

На правах рукописи



ИГНАТКИНА ДАРЬЯ ОЛЕГОВНА

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ
СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЯ ТАБАЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

05.23.04 – Водоснабжение, канализация, строительные системы
охраны водных ресурсов

Автореферат

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пенза – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Волгоградский государственный технический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Москвичева Елена Викторовна

Официальные оппоненты: **Назаров Владимир Дмитриевич**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет», профессор
кафедры «Водоснабжение и водоотведение»

Политаева Наталья Анатольевна
доктор технических наук, профессор,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра Великого»,
профессор Высшей школы гидротехнического и
энергетического строительства

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный
архитектурно-строительный университет»

Защита состоится «20» декабря 2019 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д212.184.02, созданного на базе ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», по адресу: 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, 1 корпус, конференц-зал.

С диссертационной работой и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства» и на сайте <http://dissovet.pguas.ru>.

Автореферат разослан «____» _____ 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Бикунова Марина Викторовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Важнейшим фактором устойчивого развития страны является экологическая безопасность, которая связана, в первую очередь, с реализацией высокоэффективных технологий очистки промышленных сточных вод (СВ).

На территории Российской Федерации имеется значительное число промышленных предприятий, на которых в соответствии с действующим постановлением Правительства РФ от 29.07.2013 № 644 (ред. от 26.07.2018) «Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» не обеспечивается необходимый уровень содержания вредных примесей в СВ перед сбросом их в канализационную сеть города.

Среди источников образования СВ следует выделить предприятия табачной промышленности. Главной особенностью СВ обозначенной отрасли является их сложный многокомпонентный состав, характеризующийся высоким содержанием органических загрязнений. Поступление указанных СВ в городскую канализационную сеть способствует заиливанию трубопроводов, а также, нарушению кислородного режима и изменению микрофлоры, что, в свою очередь, приводит к снижению эффективности биологической очистки на городских канализационных очистных сооружениях.

Анализ литературных источников свидетельствует о недостаточной проработке технологических подходов в вопросах очистки многокомпонентных стоков предприятий табачной индустрии, позволяющих на основе ресурсосберегающих технологий не только эффективно очищать производственные СВ, но и использовать их в дальнейшем в водообороте предприятия, что способствует повышению экологической безопасности потребителей воды. Данная работа рассматривает и решает обозначенные проблемы, что подтверждает ее **актуальность**.

Работа проводилась в соответствии с комплексной Федеральной целевой программой «Чистая вода» (2011-2017 гг.), Федеральной целевой программой «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах», Стратегией развития пищевой и перерабатывающей промышленности Российской Федерации на период до 2020 г, Ведомственной целевой программой «Повышения экологической безопасности Волгоградской области на 2013-2015 годы», Ведомственной целевой программой «Комплекс мероприятий по охране окружающей среды» на 2014-2016 годы, Муниципальной целевой программой «Чистый Волгоград» на 2012–2018 годы, и с тематическим планом научно-исследовательских работ ФГБОУ ВО Волгоградского государственного технического университета.

Промышленные испытания и внедрение результатов проводились на базе одного из предприятий табачной индустрии РФ*, в рамках договора о сотрудничестве № 1/18 УНИР (ВолГТУ).

*Примечание. В рамках заключенного договора о сотрудничестве с одним из предприятий табачной индустрии РФ в автореферате согласно пункту 4.1 (о конфиденциальности предоставляемой информации) – юридическое название предприятия не подлежит разглашению.

Степень разработанности проблемы. Вопросы, связанные с очисткой многокомпонентных СВ, образующихся на предприятиях пищевой индустрии, изучались в работах С.Р. Бираговой, С.Ю. Андреева, Ф.Ф. Шакирова, Б.С. Ксенофонтова, К.А. Степанова, Е.Н. Кальсиной, Л.Л. Никифорова, Д.А. Данилова, Н.Л. Литмановой, А.В. Быкова и многих других.

Несмотря на значительное количество научных публикаций, посвященных теоретическим и практическим аспектам как традиционным, так и новым способам очистки многокомпонентных СВ пищевых предприятий, в частности табачной индустрии, актуальной остается задача разработки технологий обработки некондиционных вод обозначенной отрасли, позволяющих не сбрасывать их в канализационную сеть города, а повторно использовать на технические нужды.

Предлагаемая в диссертации технология очистки, предусматривающая поэтапную обработку СВ, положительно отличается от известных аналогов, прежде всего, по технологическим и экономическим характеристикам и является энерго- и ресурсосберегающей.

Цель работы. Разработка технологии очистки многокомпонентных сточных вод для предприятия табачной индустрии, позволяющей использовать очищенные стоки в замкнутой системе промышленного водоснабжения.

Сформулированная цель предопределила постановку следующих **задач**:

- анализ и обобщение отечественных и зарубежных научных достижений в области водоснабжения и водоотведения для предприятий табачной индустрии;
- теоретическое и экспериментальное исследование в лабораторных условиях известных безреагентных методов очистки многокомпонентных СВ и факторов, влияющих на их эффективность;
- экспериментальный поиск наиболее эффективного сочетания существующих физико-химических способов очистки СВ табачной фабрики (ТФ);
- выявление рабочих параметров обработки СВ методом электроокисления, позволяющих извлекать загрязняющие компоненты до допустимых значений;
- экспериментальные исследования работы гранулированного композитного сорбента (ГКС), полученного на основе отхода производства рассматриваемого предприятия, и определение технологических параметров сорбционной доочистки СВ с целью достижения остаточных концентраций загрязнений, позволяющих использовать очищенную воду в замкнутой системе водоснабжения (ЗСВ) ТФ;
- разработка конструкции комбинированного устройства для проведения совместной электрохимической и сорбционной очистки СВ ТФ;
- разработка технологической схемы очистки многокомпонентных СВ ТФ.

Основная идея работы состоит в снижении объема свежей воды, используемой в производственном цикле на примере предприятия табачной индустрии РФ, за счет реализации локальной ЗСВ в результате применения разработанной ресурсосберегающей технологии глубокой очистки СВ ТФ.

Методология и методы исследования включали аналитическое обобщение известных научных и технических результатов, лабораторные и полупромышленные исследования с использованием физико-химических методов анализа, обработку экспериментальных данных математическими методами с применением ЭВМ.

Достоверность полученных результатов подтверждена экспериментальными исследованиями в лабораторных условиях, выполненными по стандартным методикам с применением приборов и оборудования, обеспечивающих требуемую точность и надежность результатов измерений, а также высокой степенью соответствия данных, полученных в ходе лабораторных и производственных испытаний.

Научная новизна:

- **определены** условия проведения энергосберегающего процесса электроокисления, способствующие разрушению водорастворимых органических загрязнений, содержащихся в обозначенных СВ (материал электродов, плотность тока, время обработки постоянным электрическим током, величина рН, температура обрабатываемой воды и концентрация поваренной соли);

- **установлены** рациональные параметры процесса сорбционной доочистки СВ ТФ с применением разработанного автором сорбента ГКС, обеспечивающей требуемую степень изъятия органических примесей и активного хлора;

- **получены** математические зависимости для определения плотности тока на электродах электролизера и эффективности процесса динамической сорбции в слое сорбента ГКС применительно к очистке СВ предприятия табачной промышленности;

- **предложена** новая конструкция устройства для эффективной электрохимической обработки и последующей сорбционной доочистки СВ ТФ.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- теоретически обосновано направление исследований по очистке многокомпонентных СВ ТФ;

- определены константы мономолекулярной адсорбции Ленгмюра для статических и динамических условий, адекватно описывающие полученные экспериментальные зависимости;

- предложена и апробирована в лабораторных и полупромышленных условиях комплексная технология очистки СВ, на примере предприятия табачной индустрии, расположенного на территории РФ, с реализацией ЗСВ основного производства;

- разработаны рекомендации по подбору технологических параметров совместной электроокислительно-сорбционной обработки СВ ТФ;

- произведен расчет годового технико-экономического эффекта от внедрения предлагаемой технологии очистки СВ на предприятии табачной индустрии РФ.

Реализация результатов работы. Разработанная технология очистки СВ от многокомпонентных загрязнений рекомендована к внедрению на одном из

предприятий табачной индустрии РФ г. Волгограда. Расчетный годовой экономический эффект от внедрения составил 1 млн. 344 тыс. руб. в ценах 2018 года.

