

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
Рецензент

_____ 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

Д.В. Ульрих

_____ 2019 г.

Исследование направлений интенсификации обезвреживания
сточных вод прачечных

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ МАГИСТРА
ЮУрГУ–08.04.01.2019.305-04.227 ПЗ ВКР

Руководитель ВКР
магистра

И.А. Арканова

_____ 2019 г.

Автор проекта
студент группы АС-227

М.В. Мачинский

_____ 2019 г.

Нормоконтролер

Е.В. Николаенко

_____ 2019 г.

Челябинск
2019

РЕФЕРАТ

Мачинский М.В., Исследование направлений интенсификации обезвреживания сточных вод прачечных – Челябинск: ЮУрГУ, АС-227, 2019. – 74 с., 13 ил., 20 табл., библиогр. список – 45 наим.

Прачечные предприятия, сточные воды, сорбция, модификация сорбентов, модификация серной кислотой, интенсификация.

Цель работы – разработка современной технологии очистки и обезвреживания сточных вод прачечных производств с целью повторного использования очищенной воды.

В первом разделе рассмотрены основные характеристики сточных вод прачечных предприятий. Выявлены особенности состава данного стока. Рассмотрены основные экологические и экономические проблемы в области очистки сточных вод прачечных предприятий.

Второй раздел посвящен анализу современных механических, физико-химических и биологических технологий очистки стоков прачечных. Сделаны выводы об эффективности использования данных методов. Выбран наиболее перспективный метод очистки и поставлены задачи исследования.

В третьем разделе представлены результаты исследований технологии обезвреживания стока прачечных. Установлены основные характеристики предложенного метода обезвреживания. Представлены результаты проведенных опытов на модельном растворе и натурном стоке. Сделаны выводы об эффективности использования данной технологии.

В четвертом разделе даны краткие рекомендации по разработке технологической схемы очистки сточных вод прачечных предприятий. Представлены основные экономические характеристики предложенного метода.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	10
1.1 Характеристика сточных вод прачечных предприятий.....	10
1.2 Состав сточных вод прачечных предприятий.....	11
1.3 Основные требования к очищенным сточным водам	14
1.4 Существующие экологические проблемы очистки сточных вод прачечных предприятий	18
1.5 Существующие экономические проблемы очистки сточных вод прачечных предприятий	21
1.6 Выводы.....	26
2 СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРАЧЕЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	27
2.1 Механические методы	27
2.2 Физико-химические методы	29
2.3 Биологические методы	33
2.4 Комбинированные методы.....	36
2.5 Выводы.....	36
3 ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРАЧЕЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ АКТИВНЫМИ УГЛЯМИ.....	37
3.1 Теоретическая часть	37
3.2 Объекты исследования	39
3.3 Методы исследования.....	42
3.4 Экспериментальная часть	47
3.5 Выводы.....	61
4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРАЧЕЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ...	63
4.1 Исходные данные	63
4.2 Расчет основных узлов	64
4.3 Экономическая характеристика	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	70
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	72

ВВЕДЕНИЕ

Прачечное производство имеет большое социально-экономическое значение. По масштабам оно соизмеримо со многими промышленными производствами. Например, объем услуг прачечных только в Москве составляет около 200 тонн белья в сутки. Оно направлено на обеспечение санитарно-гигиенических условий и здоровья человека. Потребители услуг прачечного производства (гостиницы, больницы, учреждения отдыха, транспорта, общественного питания и индивидуальные потребители) предъявляют в настоящее время достаточно жесткие требования к качеству услуг, в первую очередь, к санитарно-гигиеническим требованиям, качеству стирки, стоимости и доступности.

В настоящее время постоянно возрастает стоимость питьевой воды, используемой в стирке, что обусловлено ростом энергетических затрат на водоподготовку и транспортировку воды, а также на очистку сточных вод перед сбросом в водоемы. Ресурсосбережение позволяет сократить производственные расходы, в том числе стоимость. Вместе с тем, экологические аспекты прачечного производства продолжают оставаться малоизученными. Чтобы предотвратить загрязнение водоемов синтетическими поверхностно-активными веществами (ПАВ), фосфатами и удаленными из одежды загрязнениями, сбросы прачечных производств необходимо очищать. В России и за рубежом этим проблемам уделяется большое внимание.

Особенность сточных вод прачечных состоит в том, что они содержат ксенобиотики, ПАВ, а также фосфаты и биогенные органические вещества. В результате этого в загрязненных ими водоемах интенсивно развивается специфическая микрофлора, сине-зеленые водоросли, которые подавляют жизнедеятельность высших организмов. Организация локальной очистки сточных вод позволяет решить проблему загрязнения водоемов и сократить расходы предприятия.

Для снижения водопотребления используют различные технологии, например, на основе организации противотока. Однако они не в полном объеме решают проблему сброса загрязняющих веществ, ПАВ, и минеральных веществ. Проблема сокращения водопотребления и снижения уровня химического загрязнения и обеззараживания сточных вод прачечных в настоящее время остается актуальной.

В наше время, вопросы дефицита чистой питьевой воды крайне актуальны. Любые возможности предотвращения загрязнений воды должны быть всегда в приоритете.

При проектировании и строительстве гостиниц, комплексов оздоровительных объектов и прачечных требуется устройство современных локальных очистных установок, способных наиболее экономично обезвреживать стоки данного типа.

Новизна работы заключается в разработке технологических решений, позволяющих провести интенсификацию современных локальных очистных сооружений прачечных предприятий.

Целью работы является анализ современного состояния в области очистки сточных вод прачечных, а также современных технологий очистки данных вод. Изучение состава стока прачечных и комбинатов бытового обслуживания различной категории. Разработка современной технологии очистки и обезвреживания сточных вод прачечных производств с целью повторного использования очищенной воды.

Основные задачи работы:

- 1) Определение существующих экологических и экономических проблем в области очистки сточных вод прачечных предприятий;
- 2) Анализ состава и характеристик сточных вод прачечных предприятий, а также основных методов их очистки;
- 3) Разработка современной технологии очистки сточных вод прачечных предприятий от ПАВ на основе исследований на модельных и натуральных стоках, расчет ее основных характеристик;
- 4) Подготовка исходных данных, необходимых для разработки локальных очистных сооружений при реконструкции и новом строительстве объектов, включающих в свой состав прачечные производства.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Характеристика сточных вод прачечных предприятий

Предприятия жилищно-коммунального хозяйства - основной потребитель воды питьевого качества и источник загрязнения сточных вод, поступающих в водоемы. На их долю приходится половина сброса загрязненных сточных и более трети объема сброса нормативно-очищенных сточных вод. Из всего объема сточных вод, поступающих через коммунальные сети (13,7 млрд. м³/год), более 90% сбрасываются загрязненными [1,2,3]. Количество загрязняющих веществ в хозяйственно-бытовых стоках и водопотребление в расчете на 1 жителя относительно стабильно, что позволило оценить состав коммунально-бытовых стоков (таблица 1).

Таблица 1 – Состав коммунально-бытовых сточных вод

Загрязняющее вещество	Количество, г/чел в сутки	Концентрация в стоках, мг/л	ПДК, мг/л
Взвешенные вещества	65	163	0,25q/V
Азот аммонийный	8	2	1
Фосфаты:	3,3	8,25	3,5
в том числе от моющих средств	1,6	4	3,5
Поверхностно-активные вещества (ПАВ)	1,6	4	0,5
Хлориды	9	22,5	350
ХПК в осветленной жидкости	40	100	3

Среднее водопотребление составляет 250 л/сут. чел., в то время как на удовлетворение биологических потребностей достаточно 2-3 л/сут. чел. Большая часть воды расходуется на санитарно-гигиенические потребности, в том числе на стирку белья и одежды. Расход воды на стирку, судя по составу сточных вод прачечных (ПАВ около 130 мг/л) и содержанию ПАВ в коммунально-бытовых стоках, составляет 10-15 л на человека в сутки, т.е. 2,5-4% от общего водопотребления. Тем не менее, высокая и постоянно возрастающая стоимость воды вносит существенный вклад в цену услуг коммунальных прачечных.

Вода, принимаемая на технологические нужды прачечных, должна соответствовать гигиеническим требованиям к качеству питьевой воды [4,5,6]. По данным ЦНИИБЫТ [7], укрупненная технологическая норма водоотведения в прачечных составляет 16-40 м³/т белья в зависимости от типа оборудования и регламента. Сброс сточных вод крупной механизированной прачечной может составлять до 1500 м³/сут., прачечной самообслуживания - от 4 до 6 м³/сут. Один литр сточных вод прачечных способен перевести в категорию загрязненной до 200 л воды.

Сточные воды прачечных характеризуются содержанием [7]:

1. ПАВ - до 288 мг/л (в среднем 130 мг/л);
2. взвешенных веществ - до 628 мг/л (в среднем 289 мг/л);
3. фосфатов - 143 мг/л;
4. жироподобных веществ - 399 мг/л;
5. химическое потребление кислорода (ХПК) - 1020 мг/л;
6. биоразлагаемых органических веществ (БПК) - 20-490 мг/л.

При этом БПК составляет лишь 48% от ХПК, в то время как для хозяйственно-бытовых стоков это отношение достигает 86% [7]. Т.е. стоки прачечных характеризуются устойчивостью органических веществ к биохимическому разложению и подавляют жизнедеятельность бактерий. Однако бактериальная заселенность стоков прачечных высока [8,9,10]. Ввиду высокой загрязненности, сбросы прачечных обуславливают экстремальное залповое загрязнение сточных вод, поступающих на сооружения биологической очистки и соответственно поверхностных вод, а, следовательно, наносят значительный экологический ущерб [2,11].

Таким образом, проблема сокращения водопотребления и очистки сточных вод предприятиями-прачечными актуальна как с экономической, так и с экологической точек зрения.

1.2 Состав сточных вод прачечных предприятий

Машинная стирка белья - сложный физико-химический процесс, при котором с изделий удаляются различные виды загрязнений моющими растворами при соответствующей температуре и механическом воздействии.

Сточные воды прачечных содержат загрязнения, удаляемые с тканей, и минеральные соли, содержащиеся в исходной водопроводной воде, а также моющие и отделочные средства, используемые в технологическом процессе.

Загрязняющие вещества делятся на растворимые (сахар, крахмал, мочеви́на, органические кислоты и соли, белковые вещества, неорганические соли) и нерастворимые в воде (волокна стираемых изделий, глина, цемент, штукатурка, сажа, смазочные масла, смолы, краски, жирные кислоты и т.д.).

В качестве моющих средств сегодня в прачечных используют либо жировое мыло (60 и 72% жирных кислот), либо синтетические моющие средства (СМС), основу которых составляют синтетические поверхностно-активные вещества (15-40%), как правило, анионоактивные и неионогенные ПАВ.

Кроме ПАВ в состав синтетических моющих средств, входят активные добавки, неорганические и органические вещества, усиливающие моющее действие.

К неорганическим добавкам относятся:

- сложные фосфаты (16—40%), как правило, триполифосфат натрия, который умягчает воду, образуя комплексные соединения с ионами щелочноземельных и тяжелых металлов, суспендирует загрязнения, благодаря чему они удерживаются в растворе и не оседают на ткань, регулирует водородный показатель среды (немного увеличивают щелочность раствора);

- карбонат натрия Na_2CO_3 (30%) создает щелочную среду, в моющих средствах применяется в сочетании с триполифосфатом натрия;

- силикаты натрия, соли кремневой кислоты общей формулы Na_2SiO_3 (5—10%), создают щелочную среду и служат ингибиторами коррозии, а также связывают ионы железа в воде, улучшают сыпучесть порошков;

- сульфат натрия (10—47%)- нейтральный наполнитель;

- натрийкарбоксиметилцеллюлоза (1-5%) повышает вязкость моющих растворов и препятствует осаждению загрязнений на ткань.

Для стирки изделий из хлопчатобумажных и льняных тканей наибольшее распространение получили стиральные порошки. Стиральный порошок для механизированных прачечных содержит ПАВ не менее 17%, силиката натрия не менее 2,5%, триполифосфата натрия около 16%, углекислого натрия не менее 20%, натрийкарбоксиметилцеллюлозу и оптический отбеливатель, влаги не более 10%. Однопроцентный водный раствор порошка имеет $\text{pH}=10—11,5$. Порошкообразные моющие средства для стирки шерстяных и шелковых тканей содержат в основном до 40% ПАВ, до 10% конденсированных фосфатов и до 47% сульфата натрия. Применяются смеси ПАВ, но обычно в них содержится до 50% алкилсульфатов [12].

Кроме моющих средств в основном для стирки изделий из хлопчатобумажных и льняных тканей белого цвета, применяют дополнительные отбеливающие и подсинивающие средства, а также отделочный материал.

В качестве отбеливающих средств используют перекись водорода (пергидроль), перборат и гипохлорит натрия, для подсинивания белья - ультрамарин сухой синий или жидкую синьку. Для улучшения внешнего вида выстиранных изделий и повышения срока их службы используют картофельный или кукурузный крахмал, натрийкарбоксиметилцеллюлозу или поливиниловый спирт [13].

Таким образом, сточная вода, образующаяся в технологическом процессе прачечной, представляет собой сложную полидисперсную гетерогенную систему. Дисперсная фаза представлена эмульсиями и суспензиями; дисперсионной средой служит вода с растворенными органическими и минеральными веществами.

Замена жирового мыла на синтетические моющие средства в технологии прачечного хозяйства привела к появлению в сточных водах нового устойчивого вида загрязнений - ПАВ, усложнивших состав сточных вод и создавших дополнительные трудности их биохимической очистки. Кроме того, концентрация загрязнений в сточных водах прачечных увеличилась вследствие снижения нормы расхода воды на обработку одной тонны белья, связанной с введением новой технологии обработки белья и использованием противотока, т.е. с устранением непроизводительных затрат воды [14].

Таблица 2 – Характеристика общего стока механизированной прачечной

Показатели загрязняющих веществ	Концентрация загрязнений		ПДК для сброса в коллектор
	Среднее значение	Предельное значение	
рН	8,5	8,25-9,82	6,5-8,5
Температура, °С	25	15-40	30
Взвешенные вещества, мг/л	290	200-464	500
Плотный остаток, мг/л	1384	1022-1678	1000
ХПК	1020	750-1450	До 800
БПК ₅ /БПК ₂₀	334/490	270/750	500
Жиры, мг/л	256	223-299	20
Хлориды, мг/л	50-60	80-100	350
ПАВ, мг/л	130	92-200	2,5
Сульфаты, мг/л	150	200-210	500

Продолжение таблицы 2

Показатели загрязняющих веществ	Концентрация загрязнений		ПДК для сброса в коллектор
	Среднее значение	Предельное значение	
Фосфаты, мг/л	143	90-192	3,5
Нефтепродукты, мг/л	20	25-30	4,0

Средняя концентрация сточных вод довольно значительна. Количество органических загрязнений превосходит в 2—3 раза количество органических загрязнений нормальных городских сточных вод. При стерилизации паром неосветленных сточных вод процесс гниения не наступает, но если нейтрализовать щелочность и сделать затравку пробы загнивающей бытовой сточной водой, то через короткий промежуток времени начинается сильное гниение, которое продолжается с неослабевающей силой примерно 4 недели и затем медленно затухает.

Благодаря содержанию синтетических моющих средств, а иногда при смешивании с городскими стоками эти сточные воды обнаруживают ярко выраженную склонность к образованию пены. Синтетические моющие средства, примененные в большом количестве, мешают работе отстойников и могут затруднять эксплуатацию городских очистных сооружений, снижая эффект очистки.

По степени загрязненности сточные воды прачечной, образующиеся на 100 кг белья, эквивалентны хозяйственно-бытовым водам населенного пункта с 35 жителями.

Сточные воды прачечных ввиду их щелочной реакции и присутствия органических загрязнений, а также мутности отрицательно влияют на жизнь водоемов.

1.3 Основные требования к очищенным сточным водам

В настоящее время перечень веществ, имеющих ограничение концентрации при сбросе в водоем, насчитывает более 1300 наименований. Предъявляются требования к удалению биогенных элементов, главным образом азота и фосфора. Основными документами, определяющими требования к качественному и количественному составу очищенных вод, являются:

- 1) Федеральный закон от 07.12.2011 N 416-ФЗ (ред. от 25.12.2018) "О водоснабжении и водоотведении";

2) Постановление Правительства РФ от 29.07.2013 N 644 (ред. от 26.07.2018) "Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации";

3) СанПиН 4630-88 "Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнений";

4) СанПиН 2.1.5.980-00 "Гигиенические требования к охране поверхностных вод";

5) "Правила приема производственных сточных вод в системы канализации населенных пунктов".

Основной задачей мониторинга состояния стоков является недопущение загрязнения поверхностных вод. Требования СанПиН в этом вопросе ставят достаточно жесткие условия по содержанию вредных примесей в стоках, сброс которых производится в водоемы.

Основными характеристиками стока являются:

1) Количество взвешенных и плавающих примесей.

2) БПК сточных вод – характеристика определяющая количество кислорода, необходимого для биохимического окисления веществ органического происхождения, имеющихся в стоках. То есть, чем более загрязнены стоки, тем большим будет это значение.

3) ХПК сточных вод – определяет количество кислорода, необходимого для химического разложения органических примесей.

4) Содержание различных химических веществ, способных нанести вред как человеку, так и окружающей среды.

5) Кислотность стоков.

В таблице 3 представлены допустимые значения показателей по СанПиН 2.1.5.980-00, исходя из которых определяется, возможно ли осуществлять выпуск сточных вод в водоемы.

Таблица 3 - Допустимые значения показателей по СанПиН 2.1.5.980-00

Наименование показателя	Значение показателя
рН	6.5-8.5
Запах	Не более 2 баллов
Окраска	Отсутствие в столбике 20 см
Термотолерантные колиформные бактерии	Не более 100 КОЕ/100 мл
БПК5 при температуре 200С	Не более 2 мг О ₂ /л
ХПК	Не более 15 мг О ₂ /л
Минерализация общая	Не более 1000 мг/л

Продолжение таблицы 3

Наименование показателя	Значение показателя
Азот аммонийный	Не более 1,5 мг/л
Нитриты	Не более 3,3 мг/л
Остаточный свободный и связанный хлор	Отсутствие
Фосфаты	Не более 3,5 мг/л
Растворенный кислород	Не менее 4 мг O ₂ /л
Общие колиформные бактерии	Не более 1000 КОЕ/100 мл
Колифаги	Не более 10 БОЕ/100мл
Возбудители кишечных инфекций	Отсутствие
Плавающие примеси	Отсутствие пленок нефтепродуктов масел, жиров и прочих примесей
Нитраты	Не более 45 мг/л
ПАВ	Не более 0,5 мг/л

ПДК стоков - это установленный законодательно показатель, который характеризует максимально возможное содержание различных веществ в воде, атмосфере, почве.

Если в воде подобные показатели не превышены, то человек может применять ее без последствий на протяжении длительного времени.

Поэтому и были утверждены ПДК сброса сточных вод (таблица 4). Они были рассчитаны из условия безопасного сброса стоков.

