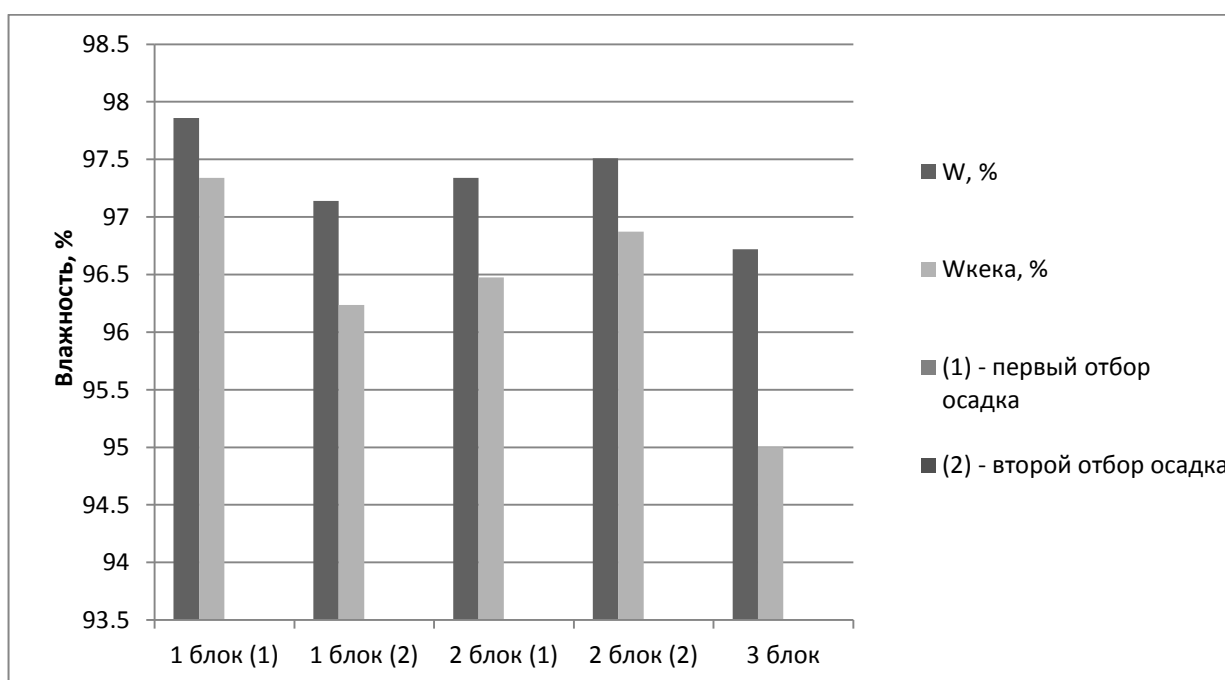


Рисунок 4.14 – Гистограмма влажности (W, %) исходного осадка и кека

Вода в осадках может находиться в следующих формах (по нарастанию степени связанности): свободная, физико-механически связанная с твердыми частицами, физико-химически связанная и, наконец, химически связанная вода, входящая в состав вещества и не удаляемая даже при термической сушке осадков.

Удаление влаги под давлением позволяют удалять свободную и частично физико-механически связанную воду. Для этого в нашем исследовании использовался аппарат, создающие давление выше капиллярного и разрушающие структурные связи. При вакууме порядка 500 мм рт. ст. теоретическим пределом будет удаление влаги микрокапилляров с радиусом более  $5 \cdot 10^{-6}$  м, однако, скорость водоотдачи капиллярной влаги относительно мала, что требует значительного времени [26].

Очевидно, что обезвоживание без предварительной обработки осадка неэффективно: влажность снижается на 0,53 – 1,78%, в среднем на 0,96%. В целом фильтрованием под вакуумом удается достичь влажности не менее 95%. Для повышения водоотдающей способности осадка необходимо применение механического обезвоживания с предварительной обработкой осадков.

Результаты экспериментов по определению удельного сопротивления исходных осадков приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Удельное сопротивление фильтрации исходного осадка

Дата отбора	Номер блока	Удельное сопротивление, $r \cdot 10^{10}$ , м/кг
17.12.18	1	$8419 \pm 1806$
09.06.19	3	$2421 \pm 501$
13.06.19	1	$3743 \pm 887$
15.07.19	2	$2892 \pm 397$
16.07.19	2	$2561 \pm 530$

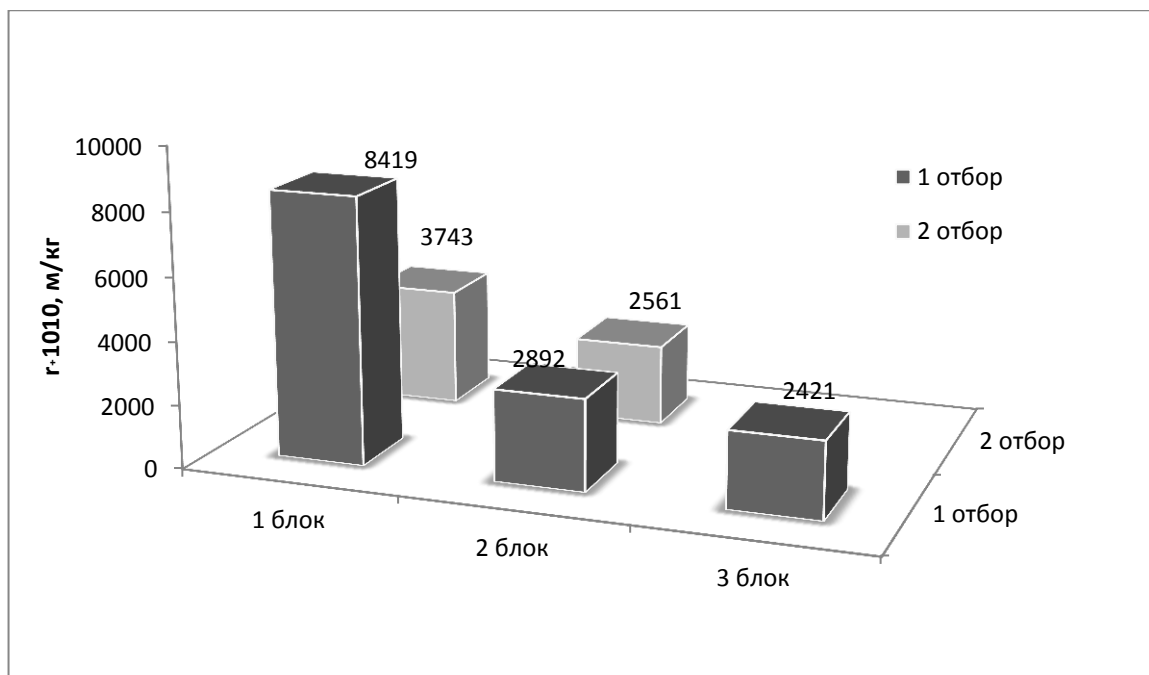


Рисунок 4.15 – Удельное сопротивление фильтрации исходного осадка

Таким образом, осадки отстойников 1,2,3 блоков очистных сооружений водопровода г. Челябинска без обработки имеют усредненные значения удельного сопротивления фильтрации в интервале от  $2421 \pm 501 \cdot 10^{10}$  м/кг до  $8419 \pm 1806 \cdot 10^{10}$  м/кг. Показания удельного сопротивления варьируется в зависимости от условий образования осадка. Данные осадки можно отнести к трудно фильтруемым, что говорит о необходимости предварительной обработки осадков для увеличения водоотдающей способности.

Высокие значения удельного сопротивления фильтрации для осадка блока № 1 в зимний период можно объяснить изменчивостью природы цветности. В осенний период отбора осадка (сформировавшийся летний осадок) и зимний период отбора (сформировавшийся осенний осадок) соотношение цветности к мутности не значительно влияют на удельное сопротивление (величина Ц/М характеризует влияние качества воды в источнике на водоотдающую способность)[1]. В зимний период цветность ниже, но возрастает доля фульвокислот, и понижается вклад гуминовых кислот по сравнению с летним периодом.

По-видимому, присутствие в осадках летнего периода значительного количества клеток фитопланктона способствует некоторому повышению водоотдающей способности осадков. Температура воды в водоемнике (см. п. 1.2) в весенний период составила 3,59°C (2018 год) и 5,34°C (2019 год), в летний период была выше, 18,24°C (2018 год) и 18,64°C (2019 год). При повышении температуры очищаемой воды в летний период происходит снижение вязкости. Снижение вязкости осадка приводит к увеличению скорости процесса оседания и формированию осадка в зоне накопления отстойника. С наступлением осени температура воды в водоемнике снижается до 10,83°C (2018 год) и 12,5°C (2019 год) соответственно. В зимний период года температура постепенно снижалась до 1 градуса.

Несмотря на то что, наиболее концентрированный осадок имеет большую вязкость фильтрата при равной температуре очищаемой воды [26], удельное сопротивление осадка отобранного в июне-июле 2019 года имеет одинаковое значение.