Основные положения, выносимые на защиту:

-результаты исследований процесса электрохимической обработки и сорбционной доочистки СВ ТФ;

-полученные математические зависимости, описывающие процессы электрохимической обработки и сорбционной доочистки многокомпонентных СВ;

-конструкция, принцип работы и эффективность действия электролизера – адсорбера для глубокой очистки СВ;

-технологическая схема очистки СВ от многокомпонентных загрязнений, снижающая водопотребление ТФ;

-технико-экономическая оценка разработанной технологии очистки СВ.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных, всероссийских, межрегиональных научных конференциях, форумах, конкурсах, круглых столах и выставках: III Международном научном форуме молодых ученых, студентов и школьников «Потенциал интеллектуально одаренной молодежи – развития Каспия» (г. Астрахань, 2014); (XVII, XVIII, XIX, XXII) Региональной конференции молодых исследователей Волгоградской области (г. Волгоград, 2012, 2013, 2014, 2017); Межрегиональной специализированной выставке «Энергетика. Электротехника. Энергоснабжение (г. Волгоград, 2013, 2014); Межрегиональном специализированном форуме - выставке «Промышленность. Инновации. Технологии (г. Волгоград, 2013); X специализированной выставке «Образование-2014» Волгоградского областного образовательного форума (г. Волгоград, 2014); Региональном конкурсе «Молодежных научных проектов по энергосбережению и повышению энергоэффективности в Волгоградской области» (г. Волгоград, 2014); XII Международной научной конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды» «Indoor air and environmental quality» (г. Хайфа, Израиль, 2014); Межрегиональной конференции «Дни инноваций в Астраханской области» «Развитие деятельности Центров социальных инноваций в субъектах РФ» (г. Астрахань, 2014); Международной научно-практической конференции «Дальневосточная весна - 2017» по проблемам экологии и безопасности (г. Комсомольск – на – Амуре, 2017); Всероссийском конкурсе молодежных авторских проектов, направленных на социально-экономическое развитие российских территорий «Моя страна-моя Россия» (г. Москва, 2014); Региональном конкурсе «У.М.Н.И.К.» (г. Волгоград, 2017); Региональном конкурсе молодежных авторских проектов, направленных на социально-экономическое развитие российских территорий «Моя страна-моя Россия» (г. Волгоград, 2018); Пятнадцатом юбилейном Всероссийском конкурсе молодежных авторских проектов, направленных на социально-экономическое развитие российских территорий «Моя страна-моя Россия» (г. Санкт-Петербург, 2018).

Публикации. Материалы диссертации изложены в 24 опубликованных печатных работах, 7 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 1 – в журнале индексируемой базы Scopus и 2 патентах РФ на изобретение и полезную модель.

Личный вклад автора состоит в выдвижении идей, научном обосновании, постановке задач и непосредственном проведении исследований, анализе полученных результатов и их обобщении, разработке технологии и рекомендаций к ее внедрению.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 138 страницах машинописного текста, содержит 15 таблиц, 41 рисунок, список литературы, включающий 150 наименований и 3 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, определена степень разработанности проблемы, сформулирована цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, представлены основные положения, которые выносятся на защиту, а также сведения об апробации результатов работы.

В **первой главе** проведен обзор, существующих и используемых на практике технологий очистки высококонцентрированных СВ, образующихся на предприятиях табачной промышленности, имеющих сложный многокомпонентный состав. Выявлено, что несмотря на обилие различных методов обработки некондиционных вод, проблема подбора эффективного ресурсосберегающего способа извлечения загрязнений из СВ на табачной индустрии остается актуальной.

Практически во всех научных работах посвященных проблемам очистки СВ, образующиеся на ТФ, отмечается, что стоки имеют высокую концентрацию загрязняющих веществ, которые без предварительной (локальной) очистки не могут быть направлены на городские канализационные очистные сооружения, поскольку не отвечают требованиям нормативных документов, регламентирующих сброс производственных СВ в централизованную канализационную сеть.

При выборе методов локальной обработки СВ предприятий табачной индустрии и типов применяемых при этом очистных сооружений необходимо в первую очередь руководствоваться компонентным составом и свойствами загрязнений, спецификой данного производства, режимом спуска их, а также местными условиями, диктующими допустимые концентрации загрязнений.

Обзор литературных источников показал, что для ТФ при разработке технологии очистки СВ перспективным является повторное их использование в оборотных и ЗСВ, что позволит уменьшить потребление свежей воды в 10 - 50 раз.

На предприятиях табачной промышленности в процессе осуществления производственной деятельности, образуются многотоннажные отходы, имеющие растительное происхождение, которые можно использовать в качестве сорбционных материалов для глубокой очистки СВ.

Таким образом, анализ современных достижений в технологии очистки СВ ТФ показывает необходимость разработки рационального способа комбинирующего механическую и физико-химическую очистки многокомпонентных некондиционных вод указанной отрасли, который позволит повторно использовать очищенные СВ в технологическом процессе предприятия без применения дорогостоящих реагентов.

Во второй главе рассмотрены объекты исследования, представлены экспериментальные установки, описаны методики проведения экспериментов по изучению: предварительного этапа очистки методом отстаивания, кинетики электродных процессов, адсорбции загрязняющих веществ в статических и динамических условиях; приведено описание методик для математической обработки полученных результатов при проведении расчетов основных параметров инженерно-технических элементов разработанной технологии очистки СВ ТФ.

Лабораторные исследования на возможность применения поэтапной технологии очистки СВ, на примере предприятия табачной индустрии РФ, проводились на реальных стоках.

Применялись стандартные ГОСТированные методики для определения основных физико-химических показателей гранулированного композитного сорбционного материала: химического, минералогического, фракционного и гранулометрического составов; тепловых эффектов методом термогравиметрического анализа; текстурных, структурно-морфологических и сорбционно - кинетических характеристик – по теории БЭТ, с использованием сканирующей микроскопии и по показателям активности поглощения фильтрующих гранул (метиленовой голубой и йода) соответственно; насыпной плотности, влажности, рН, зольности, химической и механической стойкости сорбента.

Для подтверждения достоверности результатов производимых исследований использовался метод наименьших квадратов, на основании которого определялись значения коэффициентов, адекватно описывающие получаемые экспериментальные зависимости.

В третьей главе определены и обоснованы направления исследований и изложены основные результаты работы.

На первом этапе были выявлены основные источники образования промышленных СВ предприятия табачной индустрии РФ и определен их химический состав, что является важным для выбора необходимой схемы очистки (таблица 1).

Таблица 1 – Усредненные показатели химического состава СВ, образующихся на предприятии табачной индустрии РФ за период 2015-2017 г.г.

Места отбора проб (категория СВ) Наименование показателей	*ПДК	**ФК	ПДК	ФК	ПДК	ФК	ПДК	ФК	ПДК	ФК
	№1 –линии ESS и CRES		№2 – бытовые табачного цеха		№3 – сигаретный цех		№4 – быт. помещ.+ лаб. корпус		№5 – выход с фабрики	
	Производственные		Хоз.-бытовые		Производственные		Хоз.-бытовые		Смешанные	
Взвешенные вещества, мг/дм ³	41,09	153	41,09	22	41,09	242	41,09	38	41,09	181
БПК _{полн.} , мг·О ₂ /дм ³	34,44	1410	34,44	59	34,44	543	34,44	244	34,44	1856
ХПК, мг·О ₂ /дм ³	51,66	2455	51,66	97	51,66	824	51,66	373	51,66	2830
Железо (общ.), мг/дм ³	0,24	0,12	0,24	0,18	0,24	0,23	0,24	0,15	0,24	0,2
Жиры, мг/дм ³	10	5,7	10	1,69	10	2,78	10	4,3	10	5,9
Аммоний (NH ₄), мг/дм ³	26,98	44,11	26,98	8,08	26,98	48,35	26,98	12,77	26,98	32,5
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,862	0,59	0,862	0,44	0,862	0,62	0,862	0,42	0,862	0,94
АПАВ, мг/дм ³	0,41	23,6	0,41	6,4	0,41	24,8	0,41	30,2	0,41	21,8
Фосфаты, мг/дм ³	1,3	< 0,05	1,3	0,66	1,3	0,85	1,3	0,14	1,3	0,56
Сульфаты, мг/дм ³	97,30	83	97,30	71	97,30	78	97,30	77	97,30	75
Сухой остаток, мг/дм ³	490	920	490	160	490	782	490	162	490	834
Прокаленный остаток, мг/дм ³	-	250	-	217	-	229	-	220	-	225
рН	6,5-7,5	6,1	6,5-7,5	7,75	6,5-7,5	8,8	6,5-7,5	7,2	6,5-7,5	6,69
Примечание. *ПДК – предельно допустимая концентрация, принятая согласно постановлению Администрации Волгограда от 18 июня 2015 г № 840; **ФК – фактическая концентрация.										

Из представленных в таблице 1 данных, видно, что основная доля загрязняющих веществ образуется в двух производственных процессах: 1) при работе линий ESS и CRES, где происходит подготовительный этап обработки исходного сырья (табачной жилки), сопровождающийся такими технологическими операциями как дробление, просеивание, очищение от металлических примесей, обработка перегретым паром, расщепление, увлажнение и нанесение специальных добавок, улучшающих физические и вкусовые свойства табака; 2) в сигаретном цехе, куда полностью подготовленный табак с помощью транспортеров подается на сигаретные машины для производства табачных изделий.

Для разработки эффективной технологии очистки СВ предприятия табачной индустрии РФ в лабораторных условиях были апробированы некоторые механические, физико-химические и химические методы очистки, по результатам, которых выявлено, что основному требованию, предъявляемому к технологии очистки СВ на ТФ, а именно доведение количества загрязняющих веществ в производственных стоках до ПДК, позволяющих не только сбрасывать очищенную воду в канализационную сеть города, но и использовать ее для оборотной и ЗСВ, отвечает способ электрохимического окисления.

Исходя из состава СВ, образующихся на табачной фабрике, предложена предварительная технологическая схема очистки, базирующаяся на методе электрохимического окисления в сочетании с предварительной механической очисткой и последующей доочисткой сорбционным методом.

Дальнейшие исследования проводили в несколько этапов:

1) *выявление параметров выделения из СВ, рассматриваемого предприятия, грубодисперсных примесей методом отстаивания.* В результате проведения опытов по изучению процесса седиментации СВ ТФ по общепринятой методике, была получена седиментационная кривая кинетики отстаивания $\mathcal{E}=f(\tau)$ (рисунок 1).