Таблица 4 – Допустимые значения концентраций загрязняющих веществ в составе очищенных бытовых городских и близких к ним по составу производственных сточных вод

Эквивалент населения (масса органических веществ в составе сточных вод, поступающих на очистные сооружения)	Концентрация загрязняющих веществ		
	ХПК, мгO ₂ /л	БПК ₅ , мгO ₂ /л	взвешенные вещества, мг/л
До 500 человек (до 30 кг/сут)	125	25	30
501–2000 человек (от 30 до 120 кг/сут)	120	25	25
2001–10 000 человек (от 120 до 600 кг/сут)	100	20	25
10 001–100 000 человек (от 600 до 6000 кг/сут)	80	20	20
Более 100 001 человека (более 6000 кг/сут)	70	15	20

В сточных водах перед сбросом в канализацию должно контролироваться содержание множества веществ. Особое внимание должно уделяться содержанию тяжелых металлов в чистом виде, их солей. Именно такие вещества оказывают наиболее губительное воздействие.

Согласно действующим нормативным документам, кроме этого, нельзя сбрасывать в городскую канализационную систему сточные воды, которые содержат:

1) Вещества, разложение которых может вызвать образование взрывоопасных газов в системе канализации (оксид углерода, сероводород, различные цианиды и другие). Нормы ПДК в сточных водах не допускают нахождения подобных веществ в стоках.

2) Горючие вещества, в том числе и различные виды горюче-смазочных материалов, смол, нерастворимых жиров.

3) Вещества, обладающие радиоактивными свойствами.

4) Различные включения биологического характера, которые могут вызвать бактериальное загрязнение.

5) Химические элементы, которые будут оказывать разрушающее воздействие на материалы, которые применялись в строительстве канализационной системы.

6) Разного рода загрязнения, которые способствуют нарушению работы канализации и приводят к образованию засоров, отложений на стенках труб и коллекторов.

7) Вещества, которые трудно поддаются окислению биологическим способом.

8) Химические соединения, для которых не определены ПДК сточных вод, в канализацию сбрасывать также недопустимо. Исключение составляют вещества, для которых определены предельно допустимые концентрации содержания в водоемах, которые предназначены для бытового применения.

Предельно допустимые концентрации сточных вод измеряются в мг/литр, и составляют:

- Вещества во взвешенном состоянии — 500.
- БПК (полный) — 500.
- ХПК — 800.
- Остаток плотный — 2000, в том числе:
- Сульфаты — 500.
- Хлориды — 350.
- Вещества, из которых возможно извлечение эфира — 20.

Кроме того, сточные воды должны иметь температуру не более 40 градусов, нейтральную кислотность (6,5-8,5 рН).

Превышение ПДК сточных вод ведет к наложению на предприятие или частное лицо штрафных санкций [38].

1.4 Существующие экологические проблемы очистки сточных вод прачечных предприятий

Состояние окружающей среды напрямую зависит от степени очистки промышленных сточных вод близко расположенных предприятий. В последнее время экологические вопросы стоят очень остро. За 10 лет было разработано множество новых эффективных технологий очистки сточных вод промышленных предприятий.

Очистка производственных сточных вод разных объектов может происходить в одной системе. Представители предприятия могут договориться с коммунальными службами о сливе своих сточных вод в общую централизованную канализацию населенного пункта, где она расположено.

Что бы это стало возможно, предварительно проводят химический анализ стоков. Если они имеют допустимую степень загрязнения, то промышленные сточные воды будут сливаться совместно с бытовыми стоками. Возможна предочистка сточных вод предприятий специализированным оборудованием для ликвидации загрязнений определенной категории [11].

Очистка воды должна удалить негативные для окружающей среды вещества. Используемые технологии должны нейтрализовать и утилизировать компоненты. Как видно, методы очистки должны учитывать первоначальный состав стоков. Кроме токсичных веществ, следует контролировать жесткость воды, ее окисляемость и т.д.

Каждый вредный фактор имеет собственный набор характеристик. Иногда один показатель может говорить о существовании нескольких вредных факторов. Все вредные факторы разделяют по классам и группам, которые имеют свои методы очистки:

- 1) грубодисперсные взвешенные примеси (взвешенные примеси с фракцией свыше 0,5 мм) – просеивание, отстаивание, фильтрация;
- 2) грубодисперсные эмульгированные частицы – сепарация, фильтрация, флотация;
- 3) микрочастицы – фильтрация, коагуляция, флокуляция, напорная флотация;

- 4) стабильные эмульсии – тонкослойная седиментация, напорная флотация, электрофлотация;
- 5) коллоидные частицы – микрофльтрация, электрофлотация;
- 6) масла – сепарация, флотация, электрофлотация;
- 7) фенолы – биологическая очистка, озонирование, сорбция активированным углем, флотация, коагуляция;
- 8) органические примеси – биологическая очистка, озонирование, сорбция активированным углем;
- 9) тяжелые металлы – электрофлотация, отстаивание, электрокоагуляция, электродиализ, ультрафльтрация, ионный обмен;
- 10) цианиды – химическое окисление, электрофлотация, электрохимическое окисление;
- 11) четырехвалентный хром – химическое восстановление, электрофлотация, электрокоагуляция;
- 12) трехвалентный хром – электрофлотация, ионный обмен, осадений и фильтрация;
- 13) сульфаты – отстаивание с реагентами и последующей фильтрацией, обратный осмос;
- 14) хлориды – обратный осмос, вакуумное выпаривание, электродиализ;
- 15) соли – нанофльтрация, обратный осмос, электродиализ, вакуумное выпаривание;
- 16) ПАВ – сорбция активированным углем, флотация, озонирование, ультрафльтрация.

К примеру, увеличение солесодержания природных вод приводит к их деградации. Количество минеральных солей в водах постоянно растет. Огромный вклад в минерализацию воды осуществляет сброс промышленных стоков. В некоторых небольших реках вода уже не пресная, а соленая. Средняя минерализация рек составляет 2-3 г/л.

В настоящее время многие реки уже не могут быть использованы как источники водоснабжения. Постоянно растет уровень загрязнения поверхностных водных объектов. К основным нарушениям относятся неудовлетворительная эксплуатация и плохое состояние водоочистного оборудования, отсутствие разрешения на специальное водопользование, сброс сточных вод с превышением нормативных показателей.

По современным данным на территории России сложилась следующая картина загрязнения поверхностных водных объектов: количество условно чистых водоемов (фоновых) составляет 12% от обследованных водных объектов,

количество умеренно загрязненных - 32%, остальные 56% - загрязненные водные объекты [20].

Повсеместное применение в качестве моющих средств синтетических поверхностно - активных веществ (ПАВ), привело к интенсивному загрязнению поверхностных водоёмов трудно разлагаемыми токсичными соединениями, которые оказывают отрицательное действие на населяющие водоёмы флору и фауну.

Накапливаясь в водоёмах ПАВ ухудшают органолептические показатели воды, а также препятствуют процессам самоочищения водоёмов. Специфические свойства ПАВ вызывают большие затруднения при очистке сточных вод биохимическим путём, так, например, пенообразующая способность ПАВ (в водопроводной воде) сохраняется не менее двух суток (при концентрациях близких к пороговым).

Даже присутствие в воде небольших концентраций ПАВ (0,8 – 2 мг/дм³) вызывает обильное пенообразование, нарушает кислородный обмен в водоёмах, тормозит процессы фотосинтеза, сокращает кормовую базу рыб и других обитателей водоёмов [21].

Способность ПАВ накапливаться в организме приводит к снижению иммунитета, вызывает аллергии, поражает мозг, вызывает болезни почек, печени и лёгких.

ПАВ встречаются в сточных водах практически всех промышленных предприятий. Они широко применяются в качестве моющих средств, эмульгаторов, стабилизаторов эмульсий и суспензий и т.п.

Очистные сооружения большинства промышленных предприятий не имеют специального оборудования, необходимого для извлечения ПАВ. В результате чего ПАВ либо сбрасывают в канализацию, затрудняя работу коммунальных очистных сооружений, либо в поверхностные водоёмы, вызывая гибель флоры и фауны.

Сверхнормативные сбросы ПАВ приводят к наложению штрафных санкций на предприятия, которые нарушают требования охраны окружающей среды [38].

1.5 Существующие экономические проблемы очистки сточных вод прачечных предприятий

Выбор и установка подходящей системы очистки сточных вод прачечной является достаточно затратным. Рассмотрим ниже типовой пример расчета стоимости очистных сооружений для конкретной прачечной.

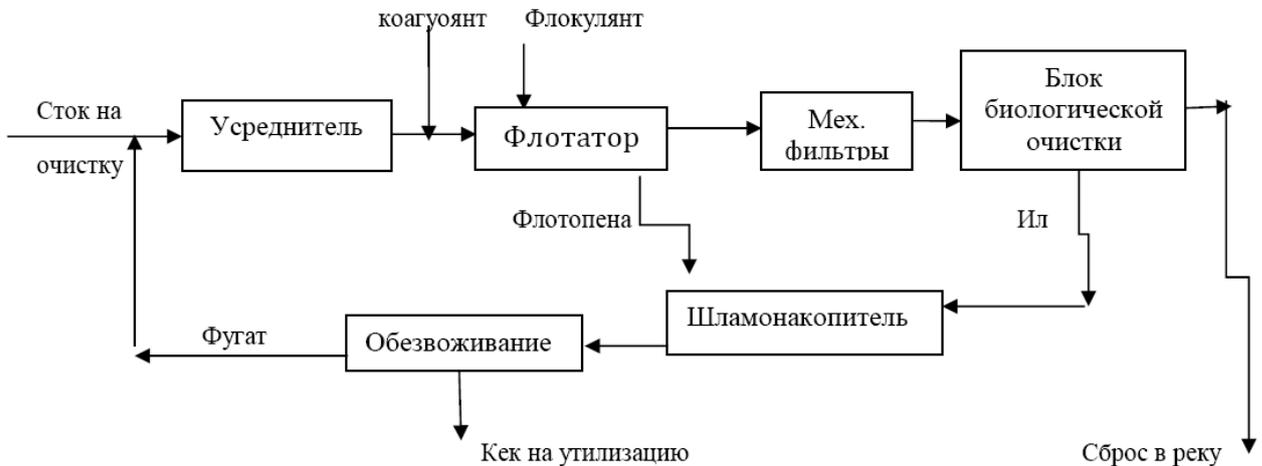


Рисунок 1 - Вариант 1. Сброс очищенной воды в водоем рыбохозяйственного назначения

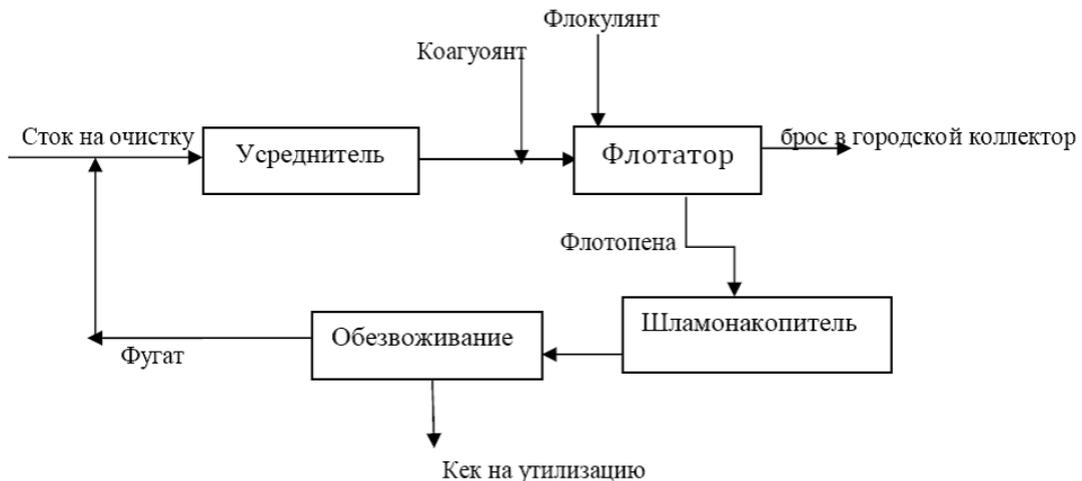


Рисунок 2 - Вариант 2. Сброс очищенной воды в городской коллектор

Для очистки сточных вод прачечных и бань может применяться следующие составные части и оборудование:

- 1) Блок механической очистки.
 - решетка, барабанное сито - предназначены для удаления из воды нерастворенных взвешенных веществ;
 - усреднитель - предназначен для усреднения расхода поступающей воды.
- 2) Блок физико – химической очистки.

- Флотатор – предназначен удаления из воды не растворенных взвешенных веществ, жиров, масел, нефтепродуктов, органических примесей, ПАВ и других загрязнений;

- реагентное хозяйство – используется для увеличения эффективности очистки сточной воды.

3) Блок биологической очистки.

Установка предназначена для биологической очистки, доочистки и обеззараживания хозяйственно-бытовых и близких к ним по составу производственных сточных вод до норм сброса в водоемы рыбохозяйственного назначения, либо в канализационную сеть. Станция биологической очистки поставляется в блок контейнере, полной заводской готовности.

4) Блок обезвоживания осадка.

Мешковой обезвоживатель – применяется для обезвоживания образующегося осадка. Так же для обезвоживания может применяться шнековый обезвоживатель, фильтр – пресс.

На основании таблицы 2 составлено техническое задание по устройству системы очистки сточных вод промышленной прачечной:

- режим работы предприятия – круглосуточно;

- производительность – 20 м³/сут.

Характеристика сточных вод представлена в таблице 5.

Таблица 5 - Состав сточных вод прачечных поступающих на очистку

№ п/п	Показатели	Ед. изм.	Качество воды
1	Температура	°С	20-40
2	Внешний вид		Мутная с поверхностной пленкой
3	Цвет		Серовато-желтый
4	Запах		Мыльный
5	рН		7,5-8,5
6	Щелочность	мг/л	8
7	Взвешенные вещества	мг/л	200
8	Сухой остаток	мг/л	600
9	ХПК	мг/л	1000
10	Общий азот	мг/л	60

На основании технического задания получена ориентировочная стоимость на системы очистки сточных вод прачечной.

Таблица 6 - Цены на систему очистки воды прачечной производительностью 20 м³/сут. Вариант 1- сброс очищенной воды в водоем

№ п/п.	Наименование	Кол –во, шт.	Цена, руб.
1	Эскизный проект	1	50 000,00
2	Усреднитель, 6м ³ (подземная стеклопластиковая емкость)	1	120 000,00
3	Флотатор, 1 м ³ /ч	1	260 000,00
4	Реагентное хозяйство	3	264 000,00
5	Биологические очистные сооружения с блоком обеззараживания	1	750 000,00
6	Шламосборник 3м ³	1	60 000,00
7	Мешковый обезвоживатель	1	170 000,00
8	Насосное оборудование	4	120 000,00
9	Монтаж оборудования		179 400,00
10	Пуско - наладка		89 000,00
Итого с НДС			2 062 400,00

Таблица 7 - Цены на систему очистки воды прачечной производительностью 20 м³/сут. Вариант 2 – сброс очищенной воды в коллектор

№ п/п.	Наименование	Кол –во, шт.	Цена, руб.
1	Эскизный проект	1	50 000,00
2	Усреднитель, 6м ³ (подземная стеклопластиковая емкость)	1	120 000,00
3	Флотатор, 1 м ³ /ч	1	260 000,00
4	Реагентное хозяйство	3	264 000,00
5	Шламосборник 3м ³	1	60 000,00
6	Мешковый обезвоживатель	1	170 000,00
7	Насосное оборудование	4	120 000,00
8	Монтаж оборудования		104 000,00
9	Пуско - наладка		52 000,00
Итого с НДС			1 200 000,00

Исходя из выше представленных расчётов, мы видим, что очистные системы, необходимые в работе прачечных предприятий, являются достаточно экономически затратными.

Помимо расходов по системе очистки сточных вод, существуют платежи за загрязнение водных ресурсов, при условии сброса вод в водные объекты.

Согласно законодательству РФ, все организации и индивидуальные предприниматели, которые используют в своем бизнесе объекты, влияющие негативным образом на окружающую среду, должны за это платить. При этом обязанность по внесению платы возникает для всех бизнесменов, применяющих любую из систем налогообложения — УСН, ЕНВД, ПСН, ОСНО или ЕСХН.

Следует также учитывать, что обязанность уплачивать за загрязнение окружающей среды возникает независимо от того, находится ли данный объект в собственности, или нет. Именно поэтому плата за негативное воздействие на окружающую среду обязательна, в том числе, и для арендаторов — то есть лиц, которые эксплуатируют объект.

Федеральная служба по надзору в сфере природопользования или Росприроднадзор на основании Постановления Правительства РФ от 29.12.2007 № 995 контролирует расчет платы за негативное воздействие на окружающую среду и ее своевременное перечисление в федеральный бюджет.

Ставки за загрязнение окружающей среды на 2019 год утверждены Постановлением Правительства РФ от 13.09.2016 N 913 в последней редакции от 29.06.2018.

Таблица 8 – Тарифы за выбросы загрязняющих веществ в водные объекты в 2018-2019 годах

Виды загрязняющих веществ	Ставки платы за 1 т загрязняющих веществ/отходов производства и потребления 2018 и 2019 год, руб
Нефтепродукты	14711,7
Нитрат-анион	14,9
Нитрит-анион	7439
ПАВ (поверхностно-активные вещества)	1192,3
Взвешенные вещества	977,2
Сухой остаток	0,5

Подводя итог, можно сказать следующее:

- 1) В современном законодательстве ведется достаточно серьезный контроль за сточными водами прачечных предприятий;
- 2) Не все предприятия имеют достаточно модернизированное оборудование, чтобы соблюдать современные требования очистки сточных вод;
- 3) Оснащение современным оборудованием – процесс достаточно дорогостоящий;
- 4) Несмотря на средства и меры контроля качества сточных вод, последние являются серьезным загрязняющим фактором водных ресурсов.

Поэтому поиск новых технологических схем и решений для очистки сточных вод прачечных, позволяющих снизить налоговую нагрузку на предприятие является актуальным на сегодняшний день.

1.6 Выводы

Исходя из анализа проведенного литературного обзора, можно сделать следующие выводы:

1) Даже присутствие в воде небольших концентраций ПАВ (0,8 – 2 мг/л) вызывает обильное пенообразование, нарушает кислородный обмен в водоёмах, тормозит процессы фотосинтеза, сокращает кормовую базу рыб и других обитателей водоёмов. Способность ПАВ накапливаться в организме приводит к снижению иммунитета, вызывает аллергии, поражает мозг, вызывает болезни почек, печени и лёгких.

2) Стоки прачечных характеризуются устойчивостью органических веществ к биохимическому разложению и подавляют жизнедеятельность бактерий. Ввиду высокой загрязненности, сбросы прачечных обуславливают экстремальное залповое загрязнение сточных вод, поступающих на сооружения биологической очистки и соответственно поверхностных вод, а, следовательно, наносят значительный экологический ущерб.