#### **4.1.2 Обработка осадков сухой известью**

Обработка осадков сухой известью проводилась с использованием обожженной (прокаленной при 600°C) извести и извести из бордосской смеси. Активность извести на момент проведения опытов равнялась 43% для обожженной и 74,8% для извести из бордосской смеси соответственно.

Результаты с прокаленной известью были не удовлетворительными, так как удельное сопротивление существенно не изменялось по сравнению со значениями удельного сопротивления фильтрации исходного осадка. Это можно объяснить снижением активности извести при прокаливании. При обжиге частички извести укрупнились и превратились в комочки, которые не смогли до конца прореагировать с «жидким» осадком. Исходные усредненные значения удельного сопротивления фильтрации для данного осадка составляют  $8419 \pm 1806 \cdot 10^{10}$  м/кг.

Результаты исследований с добавлением прокаленной извести представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Удельное сопротивление фильтрации осадка обработанного обожженной известью

Дата отбора	№ блока	Содержание сухого вещества, г/л	Время перемешивания, минут	Доза извести, %	Влажность, %	Влажность кека, %	Удельное сопротивление, $г \cdot 10^{10}$ , м/кг
17.12.18	1	17,8	5	20	97,86	94,51	$4907 \pm 389$
17.12.18	1	17,8	20	20	97,86	90,35	$2361 \pm 561$
17.12.18	1	17,8	20	35	97,86	93,34	$3517 \pm 620$

Увеличение времени перемешивания дает положительный результат, и снижает удельное сопротивление с  $4907 \pm 389 \cdot 10^{10}$  м/кг до  $2361 \pm 561 \cdot 10^{10}$  м/кг. При увеличении дозы реагента с 20% до 35% удельное сопротивление фильтрации увеличивается, что связано, на мой взгляд, с крупностью частиц добавляемой извести. Реакция не происходила в полном объеме, частички извести не взаимодействовали и не растворялись до конца в осадке.

Для сравнения результатов исследования с опытами обожженной извести были проведены пробные серии опытов с добавлением сухой извести из бордосской смеси для подбора оптимальных значений факторов времени и дозы реагента. Полученные результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Удельное сопротивление фильтрации осадка обработанного сухой известью

Дата отбора	№ блока	Содержание сухого вещества, г/л	Время перемешивания, минут	Доза извести, %	Влажность, %	Влажность кека, %	Удельное сопротивление, $г \cdot 10^{10}$ , м/кг
17.12.18	1	17,8	5	35	97,86	90,74	$1847 \pm 513$
17.12.18	1	17,8	20	35	97,86	84,09	$1514 \pm 920$

Окончание таблицы 5

Дата отбора	№ блока	Содержание сухого вещества, г/л	Время перемешивания, минут	Доза извести, %	Влажность, %	Влажность кека, %	Удельное сопротивление, $г \cdot 10^{10}$ , м/кг
17.12.18	1	17,8	30	35	97,86	84,01	$1704 \pm 803$
17.12.18	1	17,8	30	40	97,86	80,46	$1293 \pm 85$

Анализируя результаты, можно сделать вывод, что с увеличением времени перемешивания с 5 до 30 минут удельное сопротивление фильтрации снижается на 18%. При 30 минутах произошел скачок результатов, как мне кажется из-за неоднородности состава осадка в емкости. При увеличении дозы извести удельное сопротивление фильтрации осадка также заметно снижается. Из таблицы видно, что при сложении этих двух факторов существенно меняется влажность кека с 97,86% до 80,46%.

Для оценки влияния условий формирования и свойств осадка ОСВ на свойства модифицированной керамики был спланирован двухфакторный эксперимент по методу Хартли. Осадки ОСВ вводили в шихту в качестве модифицирующей добавки. Эксперимент проводили с добавками из осадков ОСВ двух видов (WTPS 1, WTPS 2). Варьировали два фактора: количество добавки в шихте (WTPS 1, % и WTPS 2, % от массы шихты) и температуру обжига сырца (Т°С). Откликами являлись: число пластичности (ЧП), воздушная и огневая усадки. Влияние вида добавки на свойства керамики оценивали по огневой усадке, как одному из ключевых параметров, влияющему на долговечность и прочность керамических материалов. Было рассчитано, что для обеспечения погрешности эксперимента менее 5 % достаточное количество повторов эксперимента для каждого отклика равняется двум.

Время перемешивания варьировалось от 10 до 30 минут, а доза вводимой сухой извести от 20 до 40%. Результаты двухфакторного эксперимента представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Двухфакторный эксперимент с осадком обработанным сухой известью

Дата отбора	Номер блока	Содержание сухого вещества, г/л	Время перемешивания, минут	Доза извести, %	Удельное сопротивление, $r \cdot 10^{10}$ , м/кг
17.12.18	1	17,8	10	20	2152 ± 251
17.12.18	1	17,8	10	30	1552 ± 155
17.12.18	1	17,8	10	40	859 ± 73
17.12.18	1	17,8	20	20	2338 ± 126
17.12.18	1	17,8	20	30	1165 ± 185
17.12.18	1	17,8	20	40	720 ± 188
17.12.18	1	17,8	30	20	2658 ± 850
17.12.18	1	17,8	30	30	734 ± 73
17.12.18	1	17,8	30	40	702 ± 432

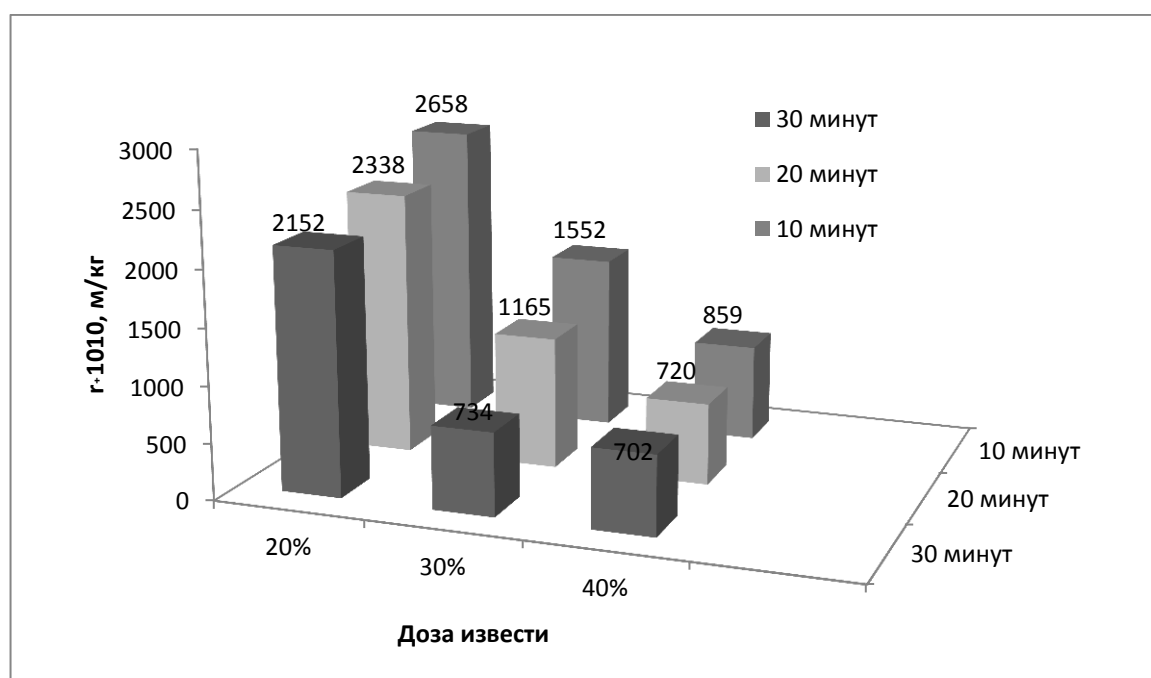


Рисунок 4.16 – Удельное сопротивление фильтрации осадка обработанного сухой известью

Полученные данные обработали в программе Mathcad. Для этого закодировали средние значения удельного сопротивления фильтрации осадка в виде матрицы.