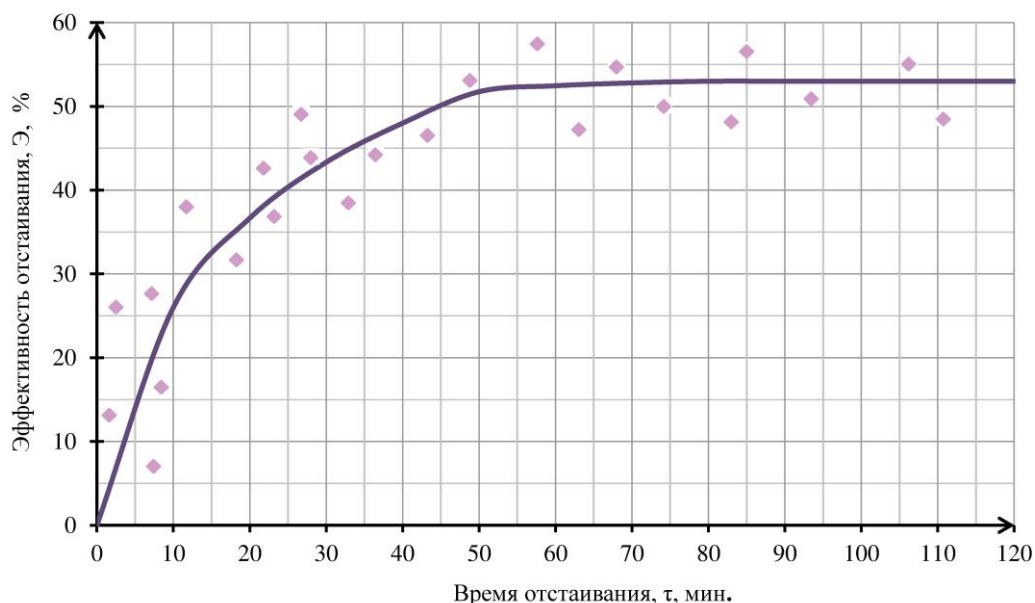


Рисунок 1 – Зависимость эффективности (Э) очистки СВ предприятия табачной индустрии РФ от времени отстаивания (τ).

Полученная зависимость позволяет сделать вывод о том, что эффект осветления зависит от продолжительности отстаивания и от первоначальной концентрации грубодисперсных примесей. Также установлено, что достаточно высокий эффект безреагентной очистки (52-53%) достигается при времени отстаивания 50 - 60 минут;

2) исследование и выбор приемлемых значений технологических параметров проведения электроокисления, таких как материал электродов, анодная плотность тока, время электрообработки, температура и pH обрабатываемой жидкости, концентрация поваренной соли, время отстаивания).

В ходе проведения исследований экспериментально были изучены зависимости анодной плотности тока от напряжения на электродной системе с различными анодными материалами - титана с активным покрытием на основе оксида кобальта (ОКТА), диоксида рутения (ОРТА) и графита (рисунок 2).

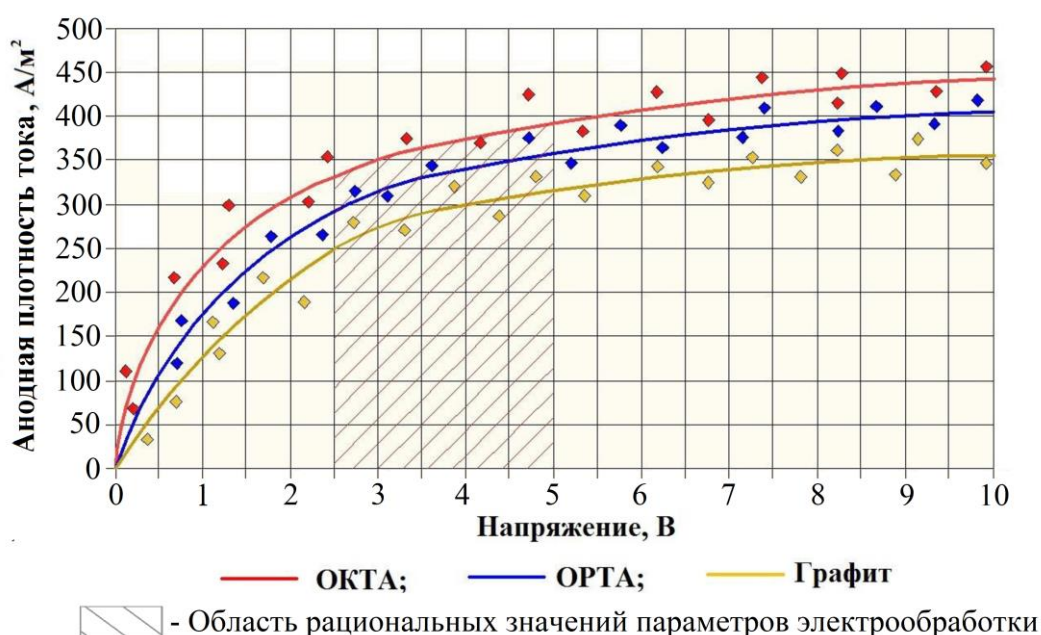


Рисунок 2 – Графики зависимостей величины анодной плотности тока от напряжений на электродной системе при окислении органических соединений в СВ ТФ

После обработки экспериментальных данных были получены математические зависимости величины анодной плотности тока (i) от напряжения (U) на электродной системе с диапазоном изменения $U = 2-10$ В.

$$i_1 = 281 \cdot U^{0.199}, (1); \quad i_2 = 253 \cdot U^{0.215}, (2); \quad i_3 = 194 \cdot U^{0.265}, (3).$$

где i_1 , i_2 , i_3 – анодные плотности тока на электродной системе при использовании электродов ОКТА, ОРТА и графита, соответственно.

Анализ графиков на рисунке 2 позволил установить, что рациональные с точки зрения электропотребления значения анодной плотности тока составляют 310-370 А/м².

Наиболее эффективно процесс электроокисления для изучаемых СВ протекает на аноде ОКТА. Электрохимические характеристики и полученный результат по степени очистки у анодов ОКТА и ОРТА сопоставимы, но стоимостные показатели анодов ОКТА выше, поэтому экономичнее использовать аноды ОРТА.

Последующий анализ изучения зависимостей эффективности очистки рассматриваемых СВ с учетом выбранного материала анода – ОРТА показал, что электроокисление органических соединений, входящих в состав БПК_{полн} и ХПК с максимальным эффектом 89,3-92,4%, анодной плотностью тока 350 А/м² и времени обработки 15 минут достигается при следующих параметрах (рисунок 3): *pH* раствора – 7; количество реагента (*NaCl*) – 1,5 г/дм³; температура раствора – 20 °С.

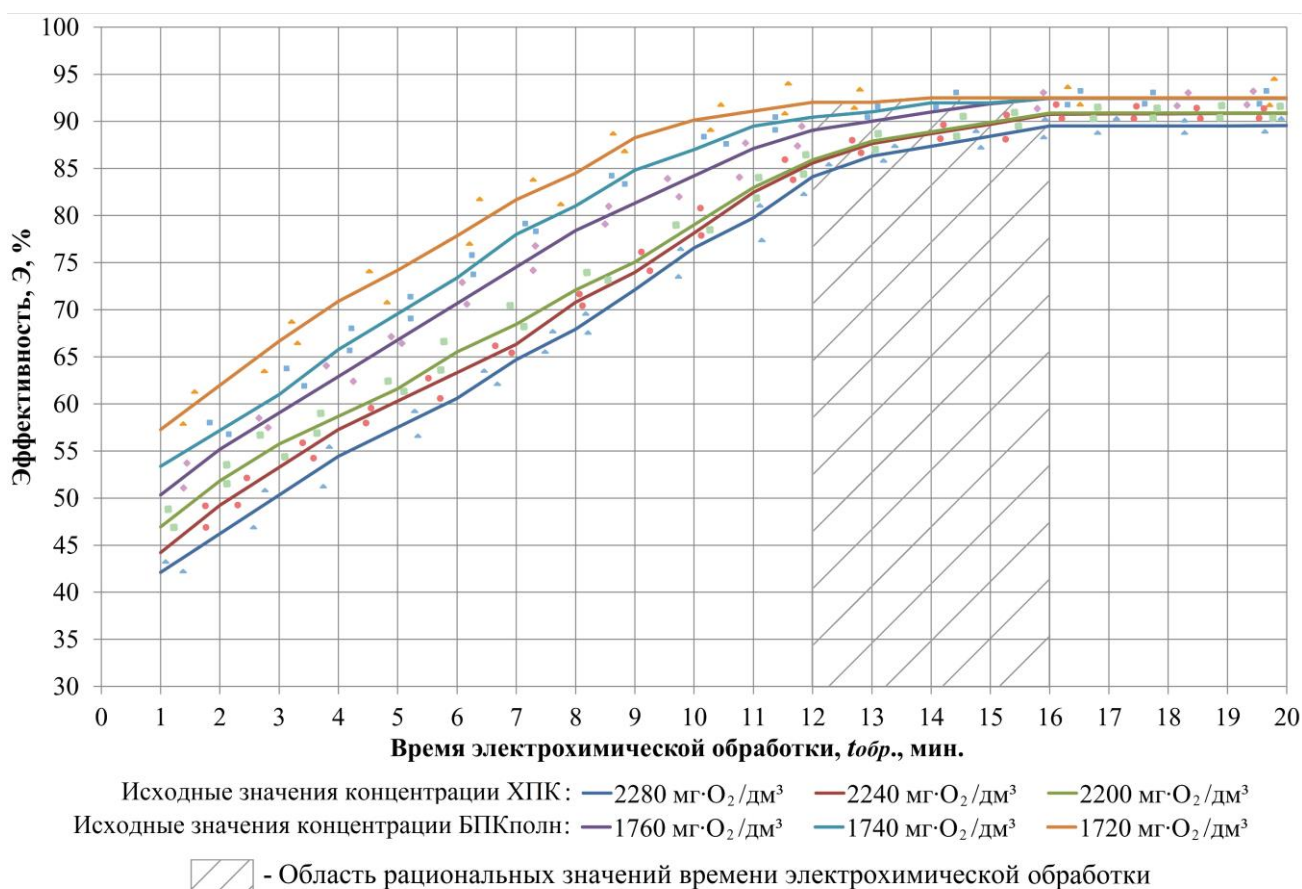


Рисунок 3 – Экспериментальные графики зависимости эффективности очистки по БПК_{полн} и ХПК от времени электрохимической обработки СВ предприятия табачной индустрии РФ