3) В современном законодательстве ведется достаточно серьезный контроль сбросом сточных вода прачечных предприятий. Очистные сооружения большинства промышленных предприятий не имеют специального оборудования, необходимого для извлечения ПАВ. В результате чего ПАВ либо сбрасывают в канализацию, затрудняя работу коммунальных очистных сооружений, либо в поверхностные водоёмы, вызывая гибель флоры и фауны. Кроме того, оснащение современным оборудованием – процесс достаточно дорогостоящий.

4) Сверхнормативные сбросы ПАВ приводят к нарушению требований охраны окружающей среды и наложению штрафных санкций на предприятия. Следовательно, поиск новых технологических схем и решений для очистки сточных вод прачечных, позволяющих снизить экономическую нагрузку на предприятие является актуальным на сегодняшний день.

Таким образом, проблема очистки сточных вод прачечных предприятий доказывает свою актуальность, как с экономической, так и с экологической точек зрения.

2. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРАЧЕЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

2.1. Механические методы

Для интенсификации существующих сооружений необходимо рассмотреть основы наиболее эффективных методов, используемых при очистке сточных вод прачечных и комплексов бытового обслуживания.

Механические способы в основном используются для первичной очистки. На этом этапе отделяются грубые нерастворимые фракции. Так как сточные воды могут содержать очень разные типы загрязнений, то под каждую задачу были разработаны свои методы очистки.

Основные типы механической очистки сточных вод: процеживание, фильтрация, отстаивание (осаждение), центрифугирование, флотация. Каждый метод в свою очередь имеет различные варианты исполнения, что позволяет подобрать лучший способ фильтрования для конкретной задачи - учитывается тип загрязнения, необходимая степень очистки, продолжительность и скорость процесса и т.д.

Методы механической очистки чрезвычайно разнообразны - можно отделить частицы как органического, так и минерального происхождения [19].

Метод префильтрации основан на пропуске стока сквозь пористый или сетчатый материал с отверстиями определенного размера, при этом посторонние частицы задерживаются. Вместо единого фильтрующего блока может быть применена засыпка из гранул нужного размера и форм. Засыпной вариант иногда удобнее тем, что забитый фильтр можно просто промыть и снова использовать, тогда как неразъемный фильтр часто приходится выбрасывать при невозможности очистить.

Этот метод является наиболее популярным за счет своей простоты и эффективности. Огромное разнообразие типов фильтров позволяет решать не менее разнообразный круг задач. Фильтрование может быть многоступенчатым, при этом на каждом этапе отсеиваются частицы определенного размера. Если загрязнение носит исключительно механический характер - например, различные фракции песка - то многоступенчатое фильтрование способно обеспечить практически полную очистку воды от посторонних примесей.

Метод седиментации основывается на том, что под действием естественных гравитационных сил часть загрязнений оседает на дно, после чего удаляется. Такой метод называется статичным отстаиванием, является наиболее простым и дешевым, но и самым продолжительным по времени. Отстаиванию подвергаются

различные объекты - от грубых взвесей до различных суспензий и эмульсий. В зависимости от размеров частиц, их плотности и структуры, а также от характеристик жидкости (вода, масло и т.д.), механическое отстаивание может длиться от нескольких секунд до нескольких недель.

На методе отстаивания основано осветление хозяйственно-бытовых стоков в анаэробном септике. За счет поэтапного отстаивания в каждой камере стоки разделяются по плотности: на дно оседают тяжелые фракции, легкие фракции всплывают, образуя пленку на поверхности, а в следующую камеру септика переливается частично осветленная вода.

Существуют настолько мелкие и легкие пылевидные, тонкодисперсные частицы, что механическое гравитационное отстаивание будет неэффективным, особенно в плотной жидкости. Возможно, для полного статичного осаждения пришлось бы ждать месяцы или годы. Для такой ситуации был разработан динамический (проточный) вариант механического отстаивания. Данный метод более сложен в исполнении. В конструкции отстойника используется постоянное горизонтальное или вертикальное движение потоков очищаемой жидкости. Последовательная работа резервуаров в этом режиме более эффективна, чем параллельная [21].

По своему физическому принципу центрифугирование очень похоже на гравитационное отстаивание. Используется принцип разделения неоднородной системы на фракции. При вращении центрифуги возникающая центробежная сила заменяет силу гравитации, заставляя крупные и средние твердые частицы загрязнения в зависимости от массы и плотности смещаться и скапливаться в разных зонах, где они затем будут отделены от основной массы воды.

Центрифугирование удобно тем, что можно в очень широких пределах менять скорость вращения, создавая центробежную силу, во много раз превышающую силу гравитации при статичном отстаивании. Например, ультрацентрифуги, работающие в вакууме для снижения трения и сопротивления воздуха, создают центробежную силу до 500 000 g. Другими словами, на фильтруемый объект действует ускорение в 500 000 раз превышающее ускорение свободного падения на уровне земли. При таком мощнейшем воздействии даже имеющие небольшие различия в плотности масса тонкодисперсных частиц разделяется на слои.

В отличие от седиментации, то есть осаждения, флотация представляет собой обратный процесс [26]. Вещество, отделяемое от раствора или водной суспензии (пульпы), поднимается и скапливается в верхнем слое жидкости. Процесс подъема организуется с помощью подачи воздуха или другого газа, подходящего по химическому составу и физическим свойствам. Пузырьки газа,

проходя сквозь слой очищаемой жидкости, захватывают и поднимают к поверхности посторонние частицы. В зависимости от физических свойств частицы делятся на гидрофобные и гидрофильные. Это различие проявляется в разной степени смачиваемости, благодаря которой частицы разделяются. На поверхности жидкости из пузырьков с прилипшими к ним частицами образуется пена, которая легко удаляется [20].

Очистные установки, использующие данный метод, называются флотаторами. В зависимости от поставленной задачи, флотация, как и все остальные методы механической очистки, позволяет очищать жидкость от посторонних включений.

2.2 Физико-химические методы

Для очистки сточных вод широко применяют физико-химические методы, которые обладают большими возможностями: глубокая очистка, удаляются неокисляемые токсичные загрязнения, минимальные габариты очистных сооружений, минимальная чувствительность к переменам нагрузок, допустимо полностью автоматизировать процесс очистки, не надо контролировать работу живых организмов, допустима рекуперация веществ, все процессы более изучены и отработаны на практике.

В основе метода коагуляции лежит добавление в сточные воды активных коагулянтов: соли аммония, меди, железа и т.д. Вредные вещества выпадают в осадок хлопьями, которые изымаются без особого труда.

Механическая очистка делает обработанные воды агрегативно устойчивыми. Баланс нарушается при появлении коагулянтов и флокулянтов. Формируются крупные образования благодаря воздействию молекулярных сил сцепления во время перемешивания или движения под воздействием внешнего силового поля. Могут слипаться как однородные частицы (гомокоагуляция), так и неоднородные (гетерокоагуляция). Воду опять отправляют на механическую обработку. При коагуляции осадок в форме хлопьев составляет почти пятую часть всех фильтруемых сточных вод. Метод имеет эффективность до 95%.

Для форсирования могут использоваться эмульгированные или тонкодисперсные вещества. Эффективно удаляются частицы от 1 до 100 мкм. Возможно самопроизвольное протекание очистки.

Коллоидные частицы образуют составной электрический слой на поверхности частицы. Первая часть фиксируется в месте раздела двух фаз, а другая - представляет собой скопление ионов. Наблюдается две части слоя: одна - подвижная (диффузный слой), а другая – неподвижная.

Хлопья образуются из взвешенных частиц и коагулянта. Что бы это произошло, необходимо приблизить частицы для возникновения силы притяжения и химического сродства. Это случается благодаря броуновскому движению и турбулентному движению воды.

Существует другая разновидность этого метода - электрохимическое коагулирование. Для его осуществления необходимы железные или алюминиевые электроды и постоянный электрический ток. Анодный металл подвергается ионизации и попадает в воду. Примеси начинают коагулировать малорастворимые гидроксидами железа или алюминия. Концентрация электролита оказывает прямое влияние на скорость очистки.

Во время электролиза образуются газы, которые захватывают взвешенные примеси [17]. Размерные параметры пузырьков влияют на степень очистки и зависят от плотности тока [18]. В отличие от обычной флотации воздушные пузырьки при электролизе значительно меньше и распределены более равномерно.

Важно отметить, что полидисперсные системы лучше подаются коагуляции: крупные частицы тянут на дно мелкие. Влияет и форма частиц: круглые медленнее коагулируют, чем длинные.

Метод адсорбции основан на способности определенных веществ впитывать примеси. Наиболее частыми реагентами являются активированный уголь, бентонитовые глины, торф, цеолиты и т.д.

Основным плюсом адсорбции является большая результативность, очистка от нескольких видов загрязнений, рекуперация.

Разделяют регенеративную и деструктивную адсорбционную очистку. В первом виде примеси удаляются из адсорбента и подвергаются утилизации. При втором виде примеси подвергаются уничтожению вместе с адсорбентом [27].

В зависимости от вида используемого адсорбента и удаляемого химического вещества можно достигнуть эффективности до 95%. Наиболее распространено использование активированного угля.

В адсорбции обязательно предусматривают перемешивание воды и сорбента или пропускание воды через его слой. Сорбционная установка может состоять из 3-5 фильтров в определенной последовательности.

Экстракционный метод заключается в том, что загрязняющие примеси распределяются в смеси двух жидкостей, которые не растворяются друг в друге. Используют для удаления со сточных вод органики, которую впоследствии перерабатывают: жирные кислоты, фенолы. Таким образом, подбираются такие жидкости, которые способны растворить ценные вещества из сточной воды, но не растворяются с самой очищаемой водой.

Здесь работает физико-химический закон распределения: при активном перемешивании двух нерастворимых жидкостей всякое вещество, растворенное в одной из них, начнет распределяться согласно своей растворимости. После выделения первой жидкости из второй, одна из них будет частично очищена.

Во время очистки вводят определенное количество экстрагента. Когда примеси начинают скапливаться в экстракционном слое, покидая воду, экстракт удаляется. Важно выждать время, чтобы содержание веществ в экстракте было значительно выше, чем остаточное в воде.

Экстрагируемое вещество отделяется и подвергается переработки, а экстрагент опять используется в технологии очистки.

Для эффективности очистки сточную воду подвергают экстракционной очистки несколько раз. Каждая заливка должна иметь новый экстрагент в той же пропорции, что и предыдущий раз. Это не очень экономично.

Существует трехступенчатая экстракционной очистки: вода встречается с двумя направленными потоками экстрагента. Синергический эффект способен ускорить очистку. Значение рН важно при кислотном или основном характере примесей [43].

Сорбционная очистка – это наиболее универсальный способ. Сегодня даже рассматривают вопросы замены биологической очистки сорбционными методами. Существует три вида сорбции:

1. Адсорбция – участвует вся поверхность твердого поглотителя;
2. Абсорбция – поглощенные вещества поступают во внутрь сорбента диффузным поглощением;
3. Хемосорбция – сорбент и примеси вступают в химические реакции.

Сорбентами могут быть не только природные материалы, но и синтетические, которые обладают высокой пористостью. Сорбенты характеризуются структурой пор, химическим составом, пористостью.

При эвапорационном методе сточную воду нагревают до температуры кипения и обрабатывают насыщенным водяным паром. Он забирает летучие примеси. Далее пар направляют на горячий поглотитель, который изымает эти вещества, а паром опять обрабатывают сточные воды. Основное условие – вода и пар должны идти друг на друга. Главным плюсом является отсутствие реагентов, простота очистных сооружений, экономичен [43].

Ультрафильтрация заключается в пропускании сточных вод через мембрану. Обеспечивается давление, которое больше осмотического (0,1-10 Мпа). Мембрана не пропускает вещества, молекулы которых больше молекул воды.

Результат зависит от используемых мембран: их селективность (разделительная способность), проницаемость, химическая и физическая стойкость к воздействию среды, прочность и небольшая стоимость [16].

В процессе диализа полупроницаемая мембрана освобождает коллоидные растворы и низкомолекулярные соединения из высокомолекулярных веществ. Низкомолекулярные вещества способны пройти через мембрану.

Обычный диализ имеет форму мешка из полупроницаемого материала, который заполнен диализируемой жидкостью. Этот мешок опускают в очищаемую воду. Со временем диализируемое вещество в обоих растворах становится равным. Далее заменяется растворитель в мешочке, опять повторяют все действия до полного очищения воды.

Главный недостаток диализа – долгий период очистки. Для ускорения процесса прибегают к увеличению активной площади и повышают температуру. Диализ объединяет в себе осмос и диффузию.

В электрохимическом методе сточные воды пропускают между электродами с постоянным током. В процессе электрокоагуляции коллоидные частицы увеличивают свой размер благодаря ориентации по силовым линиям образованного электромагнитного поля и объединения. Постоянный ток способствует электролизу при возникновении водородных ионов на катоде и растворение анодного металла. Гидроксиды металлов захватывают тонко дисперсные и растворенные вещества [28].

2.3 Биологические методы

Биологическая очистка стоков представляет собой очищение сточных масс за счет расщепления органических соединений колониями определенных микроорганизмов.

Все дело в том, что органические примеси, находящиеся в сточных водах, являются питательной средой для большого количества микроорганизмов, в процессе жизнедеятельности которых разрушаются сложные органические соединения до аминокислот, элементарных белков и обрывков цепочек ДНК. В итоге образовавшийся материал стимулирует усиленное размножение микроорганизмов, вызывая, таким образом, взрывообразное увеличение численности колонии.

Отмершие части колоний микроорганизмов вместе с переработанной органикой выпадают на дно водоема или резервуара безвредным илом. Одновременно с этим происходит очистка стоков от ядовитых и сложных органических соединений.

Неоспоримым преимуществом данного способа очистки стоков является полная саморегулируемость. При уменьшении процентного содержания органической составляющей приостанавливается рост колонии, а в некоторых случаях наблюдается и уменьшение численности микроорганизмов.

Для реализации метода аэробной биологической очистки используются колонии микроорганизмов, которым для поддержания жизнедеятельности необходим доступ к кислороду.

Аэробный реактор (аэротенк) представляет собой бетонную или металлическую емкость большого объема, на небольшом расстоянии от дна которого располагаются загрузки (в виде сита или «елочек») из полимерных материалов.

На дне аэробного реактора располагаются аэраторы - трубы, снабженные небольшими отверстиями. Проходящий по ним воздух насыщает канализационные стоки кислородом, создавая оптимальные условия для жизнедеятельности и увеличения колонии микроорганизмов.

Реакция окисления органической составляющей сопровождается выделением большого количества энергии, достаточного для значительного повышения температуры внутри реактора. Именно поэтому аэротенки оснащаются сложной электронной системой, поддерживающей благоприятные для микроорганизмов условия.

Биореакторы анаэробного типа (метатенки) представляют собой герметичные металлические или бетонные конструкции, в которых обитают колонии микроорганизмов, не нуждающиеся в кислороде.

Что важно - реакции разложения сложных органических соединений не характерно увеличение колонии или выброс энергии. Поэтому система контроля условий обитания не требуется, что существенно снижает стоимость конструкции по сравнению с аэротенками.

Однако жизнедеятельность анаэробных бактерий сопровождается выбросом большого количества метана. В связи с этим метатенки можно устанавливать только на ровной, хорошо продуваемой площади, по периметру которой должны быть установлены газоанализаторы, подключенные к системе пожарной сигнализации.

Технология работы мембранного биореактора заключается в комбинировании различных мембранных и биохимических процессов. Иными словами, мембранный биореактор сочетает в себе процессы микро- и ультрафильтрации и процесс аэробного биологического очищения сточных вод.

Мембраны выполняют роль своеобразного барьера для загрязнений с высокой селективностью.

В зависимости от поставленных технологических задач мембранный реактор может быть использован как на этапе завершающего очищения (до стадии обеззараживания), так и для предварительного очищения перед процессом нанофильтрации и обратным осмосом при необходимости обессоливания воды.

Биофильтр представляет собой компактную емкость с загрузочным материалом внутри. При этом аэробные микроорганизмы находятся в форме активной пленки и выполняют функцию биологической очистки стоков.

Биофильтры делятся на два типа - изделия с капельной фильтрацией и устройства с двухэтапной фильтрацией.

В первом случае устройства отличаются высоким качеством очистки, однако производительность остается невысокой. В то же время для изделий с двухступенчатой фильтрацией характерно как высокое качество очистки, так и высокая производительность.

Как правило, биофильтры состоят из корпуса фильтрующего устройства, изделия для распределения стоков по поверхности фильтра, дренажной системы для отвода воды и воздухораспределительной системы для обеспечения подачи кислорода.

Принцип работы биологического фильтра схож с принципом работы аэротенка – сначала сточные воды очищаются от крупных и тяжелых фракций, а затем перетекают в биофильтр, где аэробные бактерии получают питательные вещества и начинают активно размножаться, увеличивая, таким образом, эффективность очищения стоков. Специальная система в это время обеспечивает подачу кислорода.

Устройства с фильтром капельного типа отличаются лишь порционным поступлением стоков. При этом вентиляция и подача кислорода обеспечиваются естественным путем за счет имеющихся в конструкции открытых пространств.

2.4. Комбинированные

Суть комбинированного метода очистки сточных вод состоит в одновременном использовании двух или более методов очистки для достижения наилучшего результата.

Выбор методов очистки и порядка их использования зависит от конкретных особенностей водоёма и степени загрязнения воды.

Как правило, в первую очередь используется механическая очистка, удаляющая основную массу нерастворимых неорганических загрязнений.

Вторым этапом становится биологическая очистка.

В качестве последующей дезинфекции используются методы физико-химической очистки, такие как ультразвук, озонирование, электролиз.

2.5 Выводы

Обзор литературы показывает, что несмотря на обилие различных методов обработки и очистки сточных вод прачечных производств, проблема подбора оптимального и эффективного метода обработки данных отработанных растворов остается нерешенной. Эта проблема обостряется с каждым годом в связи с неуклонным удорожанием ресурсов (воды, моющих средств и пр.) и все возрастающей нагрузкой на окружающую среду, свой вклад в которую вносят и сбросы прачечных производств.

В связи с этим поставлена цель работы – исследование и разработка эффективного метода очистки и обеззараживания отработанных растворов прачечных производств.

Разрабатываемый метод должен обеспечить решение нескольких задач, направленных на повышение эффективности прачечного производства. Необходимо обеспечить эффективное разрушение эмульсий для наиболее полного удаления ПАВ и загрязнений из водного раствора. Это позволит создать современную эффективную схему локальной очистки сточных вод предприятий бытового обслуживания.

Реагентные методы неминуемо приведут к возрастающей минерализации и накоплению минеральных отходов. Поэтому более перспективен метод сорбционной очистки воды с использованием модифицированного активированного угля. Следовательно, сорбционная очистка воды стала основным объектом настоящего исследования.

Основываясь на результатах исследований, представленных в литературном обзоре, сформулированы следующие задачи настоящего исследования:

1. Изучить влияния модификаций сорбента на эффективность очистки вод от ПАВ. Решение этой задачи позволит определить оптимальные параметры модификатора для наиболее эффективной модификации активированного угля. Согласно литературному обзору, при модификации активированного угля возрастает его сорбционная емкость, а также изменяется состав что способствует улучшению эффективности сорбции ПАВ и загрязнений. Поэтому это стало одной из задач настоящего исследования.