Таблица 7 – Матрица средних значений удельного сопротивления осадка

Доза Время	20%(-1)	30%(0)	40%(1)
10мин(-1)	2152	1552	859
20мин(0)	2338	1165	720
30мин(1)	2658	734	702

С помощью определенных алгоритмов рассчитываем в Microsoft Excel коэффициенты уравнения ( $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{12}, b_{22}$ ), которые необходимы для дальнейших расчетов.

$$M_1(x, y) = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot y + b_{11} \cdot x^2 + b_{22} \cdot y^2 + b_{12} \cdot x \cdot y \quad (6)$$

Таблица 8 – Расчет коэффициентов уравнения

<b><math>b_0 =</math></b>	<b>1126.889</b>	N	Уфакт	Урасч	Невязка, %
<b><math>b_1 =</math></b>	<b>-78.17</b>	1	2152	2306.8	6.71
<b><math>b_2 =</math></b>	<b>-811.167</b>	2	2338	2359.2	0.90
<b><math>b_{11} =</math></b>	<b>35.16667</b>	3	2658	2482.0	7.09
<b><math>b_{12} =</math></b>	<b>-165.75</b>	4	1552	1240.2	25.14
<b><math>b_{22} =</math></b>	<b>421.1667</b>	5	1165	1126.9	3.38
		6	734	1083.9	32.28
		7	859	1016.0	15.45
FR	0.947526	8	720	736.9	2.29
		9	702	528.1	32.92

Подставляем полученные значения коэффициентов в программу Mathcad. Получаем уравнение:

$$M_1(x, y) = 1126,889 + (-78,17) \cdot x + (-811,167) \cdot y + 35,16667 \cdot x^2 + 411,1667 \cdot y^2 + (-165,75) \cdot x \cdot y$$



Программа строит зависимость удельного сопротивления осадка от двух факторов в виде графика. Первый фактор – время перемешивания осадка с известью; второй - процент содержания вводимой извести.

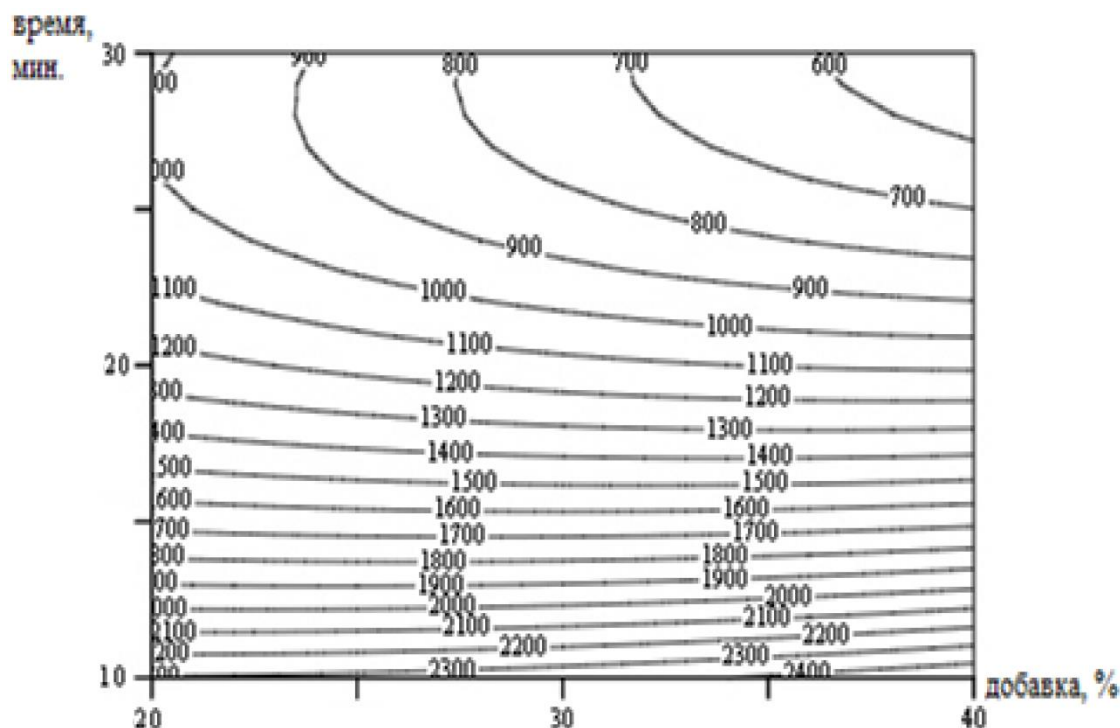


Рисунок 4.17 – Зависимость удельного сопротивления осадка ( $\text{г} \cdot 10^{10}$ , м/кг) от дозы вводимой извести (%) и времени ее перемешивания (мин.)

Анализируя графическое отображение двухфакторного эксперимента (рисунок 4.17) можно сделать вывод, что рост фактора времени от 10 до 20 минут не оказывает влияния на величину удельного сопротивления осадка. Дальнейшее увеличение фактора времени от 20 до 30 минут и повышение дозы извести до 40% позволяет достичь значений удельного сопротивления фильтрации осадка ( $700\text{--}600) \cdot 10^{10}$  м/кг, что приемлемо для дальнейшего механического обезвоживания.

Таким образом, эффект снижения удельного сопротивления фильтрации осадка после введения извести более выражен при длительном перемешивании (30 минут) и высокой дозе извести (30–40%).

Оптимальные значения времени и процента вводимой добавки на графике лежит вне интервала варьирования факторов и требует постановки следующего двухфакторного эксперимента. Однако, технически и экономически

нецелесообразно увеличивать дозу вводимой извести выше 40%. Необходимо сравнить экономические затраты на известкование при дозе извести 40% и замораживание – оттаивание, поскольку последний метод обработки дает резкое снижение удельного сопротивления фильтрации и перспективы для утилизации осадков в строительной отрасли.

Рекомендуемые значения факторов при известковании осадков: доза извести 30% и время перемешивания 30 мин или доза извести 40% и время перемешивания 20 мин.

#### 4.1.3 Обработка осадков известковым молоком

Исследования взаимодействия осадка ОСВ с известковым молоком были проведены на осадках, отобранных в июне 2019 года. Осадки были из 1 и 3 блока с различными массами сухого вещества. Опыты проводились с перемешиванием осадка в течение 10 минут. Используемые дозы растворенной извести были меньше по сравнению с сухим дозированием (10%, 15% и 20%). Активность извести на момент проведения эксперимента составляла 81,8%. Исходный осадок без обработки имел следующие значения:

- $3743 \pm 887 \cdot 10^{10}$  м/кг – для первого блока;
- $2421 \pm 501 \cdot 10^{10}$  м/кг – для третьего блока.

Полученные результаты исследования представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Удельное сопротивление фильтрации осадка обработанного известковым молоком

Дата отбора	№ блока	Содержание сухого вещества, г/л	Время перемешивания, минут	Доза извести, %	Влажность, %	Влажность кека, %	Удельное сопротивление, $г \cdot 10^{10}$ , м/кг
13.06.19	1	29,5	10	10	97,14	95,995	$2240 \pm 231$
13.06.19	1	29,5	10	15	97,14	95,615	$1853 \pm 55$
13.06.19	1	29,5	10	20	97,14	94,625	$1639 \pm 159$

Окончание таблицы 9

Дата отбора	№ блока	Содержание сухого вещества, г/л	Время перемешивания, минут	Доза извести, %	Влажность, %	Влажность кека, %	Удельное сопротивление, $г \cdot 10^{10}$ , м/кг
09.06.19	3	25,6	10	10	96,72	93,143	$2551 \pm 246$
09.06.19	3	25,6	10	15	96,72	95,726	$2017 \pm 92$
09.06.19	3	25,6	10	20	96,72	95,135	$1696 \pm 524$

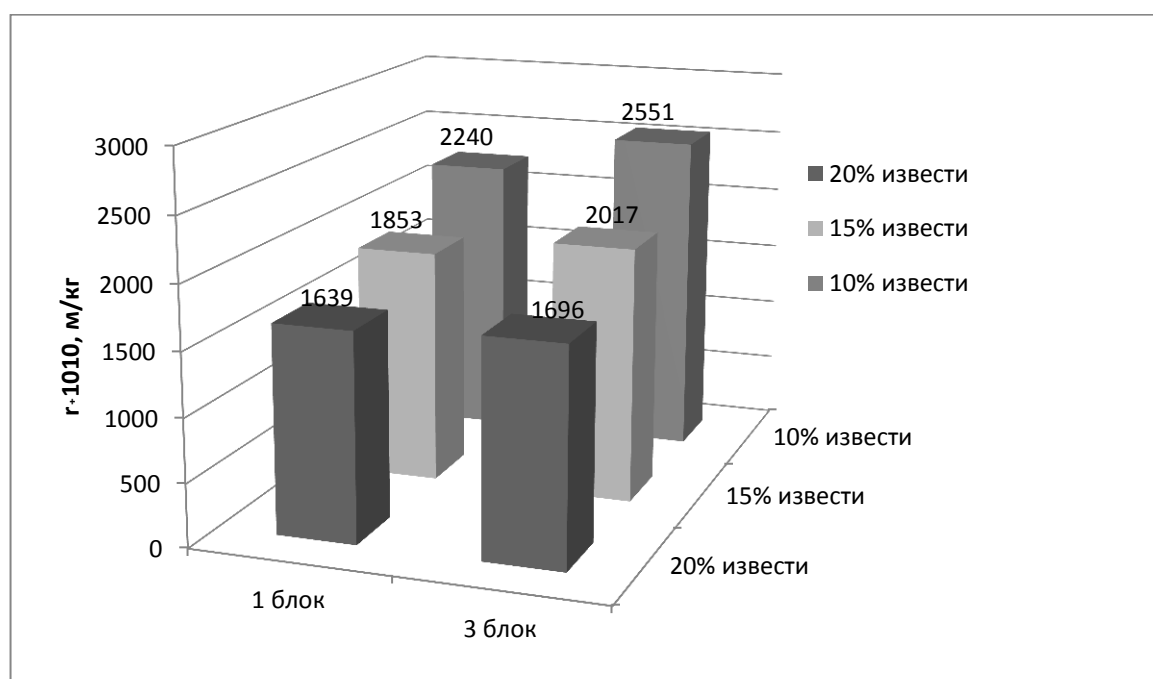


Рисунок 4.18 – Удельное сопротивление фильтрации при обработке осадка, сформированного в летний период, известковым молочком