3) изучение особенностей сорбционной очистки СВ на ТФ, прошедших предварительные механическую и электрохимическую очистку, выбор сорбционного материала, а также условий проведения процесса сорбции рассматриваемых специфических загрязнений. В экспериментах был использован сорбционно-фильтрующий материал ГКС на основе производственного отхода растительного происхождения – табачной пыли и

минерального сырья – бентонитовой глины (патент РФ №2644880). Исследования по изучению структуры и физико-химических свойств полученного ГКС показали, что полученный сорбент имеет размер гранул 4-7 мм, обладает достаточно развитой структурой микро- и мезопор, о чем свидетельствуют средний размер пор 71,03 Å, сорбционная емкость по метиленовой голубой – 103,41 мг/г и йодопоглощение – 46,57 %, что может эффективно сказываться на адсорбции из водных растворов органических и неорганических компонентов.

Степень эффективности доочистки СВ ТФ сорбционным методом с использованием разработанного сорбента ГКС определялась в статических и динамических условиях на основе измерения концентраций загрязнений в фильтрате (рисунок 4), превышающих ПДК (таблица 2).

Таблица 2 – Состав загрязняющих компонентов СВ ТФ после электрохимической обработки для изучения сорбционной доочистки в статических и динамических условиях

№ п/п	Загрязняющий компонент	Концентрация
1	БПК _{полн.}	138-144 мг·О ₂ /дм ³
2	ХПК	224-235 мг·О ₂ /дм ³
3	АПАВ	0,9-1,2 мг/дм ³
4	Активный хлор	940-1000 мг/дм ³

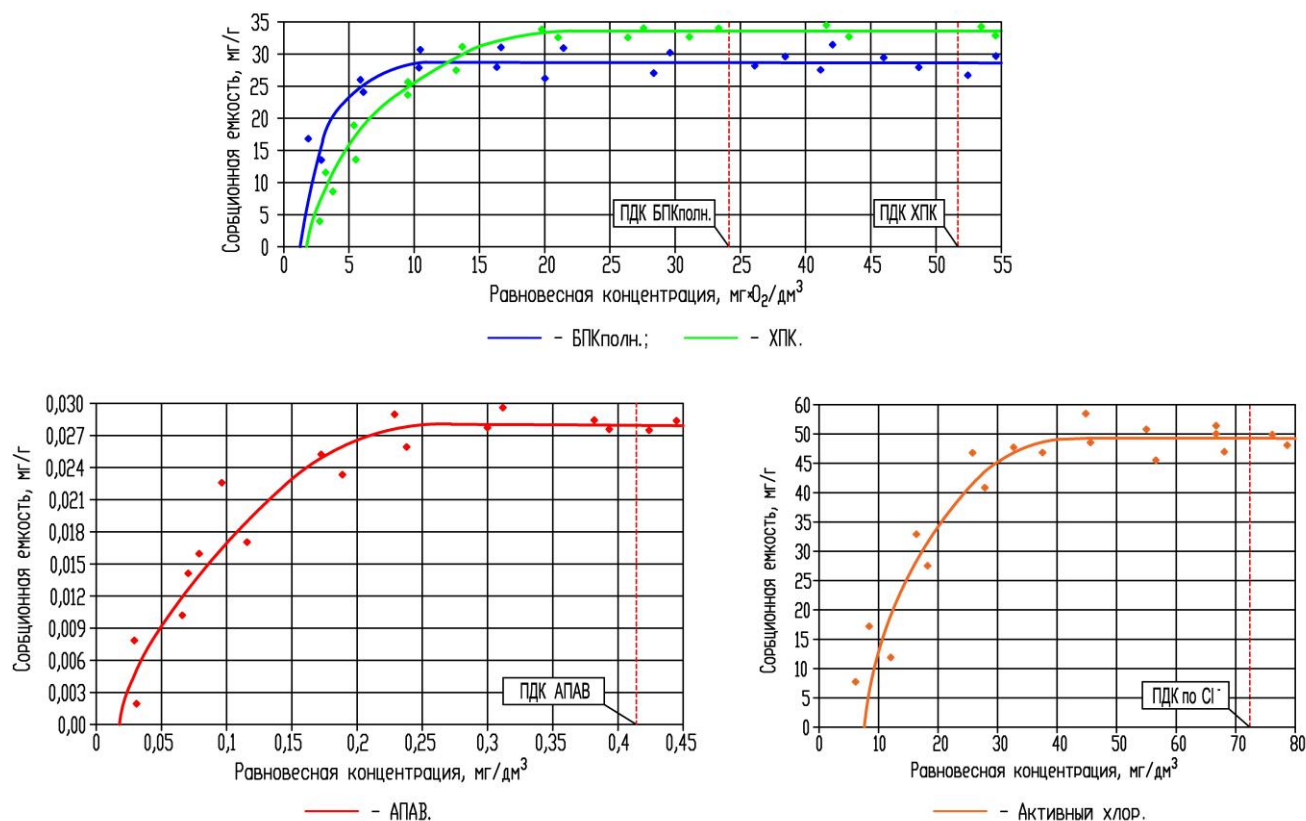


Рисунок 4 – Зависимость статической сорбционной емкости от концентраций загрязняющих компонентов в фильтрате

Из приведенных на рисунке 4 изотерм сорбции загрязняющих компонентов из СВ предприятия табачной индустрии РФ с применением ГКС видно, что с повышением равновесной концентрации рассматриваемых загрязнителей в растворе, сорбционная емкость увеличивается. В областях низких концентраций поглотительная способность растет медленно для АПАВ, в то время как у активного хлора наблюдается резкий рост.

По результатам экспериментов установлено, что статическая сорбционная емкость для БПК_{полн.} составляет 27,1-28,5 мг/г, ХПК – 33,4-35,7 мг/г, АПАВ – 0,028-0,035 мг/г, активного хлора – 49,8-51,6 мг/г.

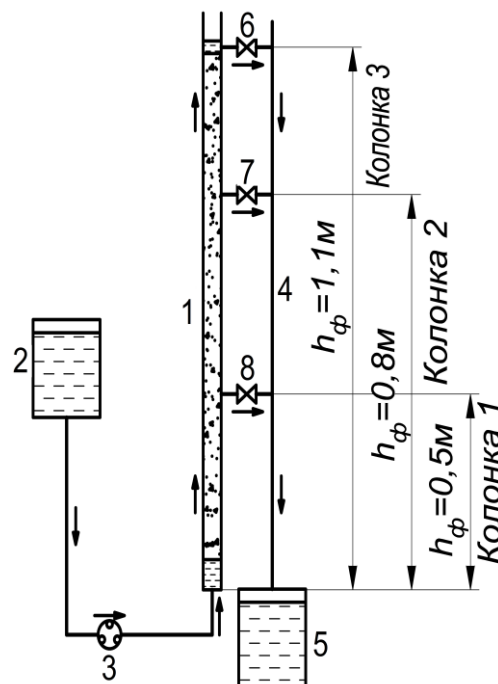
Лабораторные исследования по определению сорбционной емкости ГКС в динамических условиях проводились на модельной установке (рисунок 5), позволяющей одновременно изучать параметры работы сорбционных фильтров с разной высотой слоя загрузки. Через установку пропускать предварительной очищенный сток ТФ с постоянным расходом (q) – 2,5 - 4 л/сутки со скоростью фильтрования (v_f) – 2 - 10 м/ч, при этом время пребывания в фильтрующей колонке достигало в среднем 3,5 ч. Общая масса сорбента в фильтре составила ~ 327 г.

Результаты экспериментов по определению динамической сорбционной емкости от изменения концентраций загрязняющих компонентов (таблица 2) в фильтрате из СВ ТФ приведены в виде выходных кривых поглощения на рисунке 6.

Динамическая сорбционная емкость для БПК_{полн.} составляет 22,5-23,4 мг/г, ХПК – 26,9-28,1 мг/г, АПАВ – 0,021-0,023 мг/г, активного хлора – 40,8-43,5 мг/г.

На основании вида полученных экспериментальных изотерм адсорбции из сточной жидкости в статических и динамических условиях (рисунки 4 и 6), можно сделать вывод, что согласно классификации Гильза и Смита они относятся к классу изотерм Ленгмюра (тип «L-2»).