2. Обосновать и определить минимальный расход серной кислоты, который обеспечит получение эффективного модифицированного сорбента и минимизирует затраты на его производство. Для регулирования параметров модифицированного

сорбента требуется создать достаточную концентрацию серной кислоты, определенную скорость потока, необходимую продолжительность обработки. Чрезмерное увеличение дозы серной кислоты является неэффективным и влечет рост затрат на приобретение реагента. С другой стороны, уменьшение дозы снижает эффективность обезвреживания сточных вод. Следующая задача настоящего исследования.

3. Изучить методы и способы регенерации отработанного сорбента, определить оптимальные концентрации пероксида водорода как основного регенерирующего агента. Одна из целей регенерации - обеззараживание отработанного сорбента, содержащего органические загрязнения, включая ПАВ. Это весьма актуально для прачечных производств, особенно тех, которые обслуживают общественные предприятия (больницы, гостиницы, дома отдыха и т. д.). Поэтому в настоящем исследовании поставлена задача.

4. Разработать эффективную схему локального обезвреживания сточных вод, содержащих ПАВ. Определить ее основные характеристики. Решение данной задачи позволит провести интенсификацию локальных очистных сооружений предприятий бытового обслуживания населения, включающих в себя прачечные.

3 ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРАЧЕЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ АКТИВНЫМИ УГЛЯМИ

3.1 Теоретическая часть

Перспективным методом для создания компактных очистных установок очистки стоков прачечных предприятий можно считать метод адсорбции активными углями.

Активные угли давно известны как эффективные сорбенты органических веществ из водных растворов. Угли обладают достаточно жесткой пористой структурой, механической прочностью, высокой химической и термической стойкостью, специфической сорбционной способностью по отношению к различным углеводородным соединениям. Многие исследователи полагают, что угли имеют несомненные преимущества перед другими сорбентами при очистке сточных вод от органических примесей, включая ПАВ [2,11,15,39,40,41]. По мнению западных исследователей [42], фильтры с активными углями весьма перспективны для очистки сточных вод прачечных.

Однако до последнего времени попытки применить активные угли для очистки сточных вод в промышленном масштабе оказывались неудачными или экономически невыгодными вследствие двух причин: либо неправильно были подобраны условия сорбционных процессов, либо не были разработаны оптимальные режимы регенерации "отработанных" углей.

Наиболее дешевый уголь (уголь-сырец) имеет сравнительно небольшую сорбционную способность вследствие малой удельной поверхности, а также заполнения пор смолами и продуктами неполного сгорания. Поэтому для очистки сточных вод его не рекомендуется использовать, а необходимо применять активный уголь. Активный уголь по всем соображениям не должен обладать полярностью и, следовательно, не должен сорбировать ионы сильных электролитов. Однако многочисленные опыты свидетельствуют об обратном. Уголь способен не только сорбировать ионы электролитов, но и является ионообменником [15].

Способность органических веществ к сорбции $F_{сорб}$ оценивают по разности энергии сорбционного взаимодействия молекул сорбата F_c и растворителя F_p с сорбентом и энергии сольватации сорбата $F_{сольв.}$:

$$F_{сорб.} = F_c - F_p - F_{сольв.}$$

Константа сорбционного равновесия K и величина уменьшения свободной энергии $F_{сорб.}$ связана зависимостью

$$\ln K_{сорб.} = F_{сорб.} / RT$$

Чем больше $F_{\text{сорб.}}$, тем сильнее вещество адсорбируется из разбавленного раствора. Активные угли целесообразнее применять для очистки сточных вод от тех органических веществ, которые обладают достаточно высоким сорбционным сродством.

Если ПАВ обладает способностью частично диссоциировать в воде на ионы, то лучше будут сорбироваться менее гидратированные. Степень извлечения ПАВ, проявляющих свойства электролитов, тем больше, чем меньше степень их диссоциации. Последнюю можно регулировать, изменяя рН среды или солесодержание.

Оптимальными условиями сорбции анионоактивных и катионоактивных ПАВ можно считать такие, при которых электролитическая диссоциация подавлена не менее чем на 99,9%. Если для подавления используется кислота или щелочь, то удовлетворяющие указанным условиям значения рН сточных вод могут быть вычислены из следующих выражений:

$$\begin{aligned} \text{pH}_{\text{опт.}} &= \text{p}K_{\text{дис}} - 3 \quad (\text{для ионоактивных ПАВ}) \\ \text{pH}_{\text{опт.}} &= \text{p}K_{\text{дис}} + 3 \quad (\text{для катионоактивных ПАВ}). \end{aligned}$$

Диссоциация молекул ПАВ может быть подавлена и неорганическими электролитами. Концентрации их, приводящие к образованию мицелл, наиболее благоприятны.

Если в молекуле содержатся функциональные группы, образующие при диссоциации как анионы, так и катионы, $\text{pH}_{\text{опт.}}$ вычисляют приближенно из соотношения:

$$\text{pH}_{\text{опт.}} = (\text{p}K_1 + \text{p}K_2) / 2$$

В этих условиях в растворе максимальное число молекул не диссоциировано по обоим функциональным группам.

Для сточных вод, в которых содержится несколько значительно отличающиеся по $\text{pH}_{\text{опт.}}$ ПАВ, необходимо проводить ступенчатую очистку, пропуская последовательно воду через колонны с углем и изменяя перед каждой колонной значение рН. Поверхностно-активные вещества, находящиеся в сточных водах в виде мицелл, сорбируются наиболее полно, так как энергия сорбции их равна или более 42 Дж/г мицелл.

Для получения модифицированного углеродного адсорбента производят обработку промышленного активированного угля растворами химических реагентов, в качестве которых используют растворы щелочей и кислот, обработку проводят в виде цикла кислота-вода либо в виде цикла щелочь-вода, причем в качестве кислоты используют азеотропную смесь серной кислоты и воды, а в качестве щелочи - раствор калиевой щелочи [39].

Серная кислота является доступным товарным реагентом, кроме того зачастую она выделяется в качестве отхода на крупных производствах.

Таким образом, основным направлением повышения сорбционных и ионообменных свойств товарных углей доступными приемами является их предварительная обработка серной кислотой.

Задачей предлагаемой модификации является создание углеродных адсорбентов на основе обработки их реагентами, эффективно очищающих сточные воды от органических загрязнений и ПАВ при использовании дешевых реагентов технической чистоты.

3.2 Объекты исследования

Активные угли - пористые углеродные тела, зерненные и порошкообразные, развивающие при контакте с газообразной или жидкой фазами значительную площадь поверхности для протекания сорбционных явлений.

По своим структурным характеристикам активные угли относятся к группе микрокристаллических разновидностей углерода - это графитовые кристаллиты, состоящие из плоскостей протяженностью 2-3 нм, которые в свою очередь образованы гексагональными кольцами.

Адсорбционные свойства активных углей оцениваются количеством модельного вещества, адсорбируемого единицей массы угля при определенных условиях (до полного насыщения в сравнении с эталонным образцом, либо раствором), а также временем защитного действия единицы объема угля до полного его насыщения.

Для оценки качества зерненных активных углей, используемых в качестве фильтрующе-сорбирующей загрузки в адсорберах различной конструкции, важное значение приобретают их физико-механические характеристики - зернение, насыпная плотность, механическая прочность.

Основные свойства активных углей и, прежде всего пористая структура определяются видом исходного углеродсодержащего сырья и способом его переработки.

В серии опытов был применен уголь марки Carbonut WT, по данным производителя, данная марка угля обладает высокой эффективностью в процессах очистки сточных вод от таких загрязняющих веществ, как различные растворители (в том числе хлор содержащие), углеводороды, галогеносодержащие углеводороды, пестициды (атразин, симазин), гербициды, детергенты и различные органические вещества, придающие воде привкусы и запахи.

Активный уголь Carbonut WT производится из скорлупы кокосовых орехов, и при специальных технологических условиях термически активируется водяным паром. Кокосовые активированные угли Carbonut WT отличаются исключительной чистотой конечного продукта, высокой механической прочностью, активностью и низким пылеобразованием.

Данный активированный уголь является аналогом таких продуктов, как БАУ-А и БАУ-МФ (ГОСТ 6217-74, производства ОАО «Сорбент», ОАО «Карбохим», ООО «УралХимСорб»), ОУ-А, ОУ-Б и ОУ-В (ГОСТ 4453-74, производства и ОАО «Сорбент», ОАО «Карбохим», ООО «УралХимСорб»), а по качеству адсорбции и сроку службы в разы превосходит отечественные аналоги.

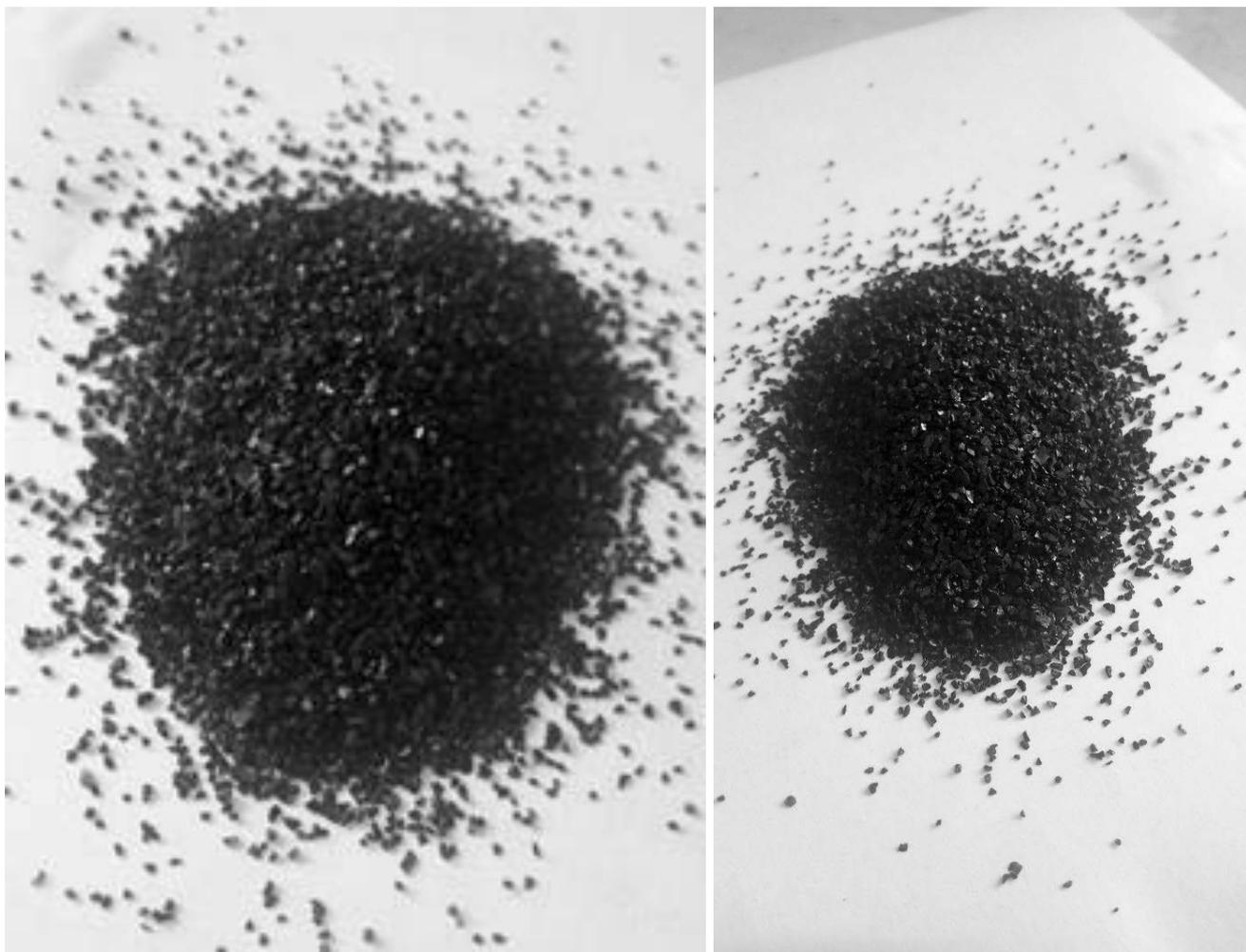


Рисунок 3 – Активный уголь марки Carbonut WT124E

Таблица 9 –Характеристики угля марки Carbonut WT124E

Наименование показателя	Значение
Форма угля	Гранулы
Размер частиц, mesh USS	12x40
Размер частиц, мм	0,4-1,7
Удельная площадь поверхности, м ² /г	1150
Йодное число, мг/г	1100
СТС адсорбция, %	60
Насыпная плотность, кг/м ³	500
Влажность, %	4
Зольность, %	3
pH	10
Прочность, %	99
Дополнительная обработка	промыт водой

В настоящее время, в мировой практике проходит апробацию прием модификации угольной загрузки неорганическими кислотами, с целью улучшения ее адсорбционно-каталитических свойств в процессе очистки вод.

Данный прием заключается в добавления неорганических кислот к углеродсодержащему веществу, при этом площадь поверхности матрицы из активированного угля, по меньшей мере, приблизительно в 5 раз превосходит площадь поверхности углеродсодержащего вещества [37].

Таким образом, получается новая композиция, содержащая модифицированный кислотой активированный уголь, которую можно получить, превращая углеродсодержащее вещество в матрицу из активированного угля и добавляя неорганическую кислоту в получившуюся матрицу.

В качестве реагента для модификации угля выбрана серная кислота, как наиболее сильный и экономически выгодный окислитель.

Серная кислота (H₂SO₄) — сильная двухосновная кислота, одна из самых сильных минеральных кислот, из-за высокой полярности связь Н–О легко разрывается.

В водном растворе серная кислота диссоциирует, образуя ион водорода и кислотный остаток:



Суммарное уравнение:



Кроме того, серная кислота отнимает химически связанную воду от органических соединений, содержащих гидроксильные группы [44].

Особенностью адсорбционных методов очистки является необходимость периодической регенерации используемых адсорбентов.

Пероксид водорода по сравнению с озоном имеет то преимущество, что позволяет легко создавать в очищаемой воде практически любые концентрации окислителя.

Однако известно, что высокую скорость окисления загрязнений пероксидом водорода можно обеспечить только при использовании катализаторов процесса его разложения. Такими катализаторами являются адсорбенты – активированные угли.

Отличительной особенностью предложенного технического решения является использование связки: активированный уголь – пероксид водорода, благодаря которой резко ускоряется процесс разложения остаточного пероксида водорода в воде по реакции:



3.3 Методы исследования

Для исследования процесса сорбции с использованием модифицированного сорбента первым этапом проводили модификацию сорбента. Для этого в колонку на 1 л помещали 250 мл активированного угля марки Carbonut WT124E, затем через колонку пропускали раствор серной кислоты. Отбирали пробу фильтрата и определяли остаточное содержание серной кислоты способом титрования.

Далее отбирали пробу сточной воды после процессов стирки и фильтровали ее через модифицированную угольную загрузку. Измеряли значения pH на pH-милливольтметре и ХПК в соответствии с РД 52.24.421-2012. Для изучения динамики сорбции измерения проводили через определенные объемы фильтрата.

Затем проводили регенерацию угольной загрузки. Для этого через отработанную угольную загрузку пропускали раствор пероксида водорода. Измеряли значения pH на pH-милливольтметре. Регенерация велась до прекращения активной фазы разложения пероксида водорода. Для изучения динамики регенерации измерения проводили через определенные объемы регенеративного раствора.

Химическое потребление кислорода (ХПК) — показатель содержания органических веществ в воде, выражается в миллиграммах кислорода (или другого окислителя в пересчете на кислород), пошедшего на окисление органических веществ, содержащихся в литре (1 дм³) воды.

Является одним из основных показателей степени загрязнения питьевых, природных и сточных вод органическими соединениями (в основном антропогенного или техногенного характера). Определяется различными лабораторными методами.

Применялась стандартная методика определения ХПК, согласно РД 52.24.421-2012 «Руководящий документ. Химическое потребление кислорода в водах. Методика выполнения измерений титриметрическим методом».

Химическое потребление кислорода - количество кислорода, расходуемого на окисление содержащихся в воде органических и неорганических веществ сильными окислителями. Если устранить влияние неорганических веществ или внести поправку на их содержание, то величина ХПК характеризует суммарную концентрацию в воде органических веществ, окисляемых в условиях титрования данным окислителем. Наиболее высокая степень окисления достигается в кипящем кислом растворе бихромата калия, который и использовали для контроля эффективности настоящего изобретения. Однако могут использоваться и иные сильные окислители. Количество кислорода в миллиграммах на кубический дециметр, эквивалентное расходу бихромата на окисление органических веществ, называют бихроматной окисляемостью. Поскольку степень окисления большинства органических веществ бихроматом калия в указанных условиях близка к 100%, величина бихроматной окисляемости хорошо коррелирует с массовой концентрацией органического углерода (последняя величина примерно в 2,5 раза меньше ХПК). Выполнение измерений основано на окислении органических веществ бихроматом калия в растворе серной кислоты при нагревании в присутствии катализатора - сульфата серебра. Избыток бихромата калия титруют раствором соли Мора и находят количество бихромата калия, израсходованное на окисление органических веществ.

Величину ХПК ($\text{мгО}_2/\text{дм}^3$) находят по формуле:

$$X = \frac{(V_1 - V_2) \cdot M \cdot 8 \cdot 1000}{V}, \quad (1)$$

где V_1 - объем раствора соли Мора, израсходованный на титрование холостого опыта, см^3 ;

V_2 - объем раствора соли Мора, израсходованный на титрование пробы воды, см^3 ;

M - молярная концентрация раствора соли Мора, $\text{моль}/\text{дм}^3$ КВЭ;

V - объем аликвоты пробы воды, взятый для выполнения, см^3 ;

8,0 - масса миллимоля КВЭ кислорода, $\text{мг}/\text{ммоль}$.

Водородный показатель (pH) определяли на приборе pH-милливольтметр pH-150M. Технические характеристики представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Технические характеристики рН-150М

Измеряемая величина	Диапазон измерений преобразователя	Дискретность показаний	Пределы допускаемой основной погрешности	
			прибора	преобразователя
Активности ионов водорода, рН	от -1 до +14	0,01	± 0,05	± 0,02
Окислительно-восстановительного потенциала, мВ	от -1999 до +1999	1	± 3	± 3
Температуры анализируемой среды, °С	от -10 до +100	1	± 2	± 2

Ход определения: перед измерением электроды вытаскивают из дистиллированной воды и осушают с помощью фильтровальной бумаги, затем опускают их в стаканчик с измеряемым раствором. Стаканчик должен быть подходящих размеров: электроды должны располагаться в нём свободно, не касаясь стенок. Количество исследуемой жидкости в стаканчике должно быть таким, чтобы полностью закрывать шарик стеклянного электрода и носик электрода сравнения, но уровень жидкости в стакане должен быть ниже уровня насыщенного раствора КСl в электроде сравнения. Если рН-метр имеет несколько диапазонов измерения, то сначала измерение проводят в широком интервале рН (от –1 до 14), затем в подходящей более узкой области. После окончания измерений электроды тщательно промывают дистиллированной водой и вновь погружают в стаканчик с нею.