Обработка осадка известковым молочком в малых дозах существенно снижает удельное сопротивление фильтрации. Так, для первого блока значения удельного сопротивления снизились с  $3743 \pm 887 \cdot 10^{10}$  м/кг до  $1639 \pm 159 \cdot 10^{10}$  м/кг, что составляет порядка 56%. Для третьего блока значение удельного сопротивления фильтрации снизилось с  $2421 \pm 501 \cdot 10^{10}$  м/кг до  $1696 \pm 524 \cdot 10^{10}$  м/кг, что составляет 30%. На начало летнего периода 2019 года наблюдали массовое размножение синезеленых. Фактически, процесс резкого снижения удельного сопротивления можно объяснить большими значениями цветности,

которые на момент отбора осадка составляли порядка 30-35 градусов. Скорее всего, большое количество клеток фитопланктона способствует некоторому повышению водоотдающей способности осадков. Также, существенное влияние на формирование осадков в летний период оказывает температура воды, достигающая в этот период высоких значений. С повышением температуры понижается вязкость воды, что способствует более быстрому осаждению осадка в сооружениях [30].

Значения влажности кека снизились незначительно, по сравнению с обработкой сухой известью. Скачок значений в опытах с третьим блоком при добавлении 10% дозы извести можно объяснить неоднородностью осадка в емкости, так как серия опытов была одной из самых первых.

По мнению ученых, экономически нецелесообразно увеличивать дозу вводимой извести выше 20%, это повлечет за собой большие затраты на реагент и дозирование реагента[1, 28].

#### **4.1.4 Замораживание-оттаивание осадка ОСВ**

Для промораживания осадка был отобран осадок с 1, 2 и 3 блока водоочистки. Осадки имели различную массу сухого вещества от 25,5 до 39,9 г/л.

В процессе замораживания-оттаивания создаются определенные условия, которые существенно увеличивают водоотдающую способность осадков. Значения удельного сопротивления фильтрации снизились на 2–3 порядка (см. таблицу 10). Это дает возможность станциям водоочистки использовать дальнейшую механическую обработку осадков.

Таблица 10 – Водоотдающая способность осадков после процесса замораживания-оттаивания

Дата отбора	Свойства исходного осадка		Условия обработки	Удельное сопротивление, $г \cdot 10^{10}$ , м/кг	Влажность кека, %
	Влажность, %	Масса сухого в-ва, г/л			
Блок №1					
13.06.19	97,14	29,5	без обработки	$3743 \pm 887$	96,237
			замораживание-оттаивание	$50 \pm 20$	66,667
Блок №2					
15.07.19	97,34	35,75	без обработки	$2892 \pm 397$	96,476
			замораживание-оттаивание	$46 \pm 11$	64,092
16.07.19	97,51	39,9	без обработки	$2561 \pm 530$	96,873
			замораживание-оттаивание	$31 \pm 6$	54,918
Блок №3					
09.06.19	96,72	25,6	без обработки	$2421 \pm 501$	95,003
			замораживание-оттаивание	$34 \pm 11$	72,884

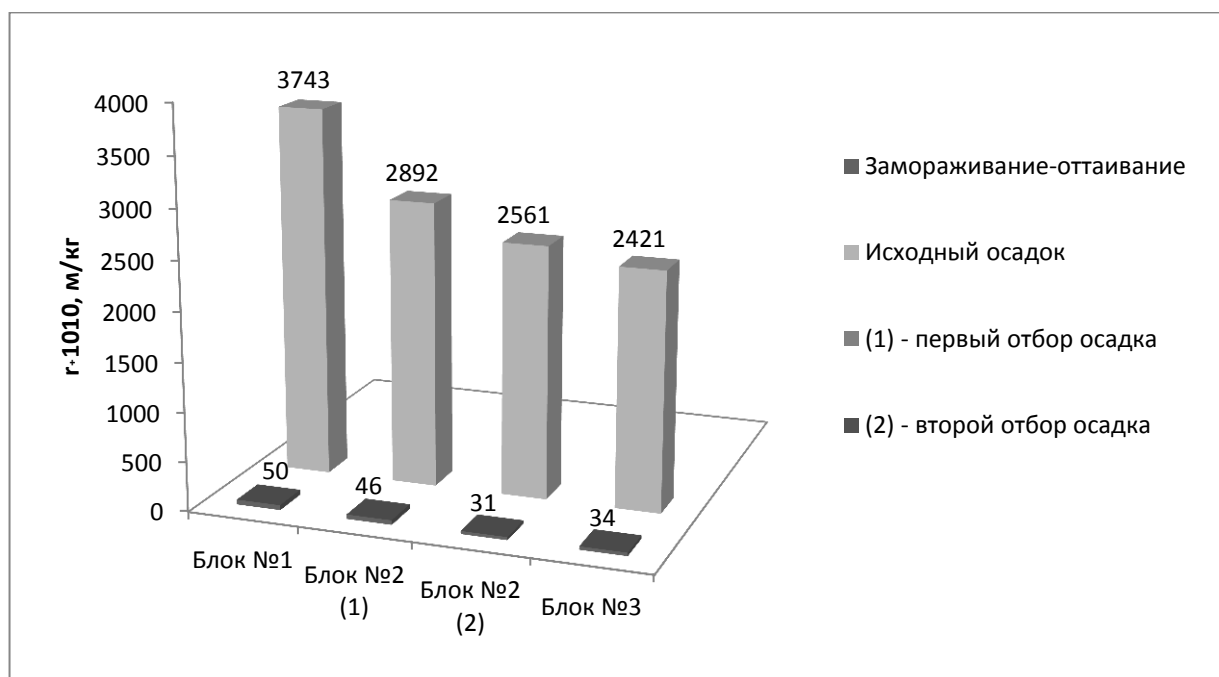


Рисунок 4.19 – Удельное сопротивление фильтрации после замораживания-оттаивания

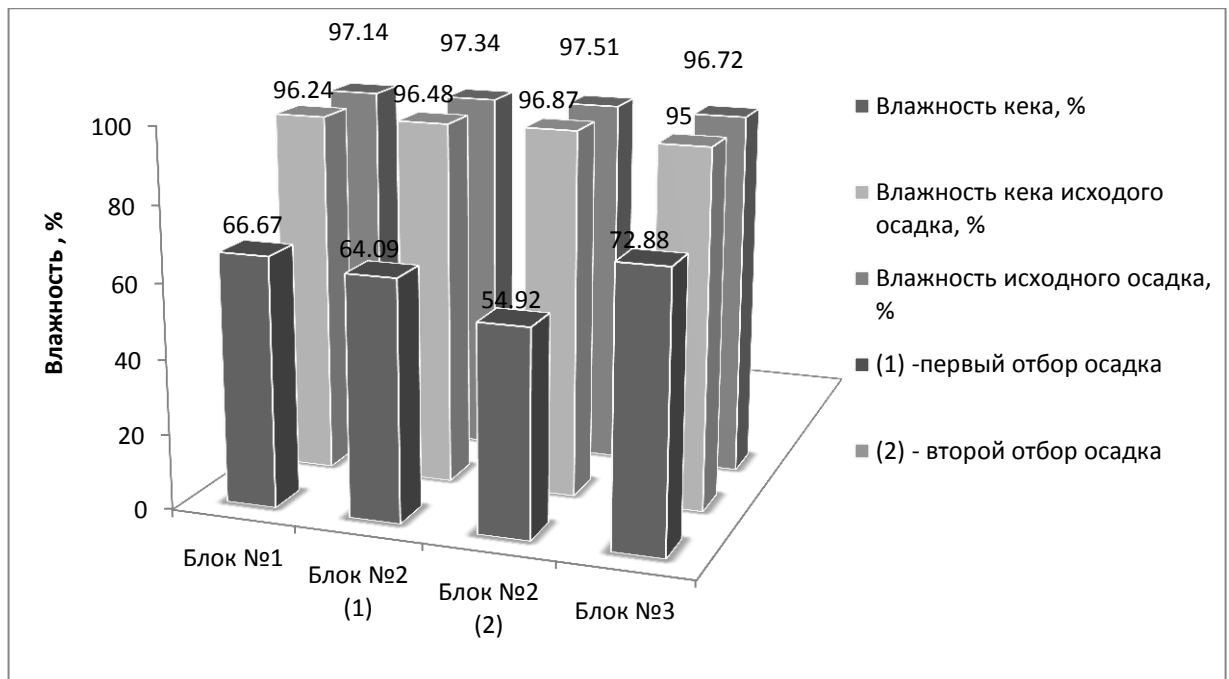


Рисунок 4.20 – Влажность осадка до и после процесса замораживания-оттаивания

После оттаивания и фильтрования под вакуумом достигается влажность кека замороженного осадка в пределах от 54 до 72%. Текстура замороженного и отфильтрованного осадка заметно изменилась. Кек исходного осадка имеет гелеобразную текстуру, а уже после замораживания-оттаивания – это текстура осадка выглядит однородно и похожа на «влажную землю».