Это наиболее часто встречающийся класс изотерм, который на начальном участке имеет выгнутый вид относительно оси равновесной концентрации, что связано с заполнением поверхности сорбента при увеличении концентрации сорбата в растворе, а принадлежность к типу «L-2», подтверждает тот факт, что при достижении определенной концентрации сорбата наступает насыщение адсорбционного слоя.



- 1 – сорбционная колонка;
- 2 – резервуар исходной воды;
- 3 – регулируемый перистальтический насос;
- 4 – линия отвода очищенной воды;
- 5 – резервуар очищенной воды;
- 6,7,8 – устройства для отбора проб.

Рисунок 5 – Принципиальная схема модельной установки сорбционного фильтра

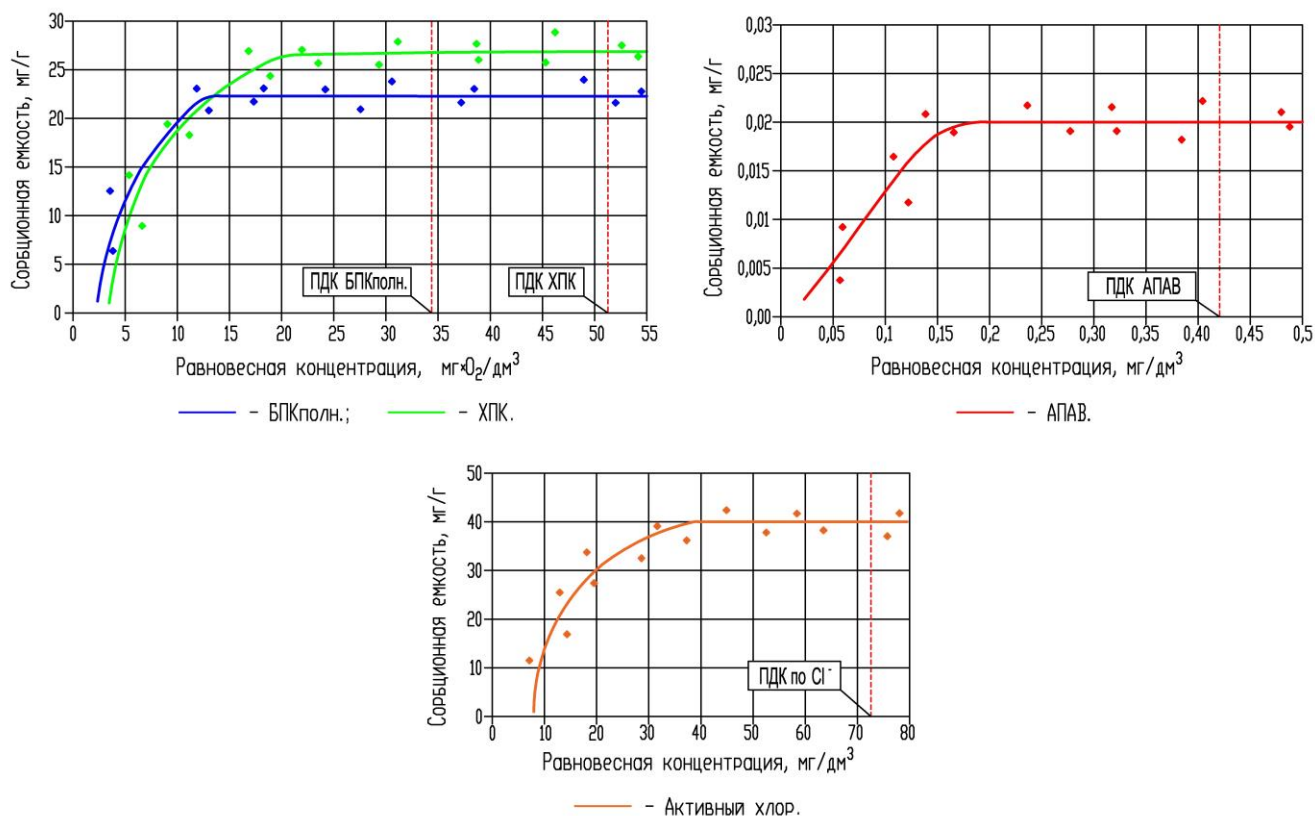


Рисунок 6 – Зависимость динамической сорбционной емкости от концентраций загрязняющих компонентов в фильтрате

Графики зависимости эффективности доочистки по ХПК СВ предприятия табачной индустрии РФ от скорости фильтрования при различной высоте слоя сорбента представлены на рисунке 7.

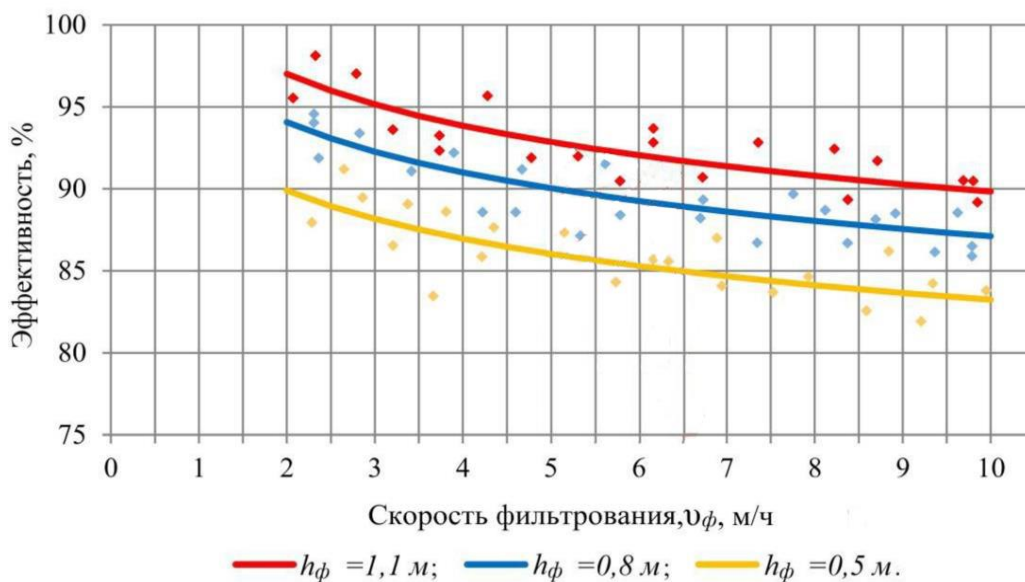


Рисунок 7 – Графики зависимости эффективности доочистки СВ предприятия табачной индустрии РФ от скорости фильтрования при различной высоте слоя сорбента

После обработки экспериментальных данных была получена математическая зависимость эффективности очистки (\mathcal{E}) по ХПК от скорости фильтрования (v_{ϕ}) с диапазоном изменения (v_{ϕ}) – 2 - 10 м/ч при высоте слоя загрузки ГКС (h_{ϕ}) от 0,5 до 1,1 м

$$\mathcal{E} = 99,357 \cdot v_{\phi}^{-0,048} \cdot h_{\phi}^{0,097}, \quad (4)$$

На основании представленных графиков (рисунок 7), можно сделать вывод, что в динамических условиях эффект сорбционной доочистки СВ в 88-93%, требуемый для осуществления возможности использования очищенных стоков для подпитки ЗСВ ТФ достигается при значениях скорости фильтрования от 5 м/ч до 6,5 м/ч и высоте слоя загрузки ГКС, равной 0,8-1,1 м.

Опыты с применением ГКС продемонстрировали возможность достижения нормативов ПДК по значениям БПК_{полн}, ХПК, АПАВ, активному хлору для рассматриваемого предприятия, что позволяет не только осуществлять сброс очищенной воды в канализационную сеть города, но и повторно использовать в ЗСВ предприятия в качестве подпиточной воды.

На основе экспериментов по электрохимической обработке и сорбционной доочистке СВ разработана конструкция комбинированного инженерно-технического устройства – электролизера-адсорбера (рисунок 8).

Принцип работы устройства следующий:

1) после предварительной механической очистки загрязненная жидкость из бака накопителя подается через штуцер (3) в электролизер-адсорбер, в зависимости от производительности устройства, насосом задается скорость подъема водяного столба через перфорированные пластины электродов (9), где происходит электрохимическая обработка СВ;