Определение повторяют до трёх сходящихся результатов, но не менее 3 раз. Результаты определений представляют с указанием доверительного интервала.

Общая кислотность определяется титрованием пробы воды сильным основанием до рН 4,5 [31]. В нашем случае кислотность обусловлена присутствием сильной кислоты – серной.

Приборы и реактивы: гидроксид натрия, стандартный раствор с концентрацией 0,2 н. Индикатор метилоранж, 0,1 %-ный водный раствор. Мерный цилиндр объёмом 100 мл. Посуда для объёмного анализа: бюретка, колбы конические.

Ход определения: аликвоту исследуемой воды объёмом 100 мл помещают в коническую колбу для титрования, при необходимости добавляют дистиллированной воды до объёма около 150 мл, добавляют три капли индикатора

метилоранжа и титруют раствором гидроксида натрия до перехода окраски из красной в оранжевую. Расчёт проводят по формуле:

$$K = \frac{V(\text{NaOH}) \cdot N(\text{NaOH}) \cdot 1000}{V(a)}, \quad (2)$$

где K – кислотность, в мг-экв/л,

V_{NaOH} – объём гидроксида натрия, пошедший на титрование, мл;

N_{NaOH} – нормальность гидроксида натрия, г-экв/л,

V_a – объём аликвоты, мл.

Определение повторяют до трёх сходящихся результатов, но не менее 3 раз.

Результаты определений представляют с указанием доверительного интервала.

Для статистической обработки результатов сначала отбрасывают возможные грубые промахи, затем вычисляют стандартное отклонение и доверительный интервал. При многократном повторении некоторого измерения какое-нибудь одно значение может особенно сильно отличаться от остальных. В этом случае важно решить, идет ли речь о случайном отклонении или о грубой ошибке (грубом промахе), которая должна быть исключена из повторяющихся результатов измерений. Для исключения грубых промахов все полученные результаты ранжируют по возрастанию или убыванию. Очевидно, что при этом на предмет грубых промахов следует рассматривать только крайние члены ряда. Грубые промахи определяют по Q-тесту. Для это вычисляют Q-критерий:

$$\text{для } n=3-7 \quad Q = \left| \frac{x_1 - x_2}{x_1 - x_n} \right| \quad (3)$$

$$\text{для } n=8-10 \quad Q = \left| \frac{x_1 - x_2}{x_1 - x_{n-1}} \right| \quad (4)$$

где x_1 – значение, которое рассматривается как возможный грубый промах;

x_2 – ближайшее к x_1 значение в ряду ранжированных результатов;

$x_1 - x_n$ – размах варьирования результатов.

Найденное значение Q-критерия сопоставляют с табличным при данной доверительной вероятности и числе измерений $Q(P, n)$ (таблица 11). Величину x_1 можно считать грубой ошибкой, если выполняется условие: $Q > Q(P, n)$.

Таблица 11 – Значения Q-критерия

n	Значения Q-критерия		
	при P=0,90	при P=0,95	при P=0,99
3	0,89	0,94	0,99
4	0,68	0,77	0,89
5	0,56	0,64	0,76
6	0,48	0,56	0,70

Продолжение таблицы 11

n	Значения Q-критерия		
	при P=0,90	при P=0,95	при P=0,99
7	0,43	0,51	0,64
8	0,48	0,51	0,68
9	0,44	0,51	0,64
10	0,41	0,48	0,60

Стандартное отклонение служит наиболее распространенной мерой разброса значений и характеризуют случайную ошибку метода анализа. Стандартное отклонение S определяют по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (5)$$

Где x_i – отдельное значение;

\bar{x} – среднее значение;

n – общее число измерений.

Чтобы избежать недоразумений при оценке полученного результата, следует указать погрешность результата. Для характеристики погрешности может служить доверительный интервал. Результат следует представлять в виде:

$$\bar{x} \pm \Delta x \text{ при данных } P, n,$$

где \bar{x} – среднее значение;

Δx – доверительный интервал;

P – доверительная вероятность;

n – число измерений.

Для расчёта доверительного интервала используют формулу:

$$\Delta x = \frac{t(P, f) * S}{\sqrt{n}}, \quad (6)$$

где $t(P, f)$ – t-критерий (или критерий Стьюдента), который выбирается для данных доверительной вероятности P и числа степеней свободы $f = n-1$ из таблицы 10;

S – стандартное отклонение;

n – число измерений.

Таблица 12 – Значения критерия Стьюдента

f = n-1	Значения критерия Стьюдента			
	при P=0,90	при P=0,95	при P=0,98	при P=0,99
1	6,31	12,7	31,82	63,7
2	2,92	4,30	6,97	9,92
3	2,35	3,18	4,54	5,84
4	2,13	2,78	3,75	4,60
5	2,01	2,57	3,37	4,03
6	1,94	2,45	3,14	3,71
7	1,89	2,36	3,00	3,50
8	1,86	2,31	2,90	3,36
9	1,83	2,26	2,82	3,25
10	1,81	2,23	2,76	3,17
11	1,80	2,20	2,72	3,11
12	1,78	2,18	2,68	3,05

При расчёте доверительного интервала следует предварительно выбрать доверительную вероятность P, определяющую результат вычислений. Наиболее часто используют доверительную вероятность 0,95 и 0,99. Доверительный интервал сильно зависит от числа параллельных измерений. При переходе от двух к трём или четырём параллельным определениям точность данных значительно увеличивается, т.к. величина критерия Стьюдента существенно уменьшается. Однако с дальнейшим ростом числа параллельных определений это преимущество перестает оправдывать трудовые затраты на определение.

3.4 Экспериментальная часть

С целью определения эффективности модификации сорбента начальной задачей исследования является анализ показателя сорбционной емкости используемой марки активированного угля по показателю ХПК. Для этого в лабораторную колонку емкостью 1 л засыпали 250 мл угля марки Carbonut WT124E. Дистиллированной водой проводили отмытие угля от пыли и пылевидных фракций, образовавшихся в процессе его транспортировки. Показатель рН промывной воды составляет $10,22 \pm 0,07$, что соответствует заявленной производителем характеристики.

Подготовку модельного раствора осуществляли путем разведения стандарта ГСО 8049-94 в водопроводной воде.



Рисунок 4 – Стандарт ГСО 8049-94 и модельный раствор, приготовленный на его основе.

Значения ХПК получившегося модельного раствора определялись титриметрическим методом по РД 52.24.421-2012. В целях минимизации случайной ошибки анализа определение ХПК в пробах производилось в трех параллельных измерениях. Значение определялось по (1):

$$X_1 = \frac{(V_1 - V_2) \cdot M \cdot 8 \cdot 1000}{V} = \frac{(20 - 17.6) \cdot 1.04 \cdot 8 \cdot 1000}{20} = 998 \frac{\text{мгO}_2}{\text{л}}$$

$$X_2 = \frac{(V_1 - V_2) \cdot M \cdot 8 \cdot 1000}{V} = \frac{(20 - 17.5) \cdot 1.04 \cdot 8 \cdot 1000}{20} = 1040 \frac{\text{мгO}_2}{\text{л}}$$

$$X_3 = \frac{(V_1 - V_2) \cdot M \cdot 8 \cdot 1000}{V} = \frac{(20 - 17.6) \cdot 1.04 \cdot 8 \cdot 1000}{20} = 998 \frac{\text{мгO}_2}{\text{л}}$$

Среднее значение ХПК:

$$\text{ХПК} = (998 + 1040 + 998) / 3 = 1012 \text{ мгO}_2/\text{л.}$$

Получившийся результат проверяется на грубые промахи по (3):

$$\text{для } n = 3: Q = \left| \frac{x_1 - x_2}{x_1 - x_n} \right| = \left| \frac{1040 - 998}{1040 - 42} \right| = \left| \frac{42}{998} \right| = 0,042$$

При $n = 3$ и $P = 0,95$ значение $Q(P, n) = 0,94$.

Таким образом, $Q = 0,042 < Q(P, n) = 0,94$, следовательно величина $X_2 = 1040$ не является грубым промахом.

Стандартное отклонение S рассчитывается по (4):

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(998-1012)^2 + (1040-1012)^2 + (998-1012)^2}{3-1}} = 5 \text{ мгО}_2/\text{л}.$$

Расчёт доверительного интервала производится по (5) с доверительной вероятностью $P = 0,95$:

$$\Delta x = \frac{t(P,f) \cdot S}{\sqrt{n}} = \frac{4,30 \cdot 5}{\sqrt{3}} = 12 \text{ мгО}_2/\text{л}.$$

С учетом доверительного интервала ХПК модельного раствора составляет 1012 ± 12 мгО₂/л.

Модельный раствор имеет показатель рН = $8,58 \pm 0,07$.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что показатели рН и ХПК сопоставимы с аналогичными показателями натурального стока прачечного предприятия, представленными в таблице 2. Следовательно приготовленный модельный раствор аналогичен натурному стоку прачечной.

Исследование процесса фильтрации модельного раствора на необработанном сорбенте. Фильтрацию выполнялась в нормальных условиях, скорость фильтрации определена опытным путем и составляет 1 м/ч. Через равные объемы фильтрата проводился анализ на содержание ХПК в фильтрате по (1). В целях минимизации случайной ошибки анализа определение ХПК в пробах производится в трех параллельных измерениях с математическим анализом результатов на грубые промахи и доверительной вероятностью $P = 0,95$. Полученные результаты представлены в таблице 13.

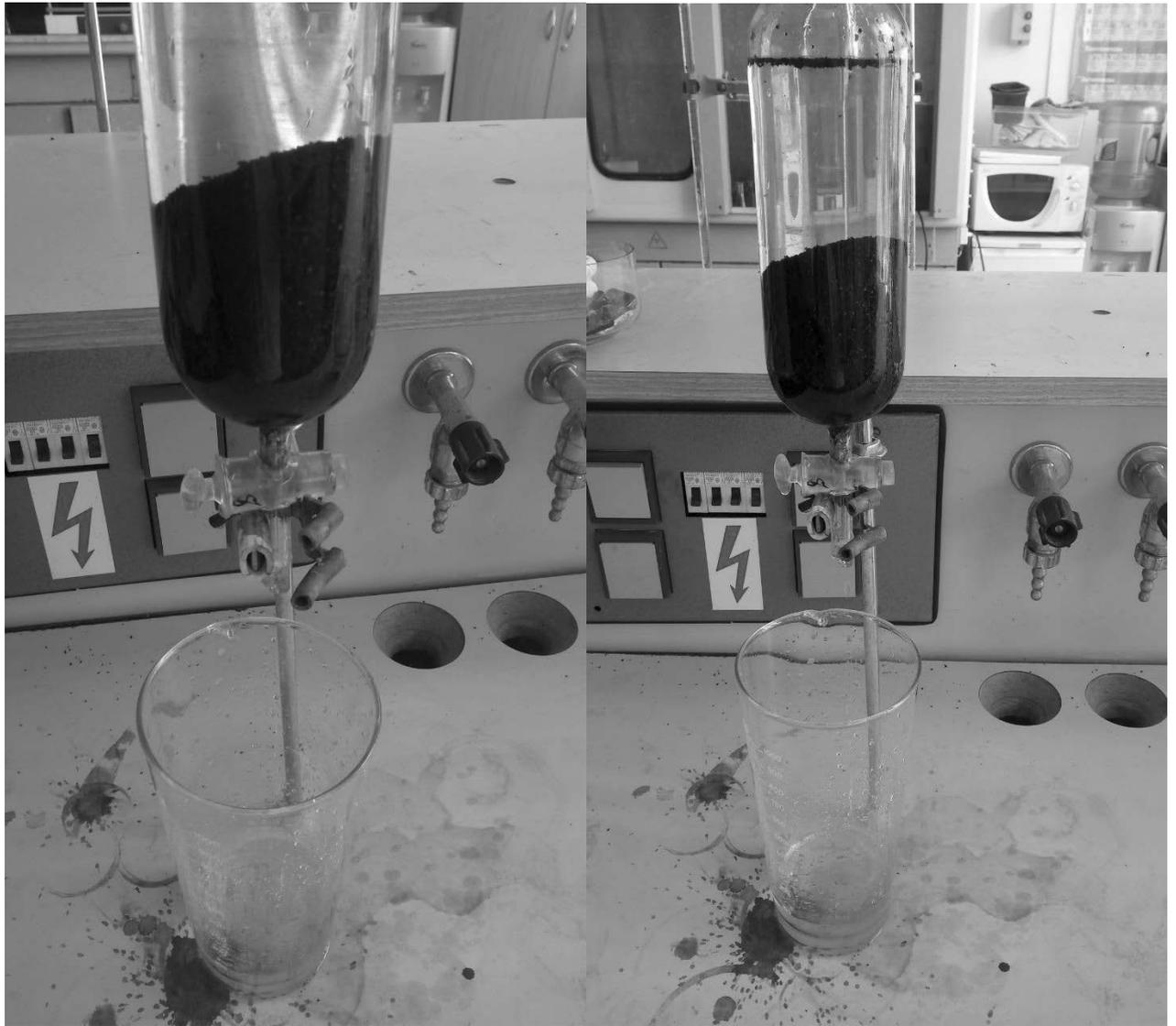


Рисунок 5 – Процесс фильтрации модельного раствора на необработанном сорбенте

Таблица 13 – Фильтрация опытного сточного раствора на необработанном активном угле

№ опыта	Объем полученного фильтрата	ХПК _{исх} , мгО ₂ /л	ХПК _{кон} , мгО ₂ /л	ХПК _{сорб} = ХПК _{кон} - ХПК _{исх} , мгО ₂ /л	% очистки стока
1	1 л	1012±12	328±9	684	68 %
2	2 л	1012±12	450±15	562	56 %
3	3 л	1012±12	602±8	410	41 %
4	4 л	1012±12	739±12	273	27 %
5	5 л	1012±12	836±11	176	17 %
6	6 л	1012±12	930±18	82	8 %
7	7 л	1012±12	993±6	19	2 %

На основании полученных данных строиться график зависимости степени очистки стока от объема, направленного на очистку. График представлен на рисунке 6.

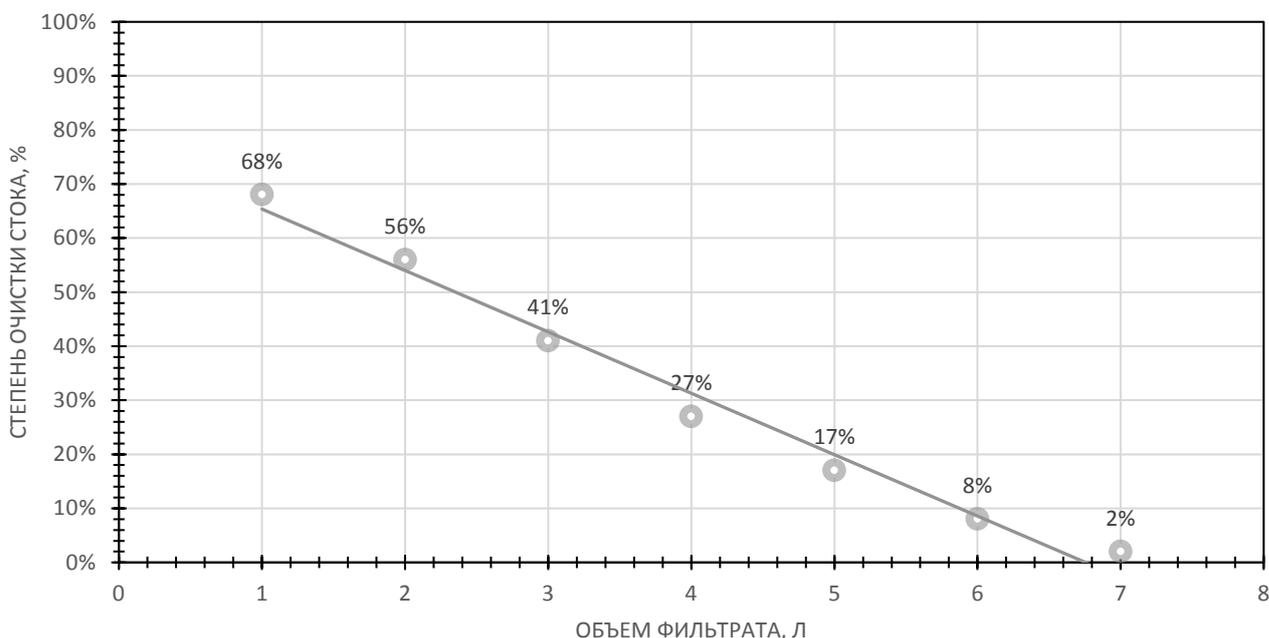


Рисунок 6 – График зависимости степени очистки стока от его объема, направленного на очистку.

По графику видно, что степень очистки первого литра фильтрата составила 68%. С каждым последующим литром степень очистки стока уменьшалась в среднем на 11%. После фильтрации 4 л стока, что соответствует $4/0,25=16$ объемам

угольной загрузки, степень очистки становится меньше 25%. Следовательно, дальнейшая работа фильтрующей загрузки является нерациональной и не несет экономического смысла.

Следующий этап – исследование сорбента, модифицированного серной кислотой. Для этого подготовили по 1 л раствора серной кислоты, различной концентрации. В нормальных условиях пропустили получившийся реагентный раствор через лабораторную колонку с необработанными активированным углем. Определение кислотностей раствора и фильтрата проводилось по (2). Скорость фильтрации определена опытным путем, так чтобы содержание серной кислоты в фильтрате равнялось нулю. На используемом лабораторном стенде скорость фильтрации установлена 1 м/ч.

Для исследований используем модельный раствор, приготовленный ранее с использованием стандарта ГСО 8049-94 и характеристиками ХПК = 1012±12 мгО₂/л, рН = 8,58 ± 0,07.

Проводили фильтрацию по 1 л стока с показателем ХПК = 1012±12 мгО₂/л на сорбенте различной модификации. В соответствии с РД 52.24.421-2012 определяли показатель ХПК для очищенного стока. Измерения показателя ХПК проводились в 3-х параллелях с оценкой на грубые промахи и доверительной вероятностью Р = 0,95. Данные исследований представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Фильтрация модельного раствора на активированном угле, различной степени модификации серной кислотой

№ опыта	Объем раствора	ХПК _{исх} , мгО ₂ /л	ХПК _{кон} , мгО ₂ /л	Количество серной кислоты в растворе, мг/л	ХПК _{сорб} = ХПК _{кон} - ХПК _{исх} , мгО ₂ /л	% очистки стока
1	1 л	1012±12	304±15	2915	708	70 %
2	1 л	1012±12	243±13	4215	769	76 %
3	1 л	1012±12	213±8	4809	799	79 %
4	1 л	1012±12	173±10	5392	839	83 %
5	1 л	1012±12	142±6	5904	870	86 %
6	1 л	1012±12	142±15	6213	870	86 %
7	1 л	1012±12	162±12	7328	850	84 %

Продолжение таблицы 14

№ опыта	Объем раствора	ХПК _{исх} , мгО ₂ /л	ХПК _{кон} , мгО ₂ /л	Количество серной кислоты в растворе, мг/л	ХПК _{сорб} = ХПК _{кон} - ХПК _{исх} , мгО ₂ /л	% очистки стока
8	1 л	1012±12	200±9	8450	812	81 %
9	1 л	1012±12	233±8	11733	779	77 %
10	1 л	1012±12	243±13	14551	769	76 %

На основании таблицы 14 определена зависимости степени очистки 1 л стока от объема серной кислоты, использованной для модификации сорбента. Данная зависимость представлена на рисунке 7.