При снижении температуры до 0°C происходит фазовый переход свободной влаги из жидкого состояния в твердое. Далее лед образуется за счет связанной воды осадка, но для этого необходимо преодолеть силы сцепления воды с твердой фазой осадка, поэтому интенсивность образования льда снижается [3, 22]. Кристаллизация жидкости происходит с видимым процессом-сжатием, а также уплотнением прилегающих областей жидкой фазы осадка. Флокулы осадка сжимаются в крупные беспорядочные частицы, разделенные областями льда. После оттаивания такой системы вода легко дренирует через трещины, поры и каналы, образовавшиеся в процессе кристаллизации. Поэтому осадок после замораживания–оттаивания легко обезвоживается. Похожие явления описываются в книге [29, с.445].

## Выводы:

1. Изучены свойства осадков ОСВ г. Челябинска, отобранных в зимний, летний и осенний периоды 2018 и 2019 года. Исходные осадки имеют следующие характеристики:

- влажность 97–98%,
- содержание сухого вещества 17,8–39,9 г/л,
- удельное сопротивление фильтрации  $2561–8419 \cdot 10^{10}$  м/кг.

2. Исследованы методы реагентной обработки осадков ОСВ обожженной известью, сухой известью и известковым молочком.

3. Исследовано применение процесса замораживания-оттаивания осадка ОСВ.

4. Установлено, что прокаленная известь значительно теряет активность при прокаливании, что требует увеличения ее дозы для обработки осадка. Выявлено, что оптимальные значения факторов при известковании осадков сухой известью: доза извести 30% и время перемешивания 30 мин или доза извести 40% и время перемешивания 20 мин. При предварительной обработке осадков ОСВ известковым молочком рекомендованы дозы извести порядка 20% по сухому веществу осадка. Данный метод можно считать экономически выгодным, так как известковое хозяйство уже имеется на площадке ОСВ г. Челябинска.

5. Метод замораживания-оттаивания показал себя наиболее эффективным, если рассматривать его со стороны снижения удельного сопротивления и водоотдачи. Удельное сопротивление фильтрации после промораживания осадка снизилось в 70-75 раз по сравнению с исходным.

6. Окончательный выбор метода обработки осадка (известкование или замораживание - оттаивание) зависит от экономического обоснования выбранного метода и влияния извести на свойства керамического кирпича.

## **4.2 Апробирование модифицированной добавки в производстве керамического кирпича**

На данный момент утилизация осадков ОСВ происходит путем перекачки осадков с последующей обработкой на очистные сооружения канализации г. Челябинска. Протяженность перекачки составляет порядка 25 километров, что приводит к большим затратам. На мой взгляд, наиболее перспективно направление утилизации осадка ОСВ г. Челябинска в строительной индустрии. Некоторые производственные компании готовы утилизировать осадки в качестве модифицирующей добавки для производства строительных изделий. Речь идет о покупке данного сырья.

На базе компании ООО «Кемма» было проведено исследование применения обезвоженного осадка как модифицирующей добавки для получения керамического кирпича. Результаты проводились в лаборатории ООО «Кемма». Добавки на данном производстве применяются для корректировки свойств. Так было доказано, что выгорающая добавка в виде осадка ОСВ в производстве керамических кирпичей позволяет:

- снизить плотность, тем самым повысить эффективность керамических изделий;
- улучшить пластичные свойства шихты без уменьшения воздушной усадки;
- обеспечить равномерный прогрев сырца (воздушная усадка происходит при испарении воды из сырца в процессе его сушки);
- снизить температуру обжига на 50 градусов.

Следует отметить, что в производстве керамического кирпича все добавки вводятся в сухом виде. Дозирование осадков требует их предварительного высушивания, для чего было предложено предварительное замораживание – оттаивание для улучшения водоотдачи. Добавка поступает на завод в сухом виде, далее дозируется и смешивается с глинистым сырьём на посту мелкого дробления для совместного помола.





Рисунок 4.21 – Вид формуемой глины при пластическом методе формования

В сериях опытов вводили сухой осадок дозировкой 5%, 7,5%, и 10%. При проведении опытов выяснилось, что оптимальной дозировкой осадков было введение их в количестве не менее 7,5% (наилучший результат при 10 %) от массы глины. Увеличение дозировки до 20 процентов не привело к ухудшению свойств кирпича.

Результаты лаборатории ООО «Кемма» сведены в таблицу 11.

Таблица 11

Свойство	Без добавки	С выгорающей добавкой, 7,5 %
Число пластичности	3.6	7.5
Воздушная усадка, %	6.2	5.6
Огневая усадка, %	1.2	2.8
Плотность образцов, г/см <sup>3</sup>	1.23	1.13

Экспертами было вынесено заключение по введению добавки:

- Значение пластичности шихты увеличивается в два раза (из малопластичной до умеренно пластичной);
- Уменьшается воздушная усадка (сокращение продолжительности сушки);
- Снижения плотности образца (выгорание добавки).

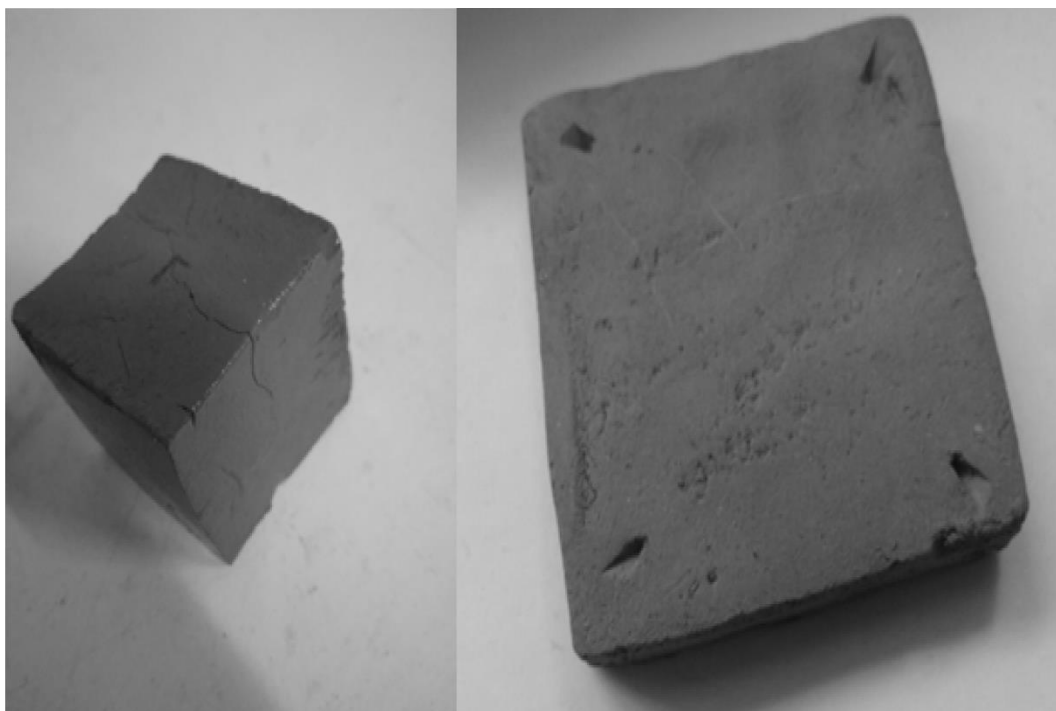


Рисунок 4.22 – Опытные образцы, полученные при обжиге шихты. Температура обжига 950°С

Глина очень чувствительна к сушке. Добавление сухого осадка снижает чувствительность глины к сушке, что приводит к сокращению времени данного процесса (сушка происходит быстрее).

Для дальнейшего исследования характеристик модифицированного кирпича следует провести еще ряд дополнительных испытаний. Результаты опытов проведенных в лаборатории строительных материалов ЮУрГУ подтвердились.

Таким образом, предложение использовать высушенные добавки осадков ОСВ г. Челябинска поможет решить ряд проблем:

- утилизировать осадки ОСВ и частично решить экологическую проблему ОСК г. Челябинск, куда перекачиваются осадки ОСВ в настоящее время;
- улучшить чувствительность шихты к сушке;
- снизить расход топлива при обжиге за счет сокращения времени сушки и понижения температуры обжига;
- улучшить теплоизоляционные свойства керамических изделий.

Возможно получение прибыли за счет реализации модифицирующей добавки строительной компании.