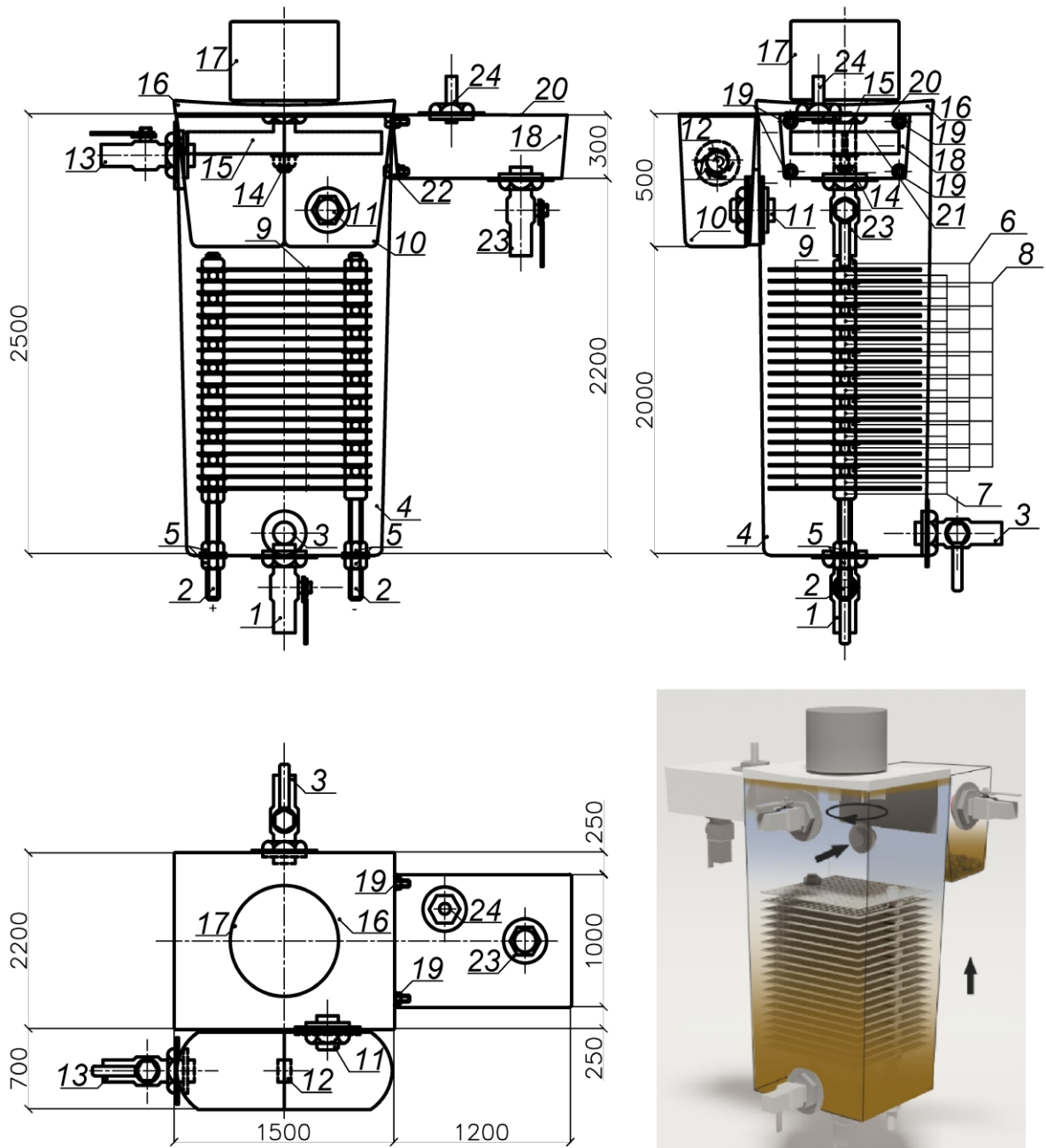
2) при достижении СВ, прошедшими электрохимическую очистку, заданного уровня, последние через штуцер (11) поступают в первую камеру двухкамерного адсорбера (10) заполненного сорбционным материалом (ГКС) затем через переливное отверстие (12) вода нисходящим потоком попадает во вторую камеру, где при достижении заданного уровня она сливается через кран слива очищенной воды (13);

3) флотационная пена с помощью скребкового механизма (15) отводится в приемник флотошлама;

4) флотационный шлам перекачивается на обработку через кран для перекачки флотошлама (23);

5) в процессе эксплуатации установки неизбежно происходит выделение газообразных и мелкокристаллических видов осадков, скопившиеся газы отводятся через расположенный в крышке электролизера газоотводный патрубок (24), а накопившийся осадок удаляется путем промывки устройства с помощью крана (1).

Определение приемлемых значений технологических параметров проведения электрохимической обработки и сорбционной доочистки, обеспечивающих устойчивый режим очистки воды до ПДК по указанным ранее ингредиентам, осуществлялось на реальных СВ предприятия табачной индустрии РФ (смешанный сток в соответствии с данными таблицы 1) на пилотной установке разработанного устройства для очистки СВ от многокомпонентных загрязнений (электролизер – адсорбер) в лабораторных условиях. Результаты представлены в обобщенном виде в таблице 3.



1 – кран для промывки устройства; 2 – направляющие контактные шпильки; 3 – штуцер подачи СВ; 4 – корпус устройства; 5 – гайки крепления контактных направляющих шпилек в корпусе установки; 6 – контактные гайки крепления пластин электродов; 7 – диэлектрические гайки крепления пластин электродов; 8 – диэлектрические прокладки; 9 – пластины электродов электролизера; 10 – адсорбер; 11 – штуцер для подачи в адсорбер СВ прошедшей электрохимическую обработку; 12 – переливное отверстие адсорбера; 13 – кран слива очищенной воды; 14 – вал скребкового механизма; 15 – скребковый механизм выполненный в виде лопастной мешалки; 16 – крышка корпуса электролизера-адсорбера; 17 – редуктор скребкового механизма; 18 – приемник флотошлама; 19 – болты крепления к электролизеру-адсорберу приемника флотошлама; 20 – крышка приемника флотошлама; 21 – отверстие для подачи флотошлама с помощью скребкового механизма, выполненного в виде лопастной мешалки, расположенной над поверхностью обрабатываемой жидкости, в приёмник флотшлама; 22 – соединительная прокладка; 23 – кран для перекачки флотошлама; 24 – газоотводный патрубков.

Рисунок 8 – Устройство для очистки СВ ТФ (электролизер – адсорбер)

Таблица 3 – Технологические параметры и эффективность электроокислительно-сорбционной обработки СВ табачного производства

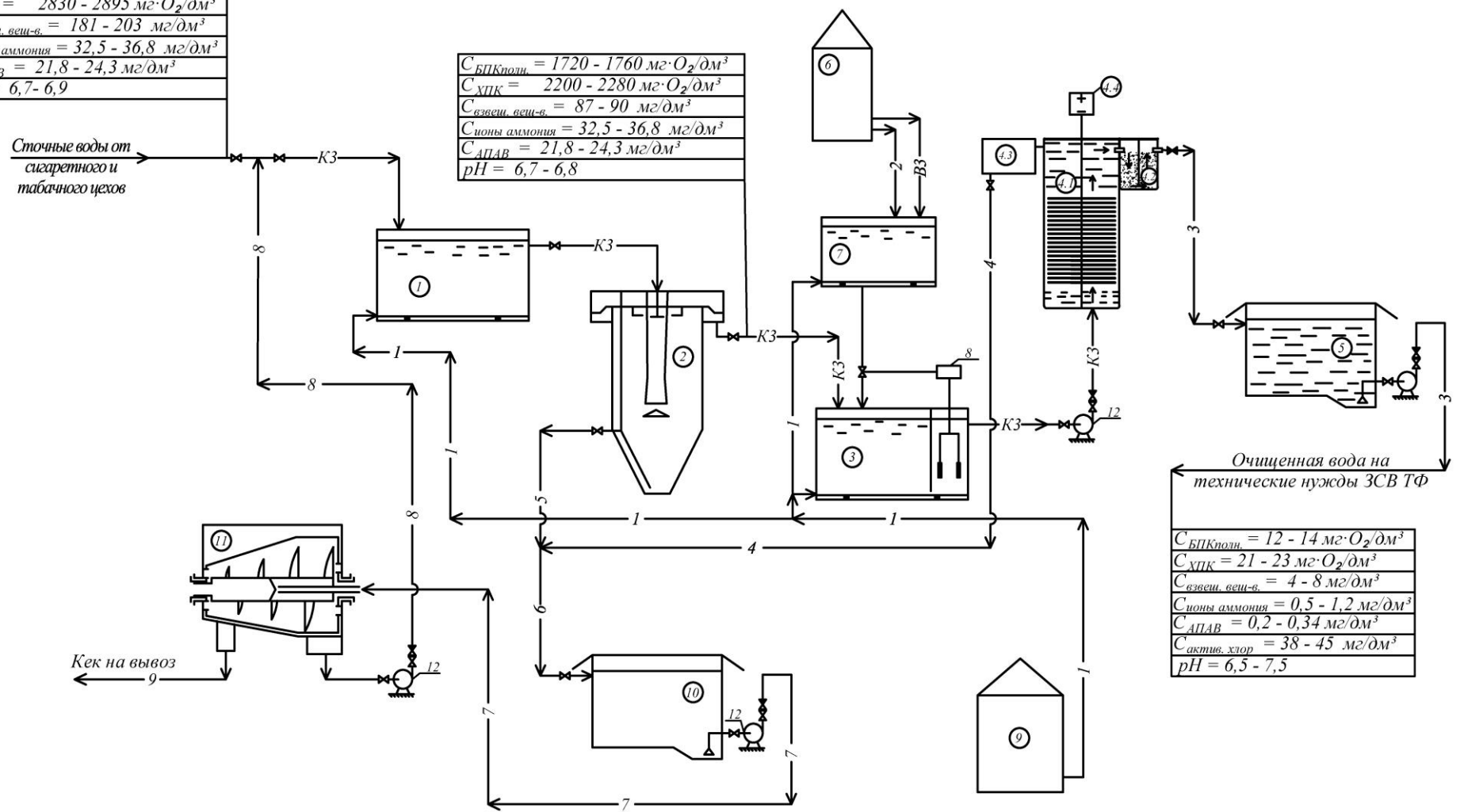
Технологические параметры электроокислительно-сорбционной обработки СВ табачного производства			Наименование загрязняющих веществ	Изменение концентраций загрязняющих веществ			***ПДК загрязняющих веществ	
Наименование параметра	Значение			** после отстаивания	после электрохимической обработки	после адсорбера	¹ Канализационная сеть города	² Технические нужды ЗСВ ТФ
Производительность установки, м ³ /ч	5		Взвешенные вещества, мг/дм ³	87-90	45-51	4-8	41,09	10
Температура воды, °С	18 - 20							
рН	6,5-7,2							
Расход реагента NaCl, г/дм ³	1,5		БПК _{полн.} , мг·О ₂ /дм ³	1720-1760	138-144	12-14	34,44	15
Материал электродов	катод	нержавеющая сталь	ХПК, мг·О ₂ /дм ³	2200-2280	224-235	21-23	51,66	25
	анод	ОРТА						
Расстояние между электродами, мм	3,5		Жиры, мг/дм ³	3,0-4,5	0,3-0,41	0,05-0,09	10	0,8
Толщина электродов, мм	4		Ионы аммония, мг/дм ³	32,5-36,8	1,8-2,7	0,5-1,2	26,98	2
Время электрообработки <i>t_{обр.}</i> , мин	15							
Анодная плотность тока <i>i</i> , А/м ²	350		Нефтепродукты, мг/дм ³	0,5-0,71	0,07-0,09	0,02-0,03	0,862	0,045
*Режим эксплуатации	непрерывный		АПАВ, мг/дм ³	21,8-24,3	0,9-1,32	0,2-0,34	0,41	0,5
Общий расход электроэнергии <i>q</i> , кВт·ч/м ³	3		Фосфаты, мг/дм ³	0,56-0,61	0,4-0,52	0,4-0,52	1,3	0,8
			Железо (общ.), мг/дм ³	0,2-0,22	0,09-0,1	0,02-0,05	0,24	0,3
Скорость фильтрования <i>v_{ф.}</i> , м/ч	5		Сульфаты, мг/дм ³	75-90	59-65	41-44	97,3	200
Суммарная высота фильтрующего слоя <i>h_{ф.}</i> , м	0,8		Активный хлор, мг/дм ³	-	940-1048	38 - 45	72,3 (по Cl ⁻)	150
Габаритные размеры, мм								
Длина	ширина	высота						
1500	1500	2500	рН	6,7-6,8	6,9-7,2	6,9-7,0	6,5-7,5	