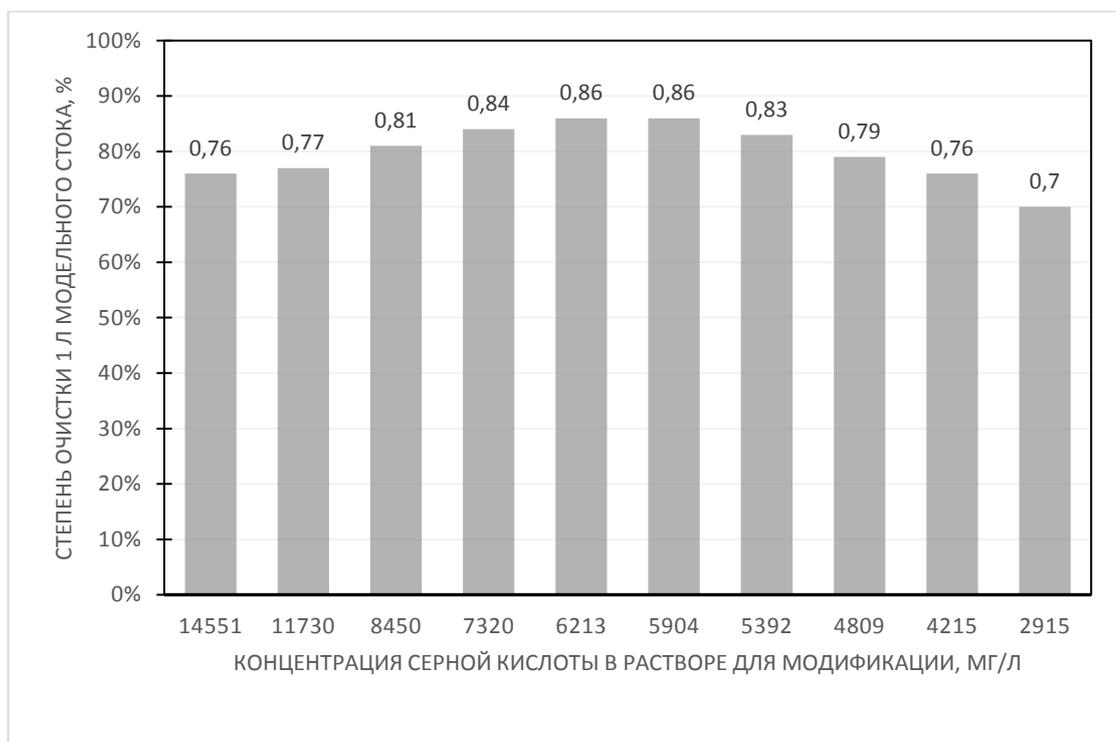


Рисунок 7 – Зависимость степени очистки стока от количества кислоты в растворе.

Анализируя рисунок 7 видно, что наибольшая степень очистки модельного раствора достигается при модификации сорбента раствором серной кислоты концентрации 6 г/л. Для проведения дальнейших исследований выбираем эту концентрацию, как наиболее оптимальную и перспективную.

Сопоставляя данные графиков (рисунок 6 и рисунок 7) видно, что степень очистки первого литра стока на модифицированном сорбенте возросла на 18% и составила 86%, вместо 68% при фильтрации на необработанной загрузке.

Следующим этапом исследования является определение эффективности работы модифицированной угольной загрузки при больших объемах стока. Для этого провели модификацию 250 мл предварительно отмытой загрузки водным раствором серной кислоты концентрацией 6 г/л в объеме 1 л. Затем через модифицированную загрузку проводили фильтрацию модельного стока, приготовленный с использованием стандарта ГСО 8049-94: ХПК = 1012±12 мгО₂/л, рН = 8,58 ± 0,07. Через объемы фильтрата, равные 0,5 л, определяли показатель ХПК. Измерения показателя ХПК проводили в 3-х параллелях с оценкой на грубые промахи и доверительной вероятностью Р = 0,95. Результаты исследований представленные в таблице 15.

Таблица 15 – Фильтрация модельного сточного раствора на модифицированном активированном угле

№ опыта	Объем полученного фильтрата, л	ХПК _{исх} , мгО ₂ /л	ХПК _{кон} , мгО ₂ /л	ХПК _{сорб} = ХПК _{кон} - ХПК _{исх} , мгО ₂ /л	% очистки стока
1	0,5	1012±12	51±9	961	95 %
2	1	1012±12	132±15	880	87 %
3	1,5	1012±12	192±8	820	81 %
4	2	1012±12	263±12	749	74 %
5	2,5	1012±12	314±11	698	69 %
6	3	1012±12	385±18	627	62 %
7	3,5	1012±12	476±6	536	53 %
8	4	1012±12	526±10	486	48 %
9	4,5	1012±12	638±6	374	37 %
10	5	1012±12	759±15	253	25 %
11	5,5	1012±12	830±12	182	18 %
12	6	1012±12	901±9	111	11 %

По данным таблицы 15 был составлен график зависимости степени очистки модельного стока на модифицированном активированном угле от объема стока, поданного на очистку. Данная зависимость представлена на рисунке 8.

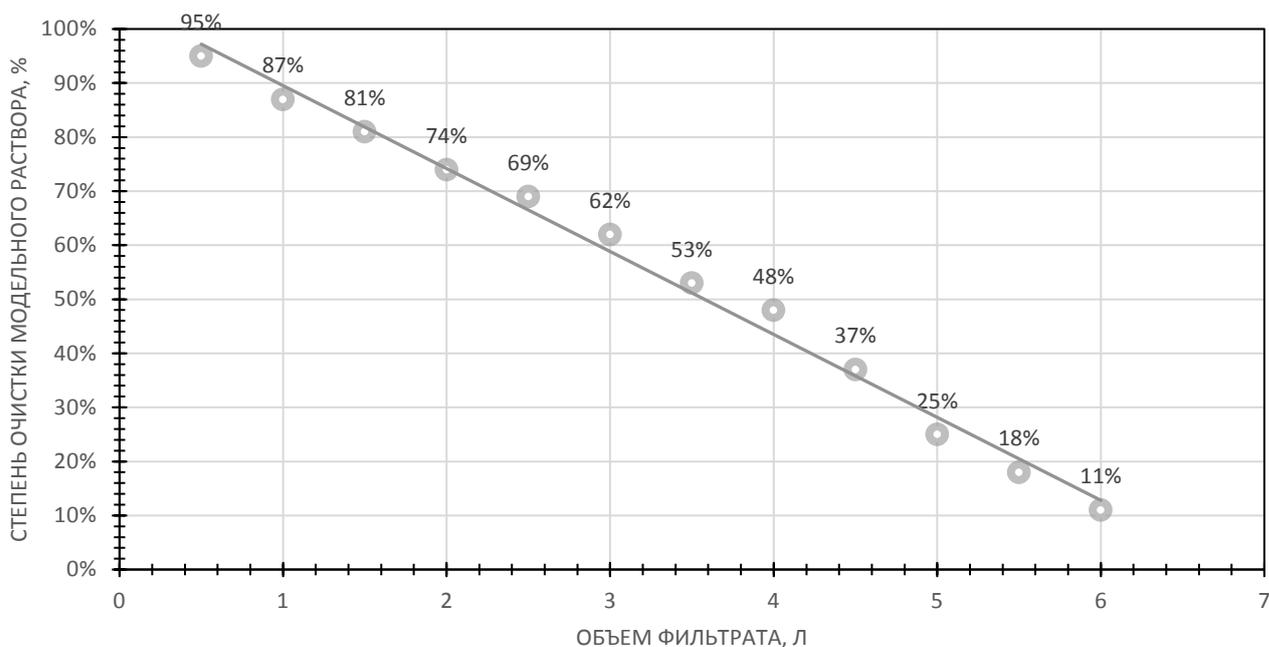


Рисунок 8 – Зависимость степени очистки модельного стока от его объема, поданного на очистку

По графику (рисунок 8) видно степень очистки стока по ХПК на модифицированном серной кислотой активированном угле зависит от объема стока, поданного на очистку. Степень очистки первого литра фильтрата модельного раствора составляет 87%, что на 19% больше, чем степень очистки того же фильтрата на необработанном угле. Кроме того, степень очистки на модифицированном сорбенте падает до 25% после очистки 5 л стока, что на 1 л больше, чем при очистке на необработанном угле.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что использование модификатора угля, а именно серной кислоты в концентрации 6 мг/л, улучшает показатели сорбции угольной загрузки марки Carbonut WT124E на 18%. Кроме того, использование модификатора увеличивает общую сорбционную емкость и дает возможность фильтрации на 1 л стока больше, при соблюдении условия сорбции не менее чем 25% органических загрязнений.

Следующим этапом исследования является апробация предложенной модификации угля на натурной сточной воде. Произвели отбор пробы на прачечном предприятии, расположенном в гостиничном комплексе. Отбор пробы производился из резервуара-накопителя. Вследствие неравномерности режимов стирки и сброса отработанной воды в течении дня резервуар-накопитель выполняет функции и усреднителя сточных вод. Характеристика отобранной пробы: ХПК = 839 ± 15 , рН = $9,21 \pm 0,07$.

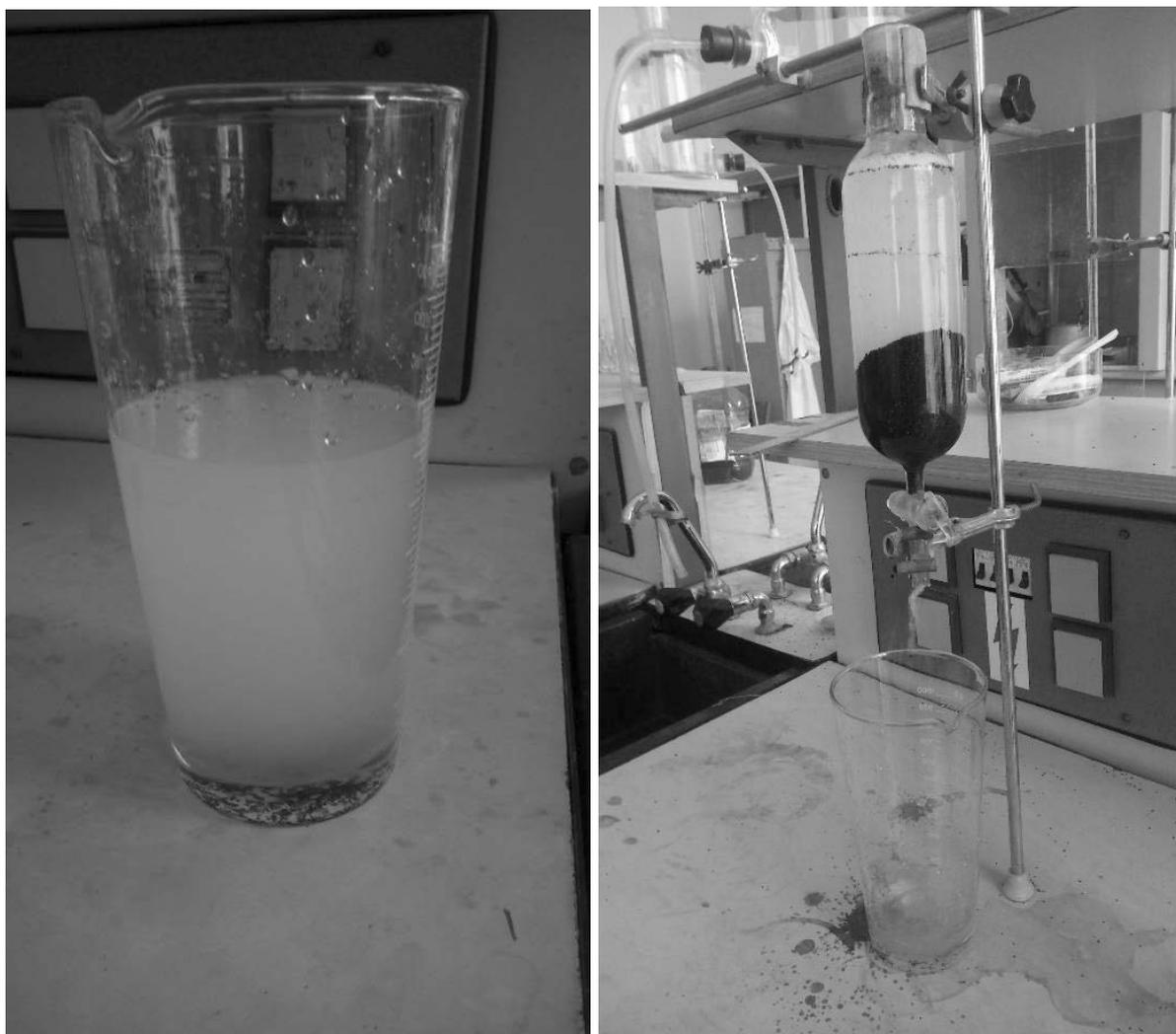


Рисунок 8 – Отобранный натуральный сток прачечного предприятия и процесс его фильтрации в лаборатории

Первым этапом осуществлялась фильтрация натурального стока на необработанном сорбенте с измерением показателя ХПК в 3-х параллелях через каждые 0,5 л фильтрата и оценкой результата на грубые промахи и доверительным интервалом. Полученные данные представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Фильтрация натурального стока на необработанном сорбенте

№ опыта	Объем полученного фильтрата, л	ХПК _{исх} , мгО ₂ /л	ХПК _{кон} , мгО ₂ /л	ХПК _{сорб} = ХПК _{кон} - ХПК _{исх} , мгО ₂ /л	% очистки стока
1	0,5	839±15	67±8	772	66 %
2	1	839±15	143±12	696	59 %
3	1,5	839±15	185±11	654	53 %
4	2	839±15	243±18	596	48 %

Продолжение таблицы 16

№ опыта	Объем полученного фильтрата, л	ХПК _{исх} , мгО ₂ /л	ХПК _{кон} , мгО ₂ /л	ХПК _{сорб} = ХПК _{кон} - ХПК _{исх} , мгО ₂ /л	% очистки стока
5	2,5	839±15	361±12	478	40 %
6	3	839±15	428±9	411	33 %
7	3,5	839±15	495±6	344	28 %
8	4	839±15	571±10	268	22 %
9	4,5	839±15	638±15	201	14 %
10	5	839±15	688±12	151	10 %
11	5,5	839±15	738±9	101	4 %
12	6	839±15	814±8	25	1 %

После этого проводилась модификация угольной загрузки водным раствором серной кислоты концентрацией 6 г/л в объеме 1 л. Осуществляли фильтрацию натурального стока на модифицированном угле. Полученные результаты проверены на грубые промахи и представлены с доверительным интервалом в таблице 17.

Таблица 17 – Фильтрация натурального стока на модифицированном активированном угле

№ опыта	Объем полученного фильтрата, л	ХПК _{исх} , мгО ₂ /л	ХПК _{кон} , мгО ₂ /л	ХПК _{сорб} = ХПК _{кон} - ХПК _{исх} , мгО ₂ /л	% очистки стока
1	0,5	839±15	67±8	772	92 %
2	1	839±15	143±12	696	83 %
3	1,5	839±15	185±11	654	78 %
4	2	839±15	243±18	596	71 %
5	2,5	839±15	361±12	478	57 %
6	3	839±15	428±9	411	49 %
7	3,5	839±15	495±6	344	41 %
8	4	839±15	571±10	268	32 %
9	4,5	839±15	638±15	201	24 %

Продолжение таблицы 17

№ опыта	Объем полученного фильтрата, л	ХПК _{исх} , мгО ₂ /л	ХПК _{кон} , мгО ₂ /л	ХПК _{сорб} = ХПК _{кон} - ХПК _{исх} , мгО ₂ /л	% очистки стока
10	5	839±15	688±12	151	18 %
11	5,5	839±15	738±9	101	12 %
12	6	839±15	814±8	25	3 %

На основании данных полученных в ходе этого этапа исследования (таблицы 16 и 17) построены графики зависимости степени очистки натурального стока на необработанном и модифицированном сорбенте. Данные графики представлены на рисунке 9.

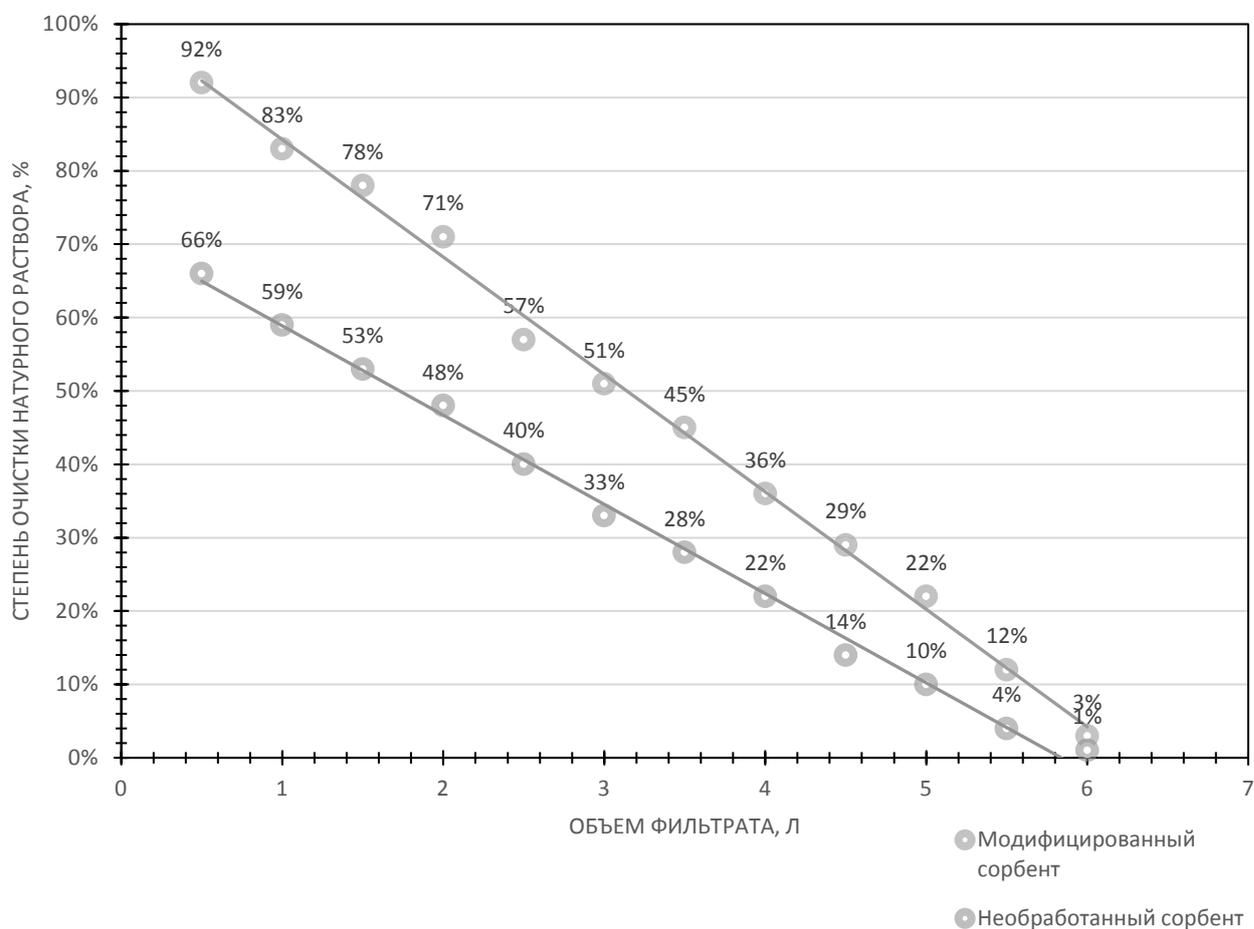


Рисунок 9 – Зависимости степени очистки натурального стока от объема фильтрата на необработанном и модифицированном сорбентах

По графикам рисунка 9 видно, что фильтрация натурального стока на модифицированном сорбенте дает лучший результат очистки, особенно первых порций стока. Эффективность очистки первых трех литров лучше на 23%. С увеличением объема фильтрата эффективность очистки в среднем уменьшается до 12%.