## **ГЛАВА 5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ ОСВ**

Изучая результаты экспериментов независимой лаборатории предприятия ООО «Кемма» по введению выгорающей добавки, можно говорить о перспективах дальнейшего сотрудничества с очистными сооружениями водоподготовки г. Челябинск. Однако практическая реализация проекта по утилизация осадков ОСВ еще далека. Для осуществления проекта необходима разработка предварительной технологической схемы обезвоживания и сушки осадка и экономического обоснования проекта.

Осадки ОСВ г. Челябинска на основании сделанных в работе опытов, можно отнести к нефилтруемым. Для повышения водоотдающей способности осадка необходимо применение механического обезвоживания с предварительной обработкой осадков. Метод замораживания-оттаивания показал себя наиболее эффективным, если рассматривать его со стороны снижения удельного сопротивления и водоотдачи осадка. Использование извести не дало столь положительных результатов, по сравнению с данным методом. Также в процессе исследований были выявлены отрицательные стороны применения сухой извести: эффект снижения удельного сопротивления фильтрации осадка после введения извести более выражен при длительном перемешивании (30 минут) и высокой дозе извести (30–40%). Данное заключение говорит нам о неэкономичности и нецелесообразности использования данного метода.

Рисунки 4.19 и 4.20 наглядно отображают значимые изменения осадка при применении метода замораживания-оттаивания на всех изучаемых блоках очистки ОСВ г. Челябинска.

Удельное сопротивление фильтрации после промораживания осадка снизилось в 70-75 раз, а влажность снизилась на 25-44% по сравнению с исходными значениями осадка. Данный метод кондиционирования осадка является энергозатратным.

В свою очередь, технологическое оснащение данного метода выглядит также довольно затратным. Это дорогостоящие льдогенераторы и отчуждение земель площадки ОСВ.

Минимальная партия производства керамического кирпича по данным ООО «Кемма» составляет 30 тысяч кирпичей. Каждый кирпич-сырец (18% влажности) весит 3,5 килограмма. Минимальная партия шихты с добавкой осадка будет составлять 105000 килограмм. С учетом вводимой добавки, для партии кирпичей потребуется (при введении добавки 7,5% от массы шихты) 7875 кг. При среднем значении массы сухого вещества 30 г/л (30 кг/м<sup>3</sup>) потребуется обработать 263 м<sup>3</sup>.

Для обезвоживания осадка на территории ОСВ г. Челябинск необходимы следующие сооружения: резервуары для накопления осадка, льдогенераторы, емкости для замороженного осадка, камерные фильтр-прессы, резервуар для обезвоженного осадка, барабанные сушилки, бункер под сухой осадок.

Выбор резервуара для накопления осадка зависит от продолжительности сброса осадка из отстойников.. Сброс осадка из отстойников происходит неравномерно в течение суток. Для обеспечения бесперебойной работы холодильных аппаратов требуется, чтобы подача осадка происходила постоянно. Оптимальнее всего использовать большие накопительные емкости, так как льдогенераторы работают не так быстро и увеличение количества аппаратов очень затратно. Для изготовления минимальной партии кирпича потребуется обработать 263 м<sup>3</sup> осадка. Исходя из этого, потребуется 3 емкости по 100 м<sup>3</sup>.

При искусственном замораживании осадков оптимальные значения удельного теплового потока составляют 230-700 Вт/м<sup>2</sup>. Серийно льдогенераторы для обработки осадков не выпускаются. Расход электроэнергии на 1 м<sup>3</sup> осадка около 50 кВт (13,15 МВт для минимальной партии кирпича).

Определим габариты и количество барабанных льдогенераторов горизонтального типа для заморозки осадка в оптимальном количестве переработки одним аппаратом 2500 кг/сут. Воспользуемся расчетом аппаратов заморозки из учебного пособия [31]. Исходные данные для расчета:

$\delta_n = 0,8$  мм – толщина замораживающегося слоя;

$V_{\text{л}} = 2500$  кг/сут – объем заморозки осадка одного льдогенератора;

$n = 0,02$  с<sup>-1</sup> – частота вращения барабана;

$\gamma_{\text{л}} = 917$  кг/м<sup>3</sup> – плотность замороженного осадка.

Требуемая поверхность льдогенератора вычисляется по формуле 7.

$$S = \frac{V_{\text{л}}}{24 \cdot n \cdot \delta_n \cdot \gamma_{\text{л}} \cdot 3600} \quad (7)$$

$$S = \frac{2500}{24 \cdot 0,02 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 917 \cdot 3600} = 1,97 \text{ м}^2$$

Принимаем льдогенератор диаметром  $d=0,7$  м и длиной  $L=0,9$  м. Тогда рабочая поверхность льдогенератора будет равна:

$$S = \pi \cdot d \cdot L = 3,14 \cdot 0,7 \cdot 0,9 = 1,98 \text{ м}^2 \quad (8)$$

Вычислим по формуле 9 требуемое количество льдогенераторов с учетом 14 дневной (10 рабочих дней) переработки требуемого осадка в три смены.

$$N = \frac{V_{\text{осадка}}}{n_{\text{д}} \cdot V_{\text{л}}} \quad (9)$$

$$N = \frac{263}{10 \cdot 2,5} = 10,52 \text{ шт}$$

Принимаем с учетом запасных льдогенераторов 13 штук (11 рабочих, 2 запасных). По техническим данным, продолжительность оттаивания осадка у данных аппаратов составляет 419,6 секунд (7 минут), что довольно быстро.

За сутки 11 рабочих льдогенераторов смогут переработать 27,5 м<sup>3</sup> осадка. После промораживания осадок поступает в резервуар типа «отстойник» с дренажем для откачки отстоявшегося осадка. Время оседания осадка невелико, но из-за малого объема промораживания, следует накапливать осадок в течение двух суток, для дальнейшей обработки осадка на камерных фильтр-прессах. При этом из замороженной субстанции удаляется порядка 50% фильтрата. Фильтрат

перекачивается в канализацию после удаления осадка. За два дня в резервуаре отстойнике накопится  $27,5 \text{ м}^3$ . Это позволит работать камерному фильтр-прессу бесперебойно в течении 12 часов. Далее с помощью дренажных насосов осадок поступает на установки фильтр-пресса. Производительность фильтр-пресса по сухому веществу осадка составляет порядка  $40\text{-}50 \text{ кг/м}^2$  в час. Пользуясь учебным пособием [31], подбираем 2 (1 рабочий, 1 запасной) фильтр-пресс ФПАКМ-50У. В случае аварии предусмотрен второй фильтр-пресс. Фильтрат из фильтр-пресса удаляется в канализацию. Обезвоженный осадок с влажностью около 60-65% поступает в бункер предназначенный для кека с помощью транспортерной ленты. Полагаясь на данные расчетов методического пособия, упомянутого выше, из  $27,5 \text{ м}^3$  в бункер поступит 20% от данного объема, что составляет  $5,5 \text{ м}^3$ . Выбираем бункер объемом  $7 \text{ м}^3$ . Подача кека из бункера в барабанную сушилку осуществляется с помощью транспортерной ленты.

Подбираем барабанную сушилку для сушки кондиционированного и механически обезвоженного осадка. Главным условием работы сушилки является влажность осадка менее 80%, что в данном случае соблюдено. Количество осадка поступающего на сушку составляет  $V_{\text{обезв}}=5,5 \text{ м}^3$  и приблизительно равным  $5,5$  тоннам. Учитывая работу аппарата 12 часов в сутки, требуется перерабатывать  $458,4 \text{ кг/ч}$ . Влажность осадка поступающего на сушку примем  $W_{\text{исх}} = 60\%$ . Для готового материала добавки требуется получить сухой осадок влажность  $W_{\text{сух}}=25\%$ . Температура сушильного агента (дымовых газов) на входе в сушилку  $T_1 = 800 \text{ }^\circ\text{C}$ , на выходе из сушилки  $T_2=250 \text{ }^\circ\text{C}$ . Температура осадка после сушильного барабана составляет  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ . Напряжение барабана по влаге  $A_u = 60 \text{ кг исп вл./м}^3\cdot\text{ч}$ .

Количество испаряемой влаги в процессе сушки определяется по формуле 10.

$$G_w = V_{\text{обезв.}} \cdot \frac{W_{\text{исх.}} - W_{\text{сух.}}}{100 - W_{\text{исх.}}} \quad (10)$$

$$G_w = 458,4 \cdot \frac{60 - 25}{100 - 60} = 401,1 \text{ кг/ч}$$

Требуемый объем сушильного барабана вычисляется по формуле 11.

$$V = \frac{1,2 \cdot G_w}{A_u} \quad (11)$$

$$V = \frac{1,2 \cdot 401,1}{60} = 8 \text{ м}^3,$$

где 1,2 – коэффициент учитывающий заполнение барабана сушилки.

Подбираем барабанную сушилку диаметром 1,6 метров и длиной 8 метров, с объемом сушильного барабана 16 м<sup>3</sup>. Скорость движения барабана составит 1,6-3,13 об/мин, мощность электродвигателя 7-10 кВт, вес барабана 16,18 тонн. Для снижения затрат по сушке осадка, целесообразно увеличить объем осадка подлежащего сушке в два раза. При этом загрузка барабана сушильного аппарата будет полноценной. Накопление в резервуар составит 11 м<sup>3</sup>. В таком случае потребуется бункер после фильтр-пресса объемом 15 м<sup>3</sup>.