Примечание.* При осуществлении работ по обслуживанию, предусматривается переключение на резервную установку; **Концентрация загрязняющих веществ в исходной воде, принята с учетом предварительной обработки СВ на сооружениях механической очистки; ***ПДК загрязняющих веществ: ¹ установлены согласно постановлению Администрации Волгограда от 18 июня 2015 г № 840 ; ² приняты на основании технологического регламента ТФ.

$C_{БПК_{поли.}}$	$= 1856 - 1910 \text{ мг} \cdot \text{O}_2 / \text{дм}^3$
$C_{ХПК}$	$= 2830 - 2895 \text{ мг} \cdot \text{O}_2 / \text{дм}^3$
$C_{взвеш. \text{ вещ-в.}}$	$= 181 - 203 \text{ мг} / \text{дм}^3$
$C_{ионы \text{ аммония}}$	$= 32,5 - 36,8 \text{ мг} / \text{дм}^3$
$C_{АПДВ}$	$= 21,8 - 24,3 \text{ мг} / \text{дм}^3$
pH	$= 6,7 - 6,9$

$C_{БПК_{поли.}}$	$= 1720 - 1760 \text{ мг} \cdot \text{O}_2 / \text{дм}^3$
$C_{ХПК}$	$= 2200 - 2280 \text{ мг} \cdot \text{O}_2 / \text{дм}^3$
$C_{взвеш. \text{ вещ-в.}}$	$= 87 - 90 \text{ мг} / \text{дм}^3$
$C_{ионы \text{ аммония}}$	$= 32,5 - 36,8 \text{ мг} / \text{дм}^3$
$C_{АПДВ}$	$= 21,8 - 24,3 \text{ мг} / \text{дм}^3$
pH	$= 6,7 - 6,8$

$C_{БПК_{поли.}}$	$= 12 - 14 \text{ мг} \cdot \text{O}_2 / \text{дм}^3$
$C_{ХПК}$	$= 21 - 23 \text{ мг} \cdot \text{O}_2 / \text{дм}^3$
$C_{взвеш. \text{ вещ-в.}}$	$= 4 - 8 \text{ мг} / \text{дм}^3$
$C_{ионы \text{ аммония}}$	$= 0,5 - 1,2 \text{ мг} / \text{дм}^3$
$C_{АПДВ}$	$= 0,2 - 0,34 \text{ мг} / \text{дм}^3$
$C_{актив. \text{ хлор}}$	$= 38 - 45 \text{ мг} / \text{дм}^3$
pH	$= 6,5 - 7,5$



— КЗ — - производственная СВ; — ВЗ — - техническая вода; — 1 — - воздуховод; — 2 — - подача NaCl; — 3 — - очищенная вода; — 4 — - отвод шлама; — 5 — - отвод осадка; — 6 — - отвод шлама и осадка; — 7 — - подача обезвоженного осадка; — 8 — - фугат; — 9 — - кек; 1 - накопительная емкость; 2 - вертикальный отстойник; 3 - смеситель; 4.1 - электролизер; 4.2 - адсорбер; 4.3 - шламприемник; 4.4 - источник тока; 5 - резервуар очищенной воды; 6 - реагентное хозяйство; 7 - растворный бак; 8 - узел автоматического дозирования раствора; 9 - воздуходувная станция; 10 - резервуар-накопитель шлама и осадка СВ; 11 - центрифуга; 12 - насос.

Рисунок 9 – Технологическая схема очистки СВ для предприятия табачной индустрии РФ г. Волгограда

Принципиальная схема предлагаемой локальной очистки многокомпонентных СВ ТФ представлена на рисунке 9 предусматривает поступление высоконцентрированных производственных СВ (смешанный сток, в соответствии с таблицей 1) в количестве $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ в накопительную емкость, где происходит пневматическое перемешивание жидкости, затем для удаления взвешенных веществ в вертикальный отстойник. В технологической схеме предусмотрен смеситель пневматического типа для введения в очищаемую сточную жидкость раствора поваренной соли (NaCl), с целью интенсификации последующего этапа электрохимической очистки воды. После взаимодействия СВ с рабочим раствором реагента NaCl вода направляется на электроокислительно-сорбционную обработку, где происходит окончательная очистка от загрязнений. Очищенная вода поступает в накопительную емкость, откуда насосом перекачивается в ЗСВ предприятия в качестве подпиточной воды. Отделенный от СВ осадок и шлам, образующийся в вертикальном отстойнике и электролизере-адсорбере соответственно, собирается в промежуточном накопителе и по мере его заполнения удаляется и направляется на механическое обезвоживание и дальнейшую утилизацию.

В четвертой главе представлены результаты расчета годового экономического эффекта разработанной технологии очистки СВ ТФ.

Для предприятия табачной индустрии РФ расчетный годовой экономический эффект от внедрения составил 1 млн. 340 тыс. рублей (в ценах 2018 г.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа отечественного и зарубежного опыта очистки показана целесообразность применения на предприятиях табачной промышленности физико-химических методов очистки сточных вод, позволяющих в дальнейшем использовать очищенные стоки в замкнутой системе водоснабжения в качестве подпиточной воды.

2. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность предлагаемого способа очистки сточных вод предприятия табачной промышленности, включающего безреагентное отстаивание и последующую двухстадийную физико-химическую обработку электроокислением и сорбцией.

3. Определены рациональные значения технологических параметров проведения совместной электрохимической обработки и сорбционной доочистки предварительно осветленных сточных вод на разработанном инженерно-техническом устройстве, состоящего из электролизера с нерастворимыми электродами ОРТА и адсорбера, в качестве загрузки которого использовался разработанный автором сорбционно-фильтрующий материал ГКС, полученный на основе производственного отхода растительного происхождения – табачной пыли и минерального сырья – бентонитовой глины.

4. Получены аналитические зависимости величины анодной плотности тока от напряжения на электродной системе, а также эффективности сорбционной доочистки от скорости фильтрования при различной толщине слоя сорбента. Установлены рациональные параметры электрообработки сточных вод табачной фабрики ($i=350 \text{ А/м}^2$, $U=2,5-5 \text{ В}$) и сорбционной доочистки ($v_{\phi} - 5 - 6,5 \text{ м/ч}$, $h_{\phi} - 0,8 - 1,1 \text{ м}$).

5. На основе полученных экспериментальных данных разработана новая конструкция комбинированного устройства – электролизера-адсорбера, позволяющего осуществлять глубокую очистку сточных вод до норм, предъявляемых к воде, используемой в замкнутой системе водоснабжения предприятия на основании действующего регламента на рассматриваемой табачной фабрике.

6. Разработана технологическая схема очистки многокомпонентных сточных вод табачной фабрики, предусматривающая использование очищенных стоков в качестве подпиточной воды для замкнутой системы водоснабжения предприятия.

7. Расчетный годовой экономический эффект от внедрения инженерно-технических решений по очистке сточных вод на предприятии табачной индустрии РФ г. Волгограда составил 1 млн. 340 тыс. рублей (в ценах 2018 г.).

Основное содержание работы отражено в следующих публикациях:

Публикации в ведущих, рецензируемых научно–технических журналах и изданиях, определенных ВАК РФ

1. **Игнаткина, Д. О.** Способ повышения надежности функционирования водного хозяйства [Электронный ресурс] / Д. О. Игнаткина [и др.] // Интернет-вестн. ВолгГАСУ. Сер.: Политемат. – 2013. – Вып. 2 (27). – Режим доступа: www.vestnik.vgasu.ru

2. **Игнаткина, Д. О.** Исследование взаимосвязи между физико-химическими свойствами промышленных сточных вод и методами их очистки [Электронный ресурс] / Д. О. Игнаткина [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15865>.