Для иллюстрации полученных данных построены графики фильтрации модельного раствора и натурального стока на модифицированном угле (рисунок 10).

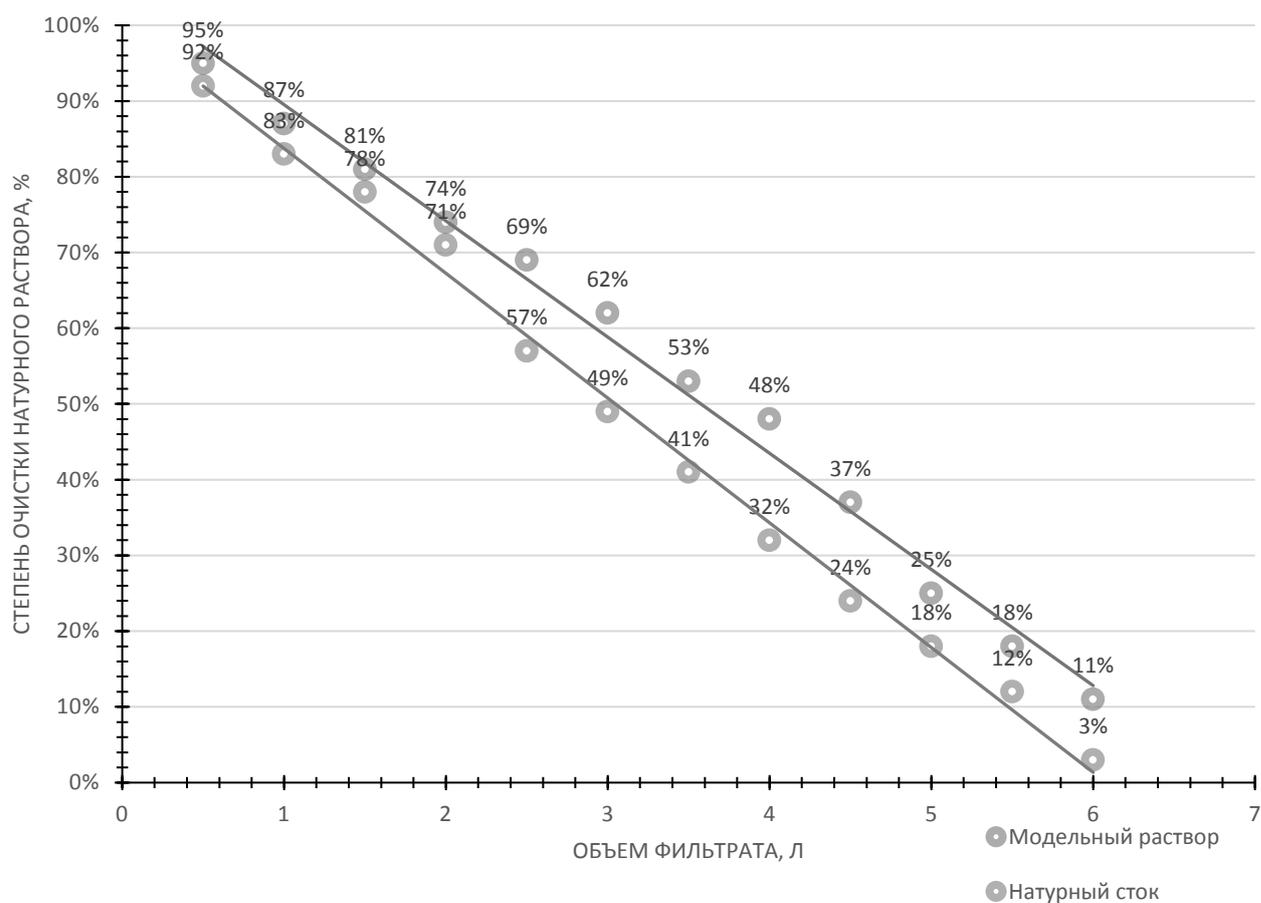


Рисунок 10 – Зависимости степени очистки модельного раствора и натурального стока на модифицированном сорбенте от объема фильтрата

Анализируя рисунок 10 можно сделать вывод, что графики имеют зависимость одного характера. Исходя из этого можно сделать вывод, что приготовленный модельный раствор в целом соответствует натурному стоку и имеет тот же характер сорбции. Однако в целом угольная загрузка при работе с натурным стоком показывает себя хуже, чем при работе с модельным стоком, снижение степени очистки меньше на 6%. Это можно объяснить наличием в натурном стоке загрязнений иного характера, чем используемые при

моделировании. Но в целом ситуацию модельный сток отражает верно и полученные результаты достоверны.

Кроме того, из полученных результатов видно, что при модификации сорбента серной кислотой сорбционная емкость увеличивается, как при работе с модельным раствором, так и при работе с натурным стоком в среднем на 13,8%. Это доказывает эффективность применения серной кислоты в качестве модификатора активированного угля.

Следующим этапом работы является – исследование метода химической регенерации сорбента, а именно окисление сорбированных загрязнений раствором пероксида водорода. Окисление проводилось до полной очистки загрузки от органических загрязнений и восстановления ее сорбирующих свойств.

Для этого был приготовлен 1 л раствора: 120 мл 30% H_2O_2 разбавляем водопроводной водой. Получившийся раствор фильтровался через колонку с отработавшим сорбентом. При этом наблюдалась активная реакция окисления с выделением тепла.

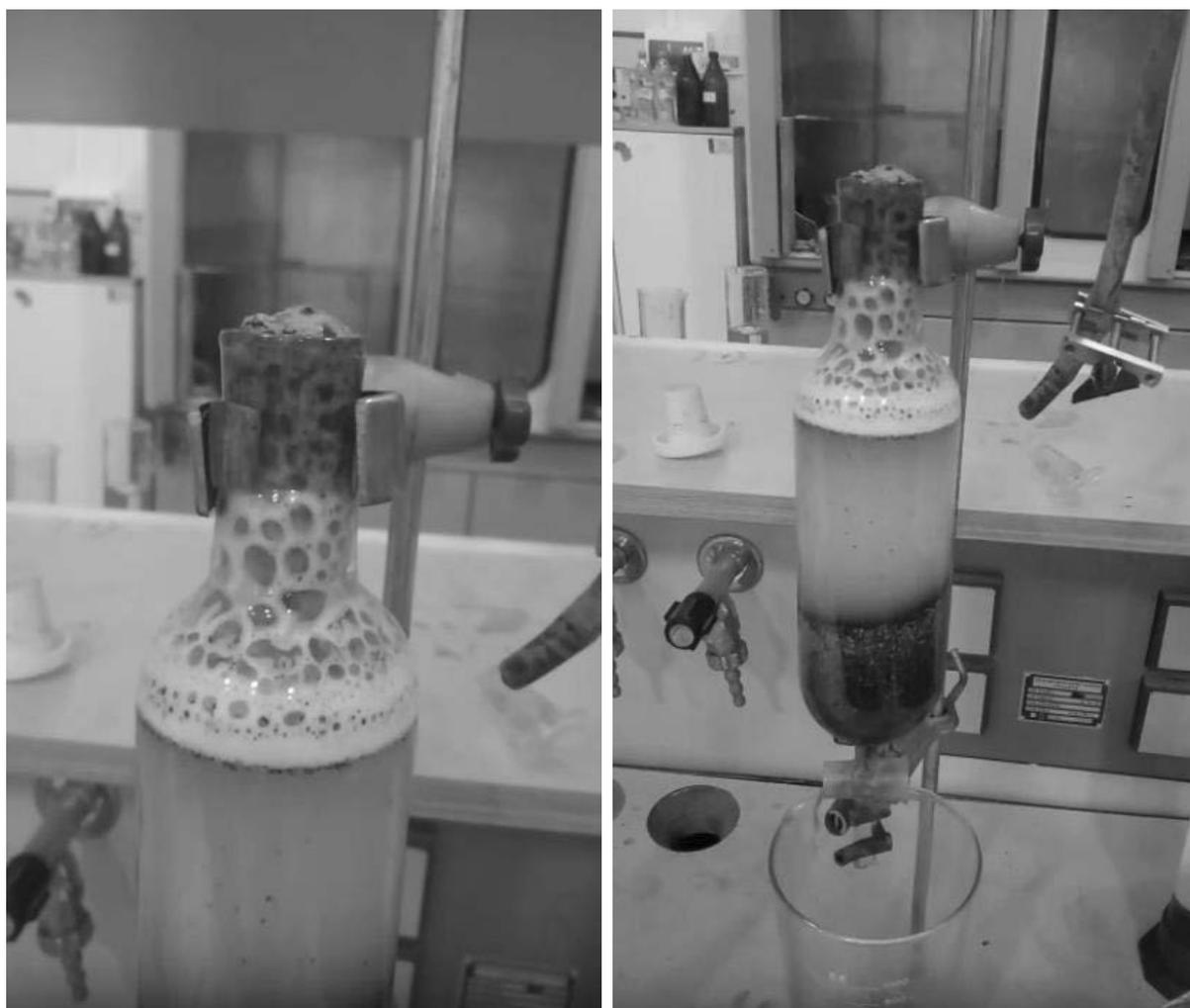


Рисунок 11 – Процесс регенерации сорбента

Процесс регенерации проводился после каждой серии исследований модифицированного сорбента в нормальных условиях при непрерывном циркулировании промывного раствора до момента прекращения активной фазы реакции (прекращения выделения пузырьков газа и нагрева). После этого проводилась промывка восстановленного сорбента дистиллированной водой с контролем промывной воды по ХПК. При наличии в промывной воде не нулевого значения ХПК процесс регенерации повторялся с уменьшением дозы пероксида водорода до 60 мл.

3.5 Выводы

1) Проведенные исследования по модификации сорбента показали, что метод модификации сорбента серной кислотой повышает эффективность очистки натурального стока прачечных предприятий по показателю химического поглощения кислорода в среднем на 13,8%.

2) Определена оптимальная концентрация серной кислоты для эффективной модификации 250 мл активированного угля марки Carbonut WT124E в модифицирующем растворе, и она составляет 6 г/л. При данной концентрации степень очистки первого литра модельного стока с исходным ХПК=1012±12 составляет 95%, а первого литра натурального стока с исходным ХПК=839±15 составляет 92%.

3) Использование модифицированного сорбента позволяет увеличить емкость сорбента с 16 объемов фильтрата до 20, что позволяет очистить большее количество стока до проведения процесса регенерации загрузки, следовательно, увеличивается экономический эффект использования модифицированного сорбента.

4) Проведение исследований по регенерации сорбента позволило установить эффективность использования пероксида водорода в качестве основного регенерирующего агента. Данный процесс регенерации позволяет многократно использовать загрузку без ее удаления из фильтра, что значительно упрощает процессы эксплуатации данной технологии.

5) Разработанная технология апробирована на натурном стоке прачечного предприятия. Степень очистки натурального стока на модифицированном сорбенте ниже степени очистки модельного раствора на 2-10%. Но в целом качество очистки лучше, чем при использовании чистого сорбента в среднем на 15%.

В целом результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о высокой эффективности использования модифицированного сорбента для очистки сточных вод прачечных предприятий. Кроме того, использование пероксида

водорода в качестве основного регенерирующего агента позволяет создать простую и эффективную схему очистки сточных вод с высоким содержанием ХПК.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы в качестве исходных данных для рекомендаций по разработке технологии обезвреживания сточных вод прачечных предприятий и ее конструкционного оформления в виде компактных установок с использованием процесса фильтрования.

4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРАЧЕЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

4.1 Исходные данные

Прачечное предприятие располагается в гостиничном комплексе города Челябинска. Номерной фонд гостиницы составляет 110 3-х местных номеров и 201 2-х местный номер. Максимальная вместимость гостиничного комплекса составляет 732 человека. Согласно [7] ежедневно образуется 2,7 кг/чел белья, направляемого на стирку. Всего белья на стирку: 732 чел. * 2,7 кг/чел. = 1976,5 кг/день белья поступает в пачечную. Для расчетов производительность прачечной принимаем – 2000 кг белья в день. Технологический режим работы используемых стиральных машин представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Технологический режим стирки

№ п/п	Операция	Расход воды, л/кг белья
1	Первая стирка	4
2	Отжим	—
3	Вторая стирка	4
4	Отжим	—
5	Первое полоскание	8
6	Отжим	—
7	Второе полоскание	8
8	Отжим	—
9	Третье полоскание	8
10	Отжим	—
Итого:		32

Ежедневно образуется $2000 \text{ кг/день} * 32 \text{ л/кг} = 64\,000 \text{ л/день} = 64 \text{ м}^3/\text{день}$ сточных вод.

Сброс сточных вод после стиральных машин осуществляется в резервуары-усреднителя. После локального обезвреживания сточных вод предполагается следует их сброс в коллектор в соответствии с выданными предприятию ТУ. Общая

характеристика стока после резервуара усреднителя представлена в таблице 19.

Таблица 19 – Характеристика стока прачечной

Показатели загрязняющих веществ	Концентрация загрязнений		ПДК для сброса в коллектор, согласно выданным ТУ
	Среднее значение	Предельное значение	
рН	8,5	8,25-9,82	6,5-8,5
Температура, °С	25	15-40	30
Взвешенные вещества, мг/л	290	200-464	500
Плотный остаток, мг/л	1384	1022-1678	1000
ХПК, мгО ₂ /л	1020	750-1450	До 800
БПК ₅	510	270-750	500
Жиры, мг/л	256	223-299	20
Хлориды, мг/л	50-60	80-100	350
ПАВ, мг/л	130	92-200	2,5
Сульфаты, мг/л	150	200-210	500

Из анализа таблицы 19 видно, что концентрации ПДК превышены по содержанию ХПК на 220 мгО₂/л, в том числе ПАВ – 127,5 мг/л. Следовательно, данные сточные воды не могут быть сброшены в коллектор городской канализации и требуется устройство компактных локальных очистных сооружений для их обезвреживания и очистки.

4.2 Расчет основных узлов и агрегатов

На основании анализа исходных данных для обезвреживания и очистки сточных вод данной прачечной предлагается использовать технологическую схему, состоящую из резервуара-накопителя, блока механической очистки, блока сорбционных фильтров, реагентного блока и резервуара-усреднителя. Принципиальная схема очистки стока прачечной представлена на рисунке 12.

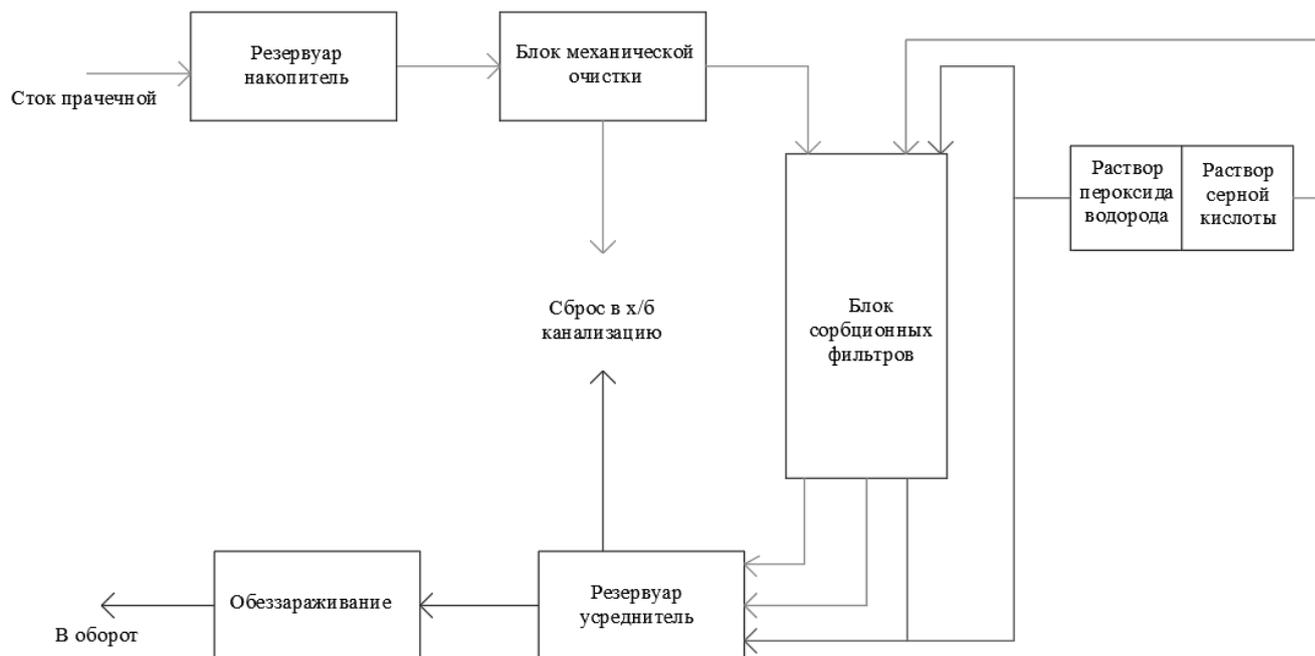


Рисунок 12 – Принципиальная схема очистки сточных вод прачечной

Вода из х/б водопровода подается вода в блок сорбционных фильтров для промывки загрузки от угольной пыли. Промывная вода отводится в резервуар усреднитель.