После сушильного аппарата, сухой осадок удаляется из камеры и попадает в бункер хранения осадка. Здесь он копится до достижения необходимого количества для минимальной партии производства кирпича. Осадок следует беречь от влаги и атмосферных осадков.

По достижению требуемого количества, осадок транспортируют на производственную площадку предприятия ООО «Кемма». На рисунке 5.23 представлен наглядный производственный график процессов.



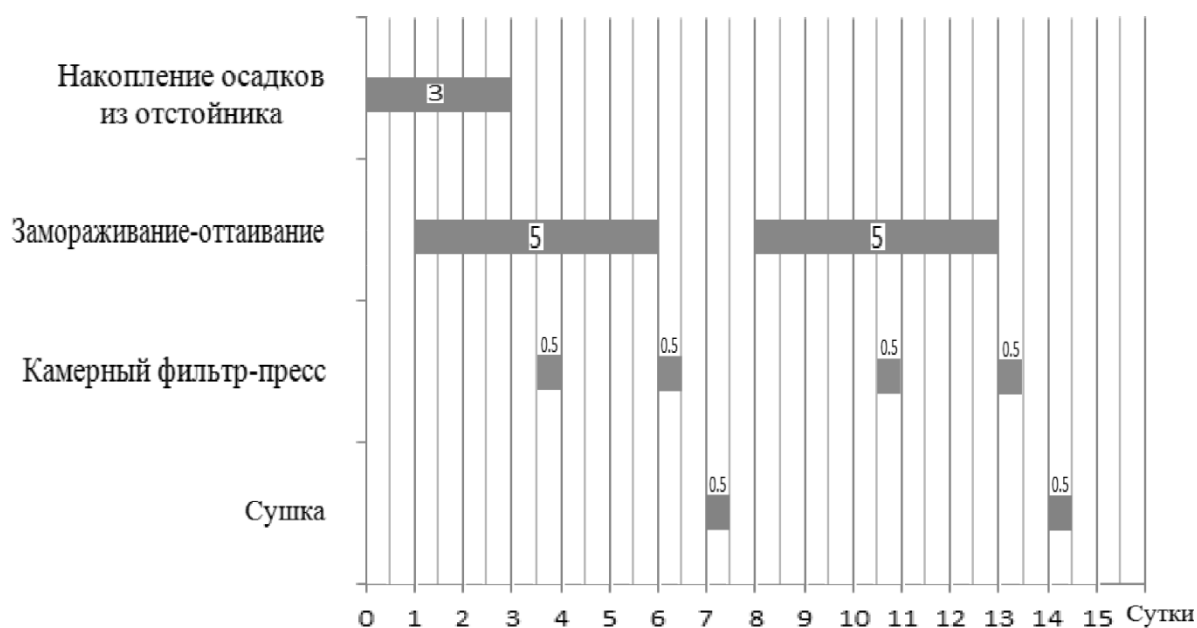


Рисунок 5.23 – Технологический процесс обработки сырья (осадка) необходимого для изготовления минимальной партии кирпичей

Согласно производственному графику, накопление осадка происходит в течение трёх дней. Параллельно, через день начинается процесс замораживания-оттаивания. Спустя двое суток накопившийся осадок после замораживания поступает на вакуум фильтр, где в течение смены (12 часов) проходит обезвоживание. Но данного осадка мало для загрузки в барабанную сушилку, что заставляет дожидаться второй партии отфильтрованного осадка. После чего осадок сушится и скапливается в приемном бункере, откуда в дальнейшем будет увезен на производство.

Всего данные процессы занимают:

- Накопление осадка – 3 суток;
- Замораживание - оттаивание – 10 рабочих суток (2 недели по 5 дней);
- Вакуум фильтрование – 4 смены по 12 часов;
- Сушка осадка – 2 смены по 12 часов.

Принципиальная схема обезвоживания осадка отображена в ПРИЛОЖЕНИИ А.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система канализации г. Челябинск имеет дополнительную нагрузку от сброса осадков ОСВ. В то же время, в научной литературе предлагается использовать осадки ОСВ как добавку при изготовлении строительных материалов, смесей и т.д. Для исследования перспективности осадка в строительной отрасли было изучено влияние периода отбора осадка на его состав и водоотдающую способность.

Рассмотрена возможность добавления осадка ОСВ в состав глиняной шихты для изготовления керамического кирпича. Влажность глиняной шихты строго лимитирована (18 %), поэтому требуется предварительное обезвоживание и высушивание осадка.

Проведено сравнение следующих методов повышения водоотдающей способности осадков: замораживание – оттаивание и известкование сухой и обожженной известью, а также известковым молоком. В ходе проведения опытов была выявлена экономически целесообразная и эффективная дозировка извести – 30%, подобрано оптимальное время перемешивания – 30 минут. Однако, дальнейшее исследование свойств керамического черепка показало, что наиболее подходящий методом кондиционирования осадка замораживание – оттаивание.

Была предложена принципиальная схема переработки осадков ОСВ с применением льдогенераторов, подобрано технологическое оборудование, составлен график производственного процесса.

Предложенное решение позволяет не только уменьшить гидравлическую нагрузку на ОСК г. Челябинска, но и получить из осадков ОСВ добавку для изготовления керамического кирпича. Выявлены следующие преимущества при использовании модифицирующей добавки:

- снижение расхода топлива при обжиге керамических изделий за счет уменьшения температуры обжига;
- сокращение времени сушки изделий;

- уменьшение чувствительности глины к сушке, повышение пластичности глиняной шихты;
- улучшение теплоизоляционных свойств керамического кирпича за счет образования пор при выгорании добавки.

По материалам исследования опубликована статья в сборнике международной научно–практической конференции:

Орлов, А.А. Перспективы использования осадка станций водоподготовки в производстве керамического кирпича / А.А. Орлов, М.Ю. Белканова, В.А Тонков, Р.К. Лымарь // Водные ресурсы – основа устойчивого развития поселений Сибири и Арктики в XXI веке. Сборник докладов XXI Международной научно–практической конференции. – Тюмень: ТИУ, 2019. С. 223 – 228.

Также по материалам исследования была выполнена работа «Использование осадков очистных сооружений водопровода для получения «Экокирпича» с улучшенными характеристиками» для участия в VII Выставке научно–технических и творческих работ студентов ЮУрГУ.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Любарский, В.М. Осадки природных вод и методы их обработки / В.М. Любарский. – М.: Стройиздат. – 1980. – 129 с.
2. Шевченко, Л.Я. Предотвращение загрязнений поверхностных водоисточников отходами водопроводных станций/ Л.Я. Шевченко // J. Environ. Engineering and Landscape Management.– 2005. – № 2. – Р. 97а – 102а.
3. Янин, Е.П. Осадок водопроводных станций (состав, обработка, утилизация) / Е.П. Янин // Экологическая экспертиза. – 2010. – № 5. – С. 3–45.
4. Новиков, М.Г. Рециркуляция осадка – метод повышения эффективности работы водоочистных сооружений / М.Г. Новиков // Современные технологии и оборудование для обработки воды на водоочистных станциях. – М.: НИИКВОВ, – 1997. – С. 47 – 50.
5. Пахомов, А.Н. Исследование и практическая реализация процесса обезвоживания осадков водопроводных станций / А.Н. Пахомов, В.Н. Штопоров, Д.А. Данилович и др // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. № 12. С. 25 – 31.
6. Агро XXI: Мерзлая, Г. Е. Применение осадков водопроводных станций на удобрение [Электронный ресурс] / Г. Е. Мерзлая, Р. А. Афанасьев // Агро XXI. – 2009.– №3.–Всероссийский НИИ удобрений и агропочвоведения им. Д. Н. Прянишникова. Режим доступа: <http://www.agroxxi.ru/docs/051999/051999008.htm>, свободный.– Загл. с экрана.
7. Лазарев, В.В. Обезвоживание и утилизация водопроводного осадка на водоочистных станциях Молдовы / В.В. Лазарев.– Кишинев: МолНИИТЭИ. – 1992. – 45 с.
8. Орлов, А.А. Перспективы использования осадка станций водоподготовки в производстве керамического кирпича / А.А. Орлов, М.Ю. Белканова, В.А. Тонков, Р.К. Лымарь // Водные ресурсы – основа устойчивого развития поселений

Сибири и Арктики в XXI веке. Сборник докладов XXI Международной научно-практической конференции. – Тюмень: ТИУ, 2019. С. 223 – 228.

9. Monteiro S.N., Alexandre J., Margem J.I., Sa´nchez R. Incorporation of sludge waste from water treatment plant into red ceramic. *Construction and Building Materials*. – 2008. – № 22. – Pp. 1281–1287.