3. **Игнаткина, Д. О.** Современные системы оборотного водоснабжения промышленного предприятия / Д. О. Игнаткина [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер. Строительство и архитектура. – 2015. – Вып. 39 (58). – С. 151-163.

4. **Игнаткина, Д. О.** Комбинированное устройство для очистки многокомпонентных сточных вод предприятий табачной индустрии/ Д. О. Игнаткина [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника (ВСТ). – 2018. – № 3. – С. 36-44.

5. **Игнаткина, Д. О.** Практические аспекты электрохимической очистки сточных вод / Д. О. Игнаткина [и др.]// Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2018. – № 51 (70). – С. 150-159.

6. **Игнаткина, Д. О.** Теоретическое обоснование применимости электрохимического метода обработки сточных вод для предприятий пищевой промышленности / Д. О. Игнаткина [и др.]// Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2019. – № 1 (74). – С. 88-96.

7. **Игнаткина, Д. О.** Некоторые особенности электрохимической обработки сточных вод предприятий пищевой индустрии/ Д. О. Игнаткина [и др.]// Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2019. – № 2 (75). – С. 140-148.

Публикации в научно-технических журналах БД Scopus

8. Игнаткина, Д. О. Composite Sorbent Filter Material in the Basis of Man-Caused and Minerals [Электронный ресурс] / Д. О. Игнаткина, Е.В. Москвичева, А.А. Войтюк // Materials Science Forum. – 2019 – VoL. 945/ – P. 983-987. – Режим доступа:<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945>.

Патент РФ на изобретение

9. Пат. 2644880 Российская Федерация, МПК В01J 20/24 (2006.01). Способ получения сорбента для очистки сточных вод от многокомпонентных загрязнений / Д. О. Игнаткина, А. А. Войтюк, А. В. Москвичева, Е. В. Москвичева, А. А. Геращенко; ВолгГТУ. – 2018.

Патент РФ на полезную модель

10. Пат. 178983 Российская Федерация, МПК С02F 9/06 (2006.01). Устройство для очистки сточных вод от многокомпонентных загрязнений / Д. О. Игнаткина, А. А. Войтюк, А. В. Москвичева, Е. В. Москвичева, И. В. Селиверстов; ВолгГТУ. – 2018.

Отраслевые издания и материалы конференций

11. Игнаткина, Д. О. Гидравлические закономерности, определяющие эффективность очистки водных сред смешанными веществами / Д. О. Игнаткина [и др.] // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды = Indoor air and environmental quality : матер. XII Междунар. науч. конф., 23 марта – 3 апр. 2014 г., г. Хайфа / ВолгГАСУ. – Волгоград, 2014. – С. 55-58.

12. Игнаткина, Д. О. Разработка энергоэффективной технологии очистки многокомпонентных сточных вод промышленного предприятия / Д. О. Игнаткина // Межрегиональный форум "Энергосбережение и энергоэффективность. Волгоград – 2014", 15-17 апреля: сб. докл. и выступлений форума. - Волгоград, 2014. – С. 103-108.

13. Игнаткина, Д. О. К вопросу получения сорбционного материала из отходов табачного производства для очистки многокомпонентных сточных вод [Электронный ресурс] / Д. О. Игнаткина, В. П. Кандаурова // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: материалы Всерос. науч.-техн. конф. Молодых исследователей (с междунар. участием), Волгоград, 21-26 апр. 2014 г. / ВолгГАСУ; под общ. ред. Н. Ю. Ермиловой. – Волгоград, 2014. – С. 81-83. – Режим доступа: <http://www.vgasu.rupublishing/on-line/>.

14. Игнаткина, Д. О. Перспективы эффективного использования некоторых отходов пищевой промышленности для очистки сточных вод [Электронный ресурс] / Д. О. Игнаткина, О. В. Иванюк // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : материалы Всерос. науч.-техн. конф. молодых исследователей (с междунар. участием), Волгоград, 21-26 апр. 2014 г. / ВолгГАСУ ; под общ. ред. Н. Ю. Ермиловой. – Волгоград, 2014. – С. 83-84. – Режим доступа: <http://www.vgasu.rupublishing/on-line/>.

15. Игнаткина, Д. О. Получение сорбционного материала из отходов табачной промышленности для очистки сточных вод / Д. О. Игнаткина [и др.] // Потенциал интеллектуально одаренной молодёжи – развитию науки и образования: материалы III Междунар. науч. форума молодых учен., студ. и школьников, г. Астрахань, 21-25 апр. 2014 г.: / АИСИ [и др.]. – Астрахань, 2014. – Т. I. – С. 285-286.

16. Игнаткина, Д. О. Применение сорбционных методов очистки в системах водоподготовки промышленных предприятий [Электронный ресурс] / Д. О. Игнаткина, А. К. Черкесов // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : материалы Всерос. науч.-техн. конф. молодых исследователей (с междунар. участием), Волгоград, 21-26 апр. 2014 г. / ВолгГАСУ ; под общ. ред. Н. Ю. Ермиловой. – Волгоград, 2014. – С. 84-86. – Режим доступа: <http://www.vgasu.rupublishing/on-line/>. (3 печ.л. /1,5 печ.л.);

17. Игнаткина, Д. О. Повышение экологической безопасности канализационных очистных сооружений [Электронный ресурс] / Д. О. Игнаткина [и др.] // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: матер. Всерос. науч.-техн. конф. молодых исследователей (с междунар. участием), 20-25 апр. 2015 г., Волгоград/ ВолгГАСУ; под общ. ред. Н. Ю. Ермиловой. – Волгоград, 2015. – С. 78-80. – Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/>.

18. Игнаткина, Д. О. Исследование объема образования сточных вод на табачной фабрике г. Волгограда [Электронный ресурс] / Д. О. Игнаткина [и др.] // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: материалы IV Всерос. науч.-техн. конф. молодых исследователей (с междунар. участием), Волгоград, 24-29 апр. 2017 г. / Волгогр. гос. техн. ун-т, Ин-т архитектуры и стр-ва; под общ. ред. Н. Ю. Ермиловой. – Волгоград, 2017. – С. 132-134/ – Режим доступа: <http://vgasu.ru/publishing/on-line/>.

19. Игнаткина, Д. О. К вопросу применения дешевых СФМ в сорбционных технологиях очистки промышленных сточных вод [Электронный ресурс] / Д. О. Игнаткина [и др.] // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: материалы IV Всерос. науч.-техн. конф. молодых исследователей (с междунар. участием), Волгоград, 24-29 апр. 2017 г. / Волгогр. гос. техн. ун-т, Ин-т архитектуры и стр-ва; под общ. ред. Н. Ю. Ермиловой. – Волгоград, 2017. – С. 130-132. – Режим доступа: <http://vgasu.ru/publishing/on-line/>.

20. Игнаткина, Д. О. Комбинированное устройство – электролизер-адсорбер для очистки сточных вод / Д. О. Игнаткина, Н. Н. Брагина, К. А. Симонова // XXII региональная конференция молодых ученых Волгоградской области (г. Волгоград, 21-24 нояб. 2016 г.): тез. докл. / ред. кол.: А. В. Навроцкий [и др.]. – Волгоград, 2017. – С. 253-254.

21. Игнаткина, Д. О. Источники образования и химический состав сточных вод предприятий пищевой промышленности / Д. О. Игнаткина [и др.] // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе: сб. науч. тр. по материалам VIII / под ред. Ю. Г. Иващенко; Саратов. гос. техн. ун-т им. Ю. А. Гагарина. – Саратов, 2019. – С. 582-586.

22. Игнаткина, Д. О. К вопросу утилизации осадков сточных вод на предприятиях табачной промышленности / Д. О. Игнаткина [и др.] // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе: сб. науч. тр. по материалам VIII / под ред. Ю. Г. Иващенко; Саратов. гос. техн. ун-т им. Ю. А. Гагарина. – Саратов, 2019. – С. 587-591.

23. Игнаткина, Д. О. К вопросу о применении метода электроокисления для очистки сточных вод предприятий пищевой индустрии / Д. О. Игнаткина [и др.] // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования: материалы II Нац. науч.-практ. конф. (7 фев. 2019 г.) / Астрахан. гос. архит.-строит. ун-т. – Астрахань, 2019. – С. 246-250.

24. Игнаткина, Д. О. Разработка экологически безопасной технологии очистки многокомпонентных сточных вод предприятий пищевой промышленности / Д. О. Игнаткина, А. А. Войтюк, Е. В. Федулова // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : материалы VI Всерос. (с междунар. участием) науч.-техн. конф. мол. исследователей, Волгоград, 22-27 апр. 2019 г. / под общ. ред. Н. Ю. Ермиловой, И. Е. Степановой; Волгогр. гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2019. – С. 187-189.

ИГНАТКИНА ДАРЬЯ ОЛЕГОВНА

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЯ ТАБАЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

05.23.04 – Водоснабжение, канализация, строительные системы
охраны водных ресурсов

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать _____ 20__ г. Заказ № ____ Тираж 100 экз. Печ.л. 1,0
Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Отпечатано в типографии ИУНЛ Волгоградского государственного технического университета
400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, корп. 7.