Из растворного бака в блок сорбционных фильтров для модификации активированного угля подается раствор H_2SO_4 концентрацией 6 г/л. После окончания процесса модификации отработавший раствор из блока сорбционных фильтров отводится в резервуар – усреднитель.

Из резервуара – накопителя в блок механической очистки подается сточная вода. Далее при соблюдении нормативов ПДК по ХПК очищенный сток сбрасывается в городской коллектор. Если установлено превышение ПДК, то механически очищенный сток подается в блок сорбционных фильтров для обезвреживания, затем поступает в резервуар – усреднитель.

Из резервуара – усреднителя очищенный и обезвреженный сток может использоваться для технических нужд основного предприятия (гостиницы), в частности: полив газона, уборка территории, мойка машин. Если в этом отсутствует необходимость, то обезвреженный сток сбрасывается в х/б канализацию.

По достижению сорбционной емкости в блок сорбционных фильтров подается регенерирующий раствор H_2O_2 концентрацией 120 мг/л. Данный раствор циркулирует через фильтры до окончания процесса активной реакции окисления и

выделения водорода. Далее регенерирующий раствор отводится в резервуар – усреднитель.

В резервуаре – усреднителе происходит усреднение всех вод: от промывки сорбента, от его модификации, обезвреженный сток прачечной с разными значениями по ХПК (с увеличением объема фильтрата увеличивается его значение ХПК), а также отработанный регенеративный раствор.

Время работы фильтра принято – 12 ч. Общий объем стока составляет $V = 64 \text{ м}^3/\text{день}$. Производительность фильтра должна быть не менее $64 \text{ м}^3 / 12 \text{ ч} = 5,3 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Исходя из производительности, а также учитывая, что помещения прачечных располагаются бытовых зданиях и не имеют отдельных очистных сооружений, выбираем 3 фильтра марки ПВО-01FC10-S-VII-У.

Таблица 19 – Характеристики фильтра ПВО-01FC10-S-VII-У.

Тип фильтра	Диаметр, мм	Производительность, м ³ /час	Давление рабочее, бар	Высота, мм
ПВО-01FC10-S-VII-У	535	2,2	2,5-10	1740

Данные фильтры отличаются высокой производительностью и малыми размерами, что позволяет размещать их в общих технических помещениях, без выделения отдельных площадей под сооружения очистных. Кроме того, при неполной загруженности прачечной, установка нескольких фильтров позволяет изменять режим работы всей схемы.

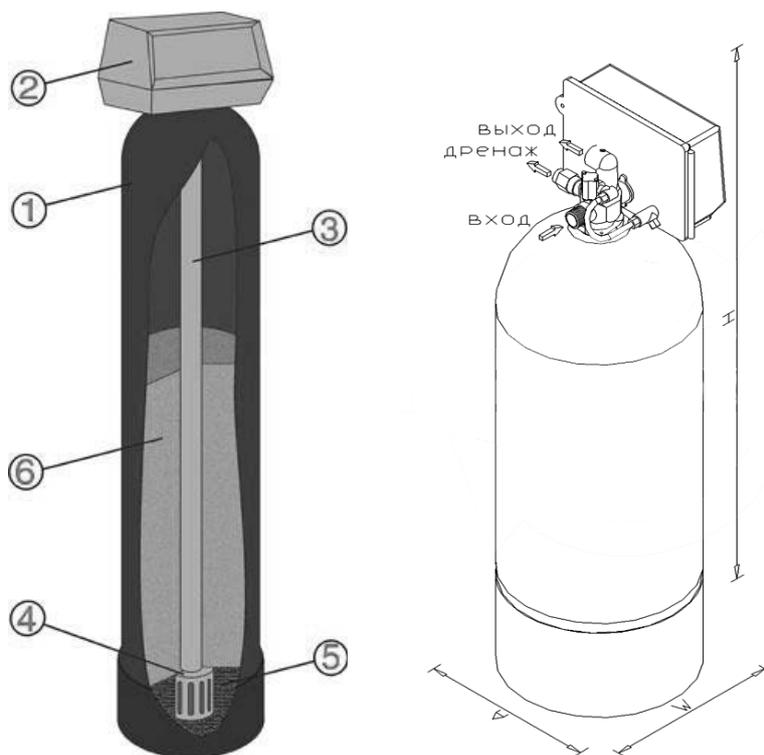


Рисунок 13 – Фильтр ПВО-01FC10-S-VII-Y

Общий объем загрузки данных фильтров составляет:

$$V_{\text{загр}} = N * h * \pi * r^2 = 3 * 1,74 * 3,14 * 0,268 * 0,268 = 1,2 \text{ м}^3$$

Для модификации 250 мл сорбента требовалось 1 л раствора серной кислоты концентрацией 6 г/л. Для модификации 1,2 м³ сорбента потребуется: 1200 л / 0,25 л = 300 л = 0,3 м³ раствора серной кислоты.

Исходя из опытов установлено, что целесообразная емкость сорбента определяется отношением объема сорбента к объему стока как 1:20. Исходя из этого емкость цикла работы сорбента будет составлять $V_1 = 1,2 \text{ м}^3 * 20 = 24 \text{ м}^3$. Это значит, что через каждые 24 м³ очищенного стока требуется проводить регенерацию отработанной загрузки.

Для регенерации 250 мл загрузки требуется 1 л раствора 30% H₂O₂. Для регенерации 1,2 м³ потребуется 0,3 м³ раствора пероксида водорода.

Время одного фильтроцикла t составит:

$$t = (24 + 0,3 + 0,3) / (2,2 * 3) = 3,7 \text{ ч}$$

Для очистки максимального суточного объема стока прачечной потребуется:

$$T = V / V_1 * t = 64 / 24 * 3,7 = 9,8 \text{ ч}$$

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что предложенная схема является эффективной, как по временным затратам на очистку суточного стока, так и по степени своей вариативности. Это позволяет изменять режим работ фильтров в зависимости от объема поступления стоков и осуществлять обезвреживание стока в требуемом режиме.

4.3 Экономическая характеристика

Для исследования экономической характеристики разработанной технологии локальной очистки сточных вод прачечных предприятий были определены капитальные затраты на агрегаты, эксплуатационные затраты и приведенные затраты.

Приведенные затраты представляют собой сумму годовых эксплуатационных затрат, отнесенных к годовой размерности капитальных вложений в строительство соответствующих объектов [45].

Приведенные затраты определяются по формуле:

$$П = С + Е_n * К, \quad (7)$$

где С – эксплуатационные затраты по данному варианту;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, который принимается по хозяйству не ниже 0,23;

К – капитальные вложения в строительство объектов.

В качестве эксплуатационных затрат учитывались затраты на пероксид водорода и серную кислоту. При этом учитывалась среднерыночная цена на каждый из этих реактивов:

- 1) пероксид водорода 30% – 35 руб/кг;
- 2) серная кислота – 40,00 руб/кг.

Капитальные вложения по оборудованию определялись по современному рынку. Стоимость одного фильтра марки ПВО-01FC10-S-VII-Y или аналогичного по своим характеристикам составляет 65 тыс. руб. Всего капитальные затраты составляют $65 * 3 = 195$ тыс. руб.

В эксплуатационных затратах были учтены следующие статьи затрат:

- стоимость реагентов;
- стоимость электроэнергии ввиду ее высокой стоимости низкой потребности в электричестве была взята в размере 5% от прочих эксплуатационных затрат.

Эксплуатационные затраты составляют 54,584 тыс. руб. / год.

Согласно (7) приведенные затраты составляют:

$$\Pi = C + E_n \cdot K = 14,58 + 0,23 * 195 = 59,43 \text{ тыс. руб.}$$

Получаемую прибыль от сооружений очистки сточных вод рассчитывали по таким показателям, как:

- прибыль от снижения штрафов;
- возвратная вода в оборот.

Плата за сброс ПАВ в водные объекты 1240 руб./т [21].

Плата за сброс ПАВ составляет 36,932 тыс. руб. / год.

Прибыль от возвратной воды определялась, как объем 80-85% от исходной воды по стоимости 17,00 руб./м³.

Прибыль от возвратной воды составляет 317,696 тыс. руб./год.

Таблица 20 – Основные показатели и окупаемость ЛОС, тыс. руб.

Тип схемы очистки	Показатель			
	Расход сточных вод, м ³ /день	Капитальные затраты, тыс. руб.	Амортизационные отчисления (8,5%), тыс. руб.	Эксплуатационные затраты, тыс. руб.
Сорбция	64	195,00	16,57	54,58
Флотация	20	754,00	64,09	– *

Продолжение таблицы 20

Тип схемы очистки	Показатель		
	Прибыль, тыс. руб.	Чистая прибыль, тыс. руб.	Окупаемость, год
Сорбция	354,63	88,47	2,2
Флотация	– *	27,65	27,3

* – не представляется возможным подсчитать.

Из полученных данных видно, что окупаемость предложенных локальных очистных сооружений производительностью 64 м³/день составит 2,2 года. Через 2,2 года данные сооружения начнут приносить порядка 88,47 тыс. руб. чистой прибыли. Данного показателя достаточно для оплаты труда инженера, контролирующего работу очистных сооружений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы было определено влияние сточных вод прачечных предприятий на окружающую среду. Было доказано, что недопустимы даже небольшие сбросы данных сточных вод в водные объекты и бытовую канализацию. Попадание ПАВ в водный объект нарушает его гидробиологический режим и, присутствие больших концентраций ПАВ в ходе биологической очистки на очистных сооружениях существенно нарушают ход ее работы.

Существующие методы очистки сточных вод прачечных предприятий предполагают незначительное снижение концентрации ПАВ, их очистку без повторного использования воды. Предложенная данным исследованием технология позволяет производить очистку сточных вод и получать оборотную воду на дополнительные технологические нужды.

Для интенсификации процесса обезвреживания использован метод модификации активных углей серной кислотой. Оптимальная концентрация раствора серной кислоты составила 6 г/л. Определены путем экспериментального наблюдения и моделирования степени очистки сточных вод и модельного раствора модифицированными и неизменными сорбентами. Получены данные для расчета экономических затрат на примере прачечной производительностью 2000 кг белья в день.

Доказано, что представленная технология обезвреживания сточных вод прачечных предприятий является экономически и экологически выгодной. Очистные сооружения при этом рассматриваются, как отдельное производство вторичной продукции. Окупаемость по экономическим показателям для данной производительности в $64 \text{ м}^3/\text{день}$ составила 2,2 года.

Таким образом, обобщая полученные результаты исследования, можно заключить, что для одного из распространенных коммунальных объектов - прачечных производств, имеющих большой объем сточных вод, впервые обоснована технологическая схема оборотного водоснабжения на основе разработки физико-химических процессов очистки и обеззараживания отработанных моющих растворов, обеспечивающая экономию воды и минимизацию загрязнения окружающей среды.

Определяя перспективы развития важной проблемы снижения загрязнения окружающей среды, следует отметить актуальность дальнейших исследований по сравнительной эффективности и экологической безопасности различных методов обезвреживания стоков: хлорирования, озонирования, воздействия УФ-излучения.

Научная новизна работы: разработано технологическое решение, позволяющее провести интенсификацию существующих и проектируемых локальных очистных сооружений прачечных предприятий.

Практическая значимость работы заключается в получении технологических параметров для разработки технологической схемы обезвреживания стоков существующих и проектируемых прачечных предприятий.

Основные результаты работы опубликованы:

1. Арканова, И. А. Очистка сточных вод комбинатов бытового обслуживания / И. А. Арканова, М. В. Мачинский // Водоснабжение, водоотведение и системы защиты окружающей среды: сборник статей Международной научно-технической конференции. – Уфа, 2019.

2. Арканова, И. А. Результаты исследований для разработки ресурсосберегающей технологии обезвреживания сточных вод, содержащих ПАВ / И. А. Арканова, М. В. Мачинский // Сборник статей Конференции профессорско-преподавательского состава ЮУрГУ. – Челябинск, 2019.

3. Арканова, И. А. очистка сточных вод прачечных предприятий / И. А. Арканова, М. В. Мачинский // Сборник статей XIX Международной научно-практической конференции. – Самара, 2019.

4. Арканова, И. А. Разработка сорбционной технологии очистки сточных вод прачечных предприятий / И. А. Арканова, М. В. Мачинский // Научные исследования, как основа инновационного развития общества: сборник статей Международной научно-практической конференции 11 июля 2019 г. – Т. 2 – МЦИИ ОМЕГА САЙНС, Самара, 2019. – С. 43-48.

5. Арканова, И. А. Разработка и апробация сорбционной технологии очистки сточных вод прачечных предприятий / И. А. Арканова, М. В. Мачинский // Международный электронный журнал «Столица науки». Технические науки [Электронный ресурс] – 2019.

6. Arkanova, I.A. Technology of wastewater treatment of residential services complexes with a modified sorbent / I.A. Arkanova, M.V. Machinskiy // Magazine of Civil Engineering – 2019.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коробан, В.А. Экология природных вод и почвы // Международная научно-техническая конференция "Наука-сервису". -М.: Государственная академия сферы быта и услуг. - 1999. -с.30-32
2. Морозова, Н.А Очистка сточных вод после прачечной. - М.: Химия. - 1978.
3. Порядин, А.Ф. Экологические аспекты водопользования // Водоснабжение и санитарная техника. - 2001. - №3. - с. 2-4
4. Малышева, А.Г. Вода: совершенствование аналитических методов контроля качества // Пятый международный конгресс "Вода: экология и технология". - Экватэк. - 2002
5. Малышева, А.Г. Совершенствование аналитического контроля водных объектов окружающей среды // Гигиена и санитария. - 2000. -№5. - с. 69-72
6. Яковлев, С.В. Канализация. - М.: Стройиздат. - 1978.
7. Миташова, Н.И. Основные тенденции и способы очистки сточных вод прачечных // Химчистка и прачечная. - № 3. -1998. - с. 13 -22.
8. Можаяев, Е.А. Загрязнение водоемов поверхностно-активными веществами. — М.: Медицина. - I 976.
9. Николадзе, Г.И. Коммунальное водоснабжение и канализация. М.: Стройиздат. - 1983.
10. Николадзе, Г.И. Технология очистки природных вод. - М.: Высшая школа. - 1987.
11. Коробан, В.А. Теоретические аспекты экологического сервиса // Международная научно-техническая конференция "Наука-сервису". - М.: Государственная академия сферы быта и услуг. - 1999. - с. 142-145
12. Граусман, О.М. Химические материалы, красители и моющие средства. -М.: Легпромбытиздат, - 1985.
13. Федорова, А.Ф. Технология химической чистки и крашения. -М.: Легпромбытиздат. - 1990.
14. Родионов, А.И. Техника защиты окружающей среды. - М.: Химия. - 1989.
15. Лукашев, Е.А. Исследование кинетических особенностей последовательности реакций при дехлорировании воды на гранулированных пористых углях // Химия и технология воды. - 13, №7. - с. 621-623
16. Алексеев, Е. В. Основы технологии очистки сточных вод флотацией / Е.В. Алексеев. - М.: АСВ, 2016. - 407 с.

17. Алексеев, Е.В. Основы технологии очистки сточных вод флотацией. Монография, научное издание / Е.В. Алексеев. - М.: Ассоциация строительных вузов (АСВ), 2014. - 786 с.
18. Байрамова, А. Интенсификация флотационной очистки сточных вод. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. - 132 с.
19. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод / Ю.В. Воронов. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2013. - 704 с.
20. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод. Учебное издание. Гриф МО РФ / Ю. В. Воронов. - М.: Ассоциация строительных вузов (АСВ), 2013. - 210 с.
21. Доливо-Добровольский, Л. Б. Микробиологические процессы очистки воды / Л.Б. Доливо-Добровольский. - М.: Норма, 2016. - 182 с.
22. Кичигин, В. И. Процессы очистки воды / В.И. Кичигин. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2013. - 232 с.
23. Кичигин, В.И. Моделирование процессов очистки воды. Гриф МО РФ / В.И. Кичигин. - М.: Ассоциация строительных вузов (АСВ), 2017. - 491 с.
24. Ксенофонтов, Б. И. Интенсификация процессов очистки воды флотацией / Б. И. Ксенофонтов. - М.: Lambert Academic Publishing, 2014. - 108 с.
25. Левадный, В. С. Дренаж и очистка сточных вод / В.С. Левадный. - М.: Аделант, 2014. - 503 с.
26. Луканин, А.В. Инженерная экология: процессы и аппараты очистки сточных вод и переработки осадков. Учебное пособие: моногр. / А.В. Луканин. - М.: ИНФРА-М, 2017. - 205 с.
27. Маннанова, Г. В. Методы очистки промышленных сточных вод. – М.: СИНТЕГ, 2015. - 539 с.
28. Никифоров, Л. Н. Локальная очистка жиросодержащих сточных вод / Л. Н. Никифоров. - М.: Palmarium Academic Publishing, 2014. - 172 с.
29. Орлов, А. А. Методы предварительной, финишной и глубокой очистки воды: моногр. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. - 220 с.
30. Савельев, С. С. Интенсификация очистки сточных вод. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. - 144 с.
31. Будыкина, Т.А. Процессы и аппараты защиты гидросферы: учеб. пособие для студ. высш. проф. образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 288 с.
32. Журба М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: т.2., изд. 2-е, пер. и доп. Учеб. пособие. – М.: Издательство АСВ, 2004. – 496 с.
33. Рябчиков, Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. – М.: ДеЛи принт, 2004. – 328 с.

34. СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84* (с Изменениями N 1, 2, 3)
35. Туровский, И.С. Обработка осадков сточных вод. – М.: Стройиздат, 2009. – 256 с.
36. Субботкин, Л.Д. Очистка сточных вод от поверхностно-активных веществ методом электрофлокоагуляции. – М.: Строительство и техногенная безопасность. Выпуск 38, 2011.
37. Патент RU 2 463 107 С2 «Активированный уголь, импрегнированный кислотой, способы его получения и применения».
38. Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 N 913 (ред. от 29.06.2018) "О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах".
39. Смагин, В.Н. Анализ механизма процесса дехлорирования воды на гранулированных пористых углях // Химия и технология воды. - 1991. - 13, №7. - с. 602-607
40. Смагин, В.Н. Технологическое моделирование процесса дехлорирования воды и сточных вод при фильтрации через пористые угли // Строительство и архитектура - № 7. ВНИИТПИ Госстроя СССР. - 1991.
41. Юнусов, М.П. Сорбционные свойства активного угля, полученного из хлопкового лигнита, и его применение для очистки воды от органических веществ // Химия и технология воды. — 2001. -т.23. -№6. -с. 607-611
42. Matsuo T., Nishi T. Activated carbon filter treatment of laundry waste-water in nuclear-power-plants and filter recovery by heating in vacuum. // Carbon. - 2000. - Vol. 38. - Iss. 5. - pp. 709-714.
43. Ярославский, З.Я. Классификация физико-химических методов обработки воды. // Водные ресурсы. 1974. - № 2. - с. 120 - 126.
44. Кемпбел Дж. Современная общая химия. - М.: Мир. - т.2. -1975.
45. СН 509-78. Сметный норматив. Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М.: Стройиздат, 1979. – 101 с.