10. Chianga K.–Y., Choua P.–H., Huaa C.–R., Chiena K.–L., Cheeseman C. Lightweight bricks manufactured from water treatment sludge and rice husks. *Journal of Hazardous Materials*. – 2009. – № 171. – Pp. 76–82.

11. Gomes S. De Carvalho, Zhou J.L., Li W., Long G. Progress in manufacture and properties of construction materials incorporating water treatment sludge. *Resources, Conservation & Recycling*. – 2019. – № 145. – Pp. 148–159.

12. Teixeira S.R., Santos G.T.A., Souza A.E., Alessio P., Souza S.A, Souza N.R. The effect of incorporation of a Brazilian water treatment plant sludge on the properties of ceramic materials. *Applied Clay Science*. – 2011. – № 53. – Pp. 561–565.

13. Kizinievic O., Zurauskiene R., Kizinievic V., Zurauskas R. Utilisation of sludge waste from water treatment for ceramic products. *Construction and Building Materials*. – 2013. – № 41. – Pp. 464–473.

14. Rodrigues L. P., Holanda J. N. F. Valorization of municipal waterworks sludge to produce ceramic floor tiles. *Journal Recycling*. – 2018. – № 3. doi:10.3390.

15. Запольский, А.К. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение / А.К. Запольский, А.А. Баран Л.: Химия, 1987. – 208 с.

16. Аксенов, В.И. Применение флокулянтов в системах водного хозяйства: учеб. пособие / В.И. Аксенов, Ю.В. Аникин, Ю.А. Галкин, И.И. Ничкова, Л.И. Ушакова, Н.С. Царев. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2008. – 92 с.

17. Кривошеин, Д.А. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков: Учеб. пособие/Д.А. Кривошеин, П.П. Кукин, В.Л. Лапин. – М.: Высшая школа, 2003. – 344 с.

18. Очков, В.Ф. Вода и магнит / В.Ф. Очков // Водоочистка, Водоподготовка, Водоснабжение. – 2011. – № 10. – С. 36 – 48.
19. Долин, П.И. Радиационная очистка воды / П. И. Долин, В. Н. Шубин, С. А. Брусенцева. – Москва: Наука, 1973. – 151 с.
20. Семенюк, В.Д. Складирование отходов химических производств / В. Д. Семенюк, В. П. Батюк, Н. П. Стасюк, В. Н. Евстратов. – М. : Химия, 1983. – 120 с.
21. Современные технологии очистки производственных сточных вод, обработки и утилизации осадка [Электронный ресурс] : учебно–методическое пособие для практических занятий [для студентов профиля подготовки 270800.68.00.01 «Водоотведение и очистка сточных вод»] / Сиб. федерал. ун–т ; сост. Т. И. Халтурина. – Электрон. текстовые дан. (PDF, 5,7 Мб). – Красноярск: СФУ, 2013. – 95 с.
22. Белканова, М.Ю. Исследование свойств осадков очистных сооружений водопровода и методов их кондиционирования: выпускная квалификационная работа магистра кафедры градостроительство, инженерные сети и системы: 08.04.01 / ЮУрГУ – Челябинск, 2017. – 97 с.
23. Кольчугин, Б.М. Совместная очистка сточных вод и утилизация водопроводного осадка / Б.М. Кольчугин. – М., 1987. – 158 с.
24. Анализ сточных вод и реагентов / ред. Г.А. Абрамович. – Челябинск: Южно–Уральское книжное издательство (по зак. УралНИИСтромпроекта), 1966. – 184 с.
25. Martel C. J., Affleck R., Yushak M. Operational parameters for mechanical freezing of alum sludge. Water Research. – 1998. – Volume 32. – № 9. – Pp. 2646–2654.
26. Туровский, И.С. Обработка осадка сточных вод / И.С. Туровский. – М.:Стройиздат, 1982. – 223 с.
27. Горбунов, С.П. Применение ЭВМ в решении рецептурно–технологических задач: учебное пособие для самостоятельной работы студентов /С.П. Горбунов.– Челябинск: Изд–во ЮУрГУ, 2007 – 72 с.

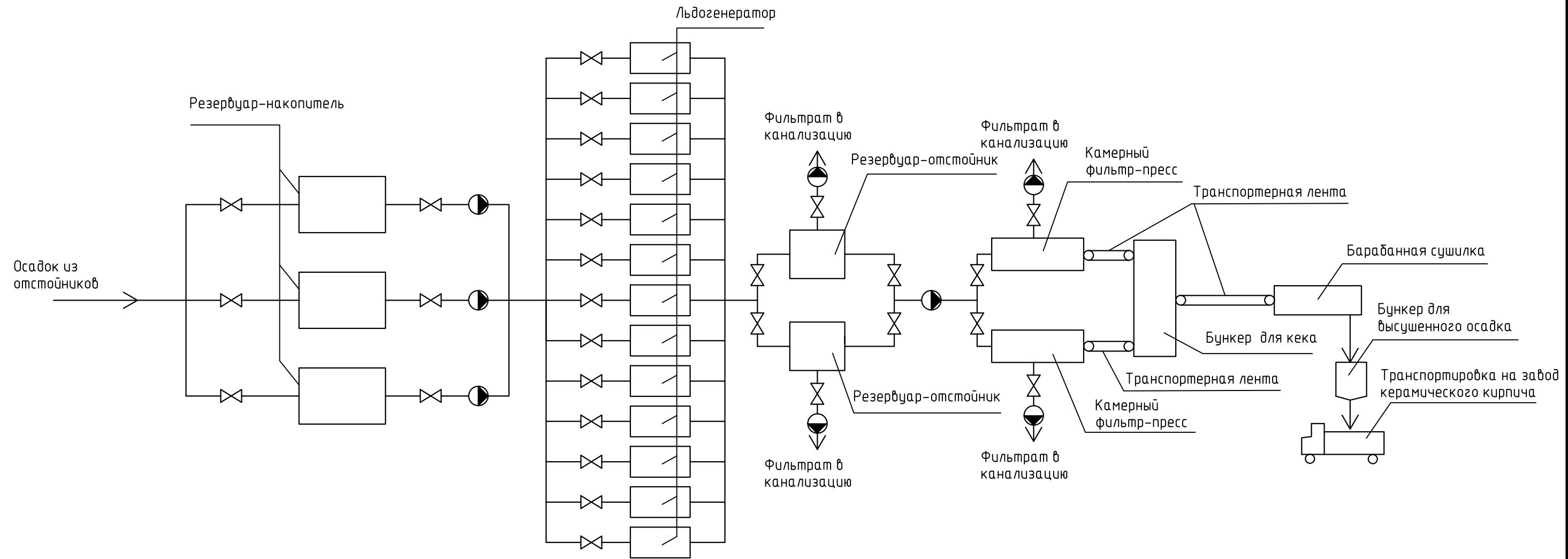
28. Николаенко, Е.В. Осадки природных вод. Характеристика и методы обработки / Е.В. Николаенко, В.И. Аксенов. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2015. – 80 с.

29. Verrelli, D.I. Drinking water treatment sludge production and dewaterability. PhD thesis, Faculty of Engineering, Chemical and Biomolecular Engineering, The University of Melbourne, 2008. – 1031 p.

30. Гевель, Д. А. Повышение водоотдающей способности осадкой природных вод: выпускная квалификационная работа магистра кафедры градостроительство, инженерные сети и системы: 08.04.01 / ЮУрГУ – Челябинск, 2018. – 94 с.

31. Алексеев, В. И. Проектирование сооружений переработки и утилизации осадков сточных вод с использованием элементов компьютерных информационных технологий: Учеб. пособие для вузов по специальности "Водоснабжение и водоотведение" / В. И. Алексеев, Е. А. Винокурова, Е. А. Пугачев. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2003. – 173 с.

## ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОСАДКА



### ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ СОСТАВ ОБОРУДОВАНИЯ

№	Наименование	Кол.	Примечание
1	Резервуар накопитель	3	Объем 100 куб. м.
2	Льдогенератор	13	Производительность 2500 кг/сут.
3	Резервуар-отстойник	2	Объем 30 куб. м.
4	Транспортерная лента	3	Для подачи осадка в бункер и сушилку
5	Камерный фильтр-пресс	2	Производительность по сух. вещ. осадка 40-50 кг/кв. м.
6	Бункер для кека	1	Объем 15 куб. м.
7	Барабанная сушилка	1	Объем сушильного барабана 16 куб. м.
8	Бункер для высушенного осадка	1	Объем 25 куб. м.

ЮУрГУ-08.04.01.2020.305-04.035 ПЗ ВКР					
Осадки очистных сооружений водопровода как модифицирующая добавка в производстве керамического кирпича					
Изм.	Кол. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Зав. кафедры	Ульрих				
Руководитель	Белканова				
Разработал	Тонков				
Проверил	Белканова				
Н.Контр.	Николаенко				
ПРИЛОЖЕНИЕ А				Стадия	Лист
Рекомендации по технологии обработки осадков ОСВ				ВКР	84
ЮУрГУ (НИУ) Кафедра ГИСС				Листов	84