

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 628.349.08

МОРОЗ

Владимир Валентинович

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ РЕАГЕНТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
СОВМЕСТНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ЛАКОКРАСОЧНЫХ
И ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ ПРИБОРО-
И МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

по специальности 05.23.04 – Водоснабжение, канализация,

строительные системы охраны водных ресурсов

Минск, 2019

Работа выполнена в учреждении образования «Брестский государственный технический университет»

Научный руководитель: **Гуринович Анатолий Дмитриевич**, доктор технических наук, профессор кафедры «Экономика строительства» Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты: **Войтов Игорь Витальевич**, доктор технических наук, профессор, ректор УО «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск

Грузинова Валерия Леонидовна, кандидат технических наук, доцент доцент кафедры «Строительства и эксплуатации зданий и сооружений», филиал Белорусского национального технического университета Межотраслевой институт повышения квалификации и переподготовки кадров по менеджменту и развитию персонала, г. Минск

Оппонирующая организация: Государственное научное учреждение «Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси», г. Минск

Защита состоится 22 января 2020 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.10 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, корп. 1, ауд. 202; телефон учёного секретаря (017) 2927622, e-mail: tgv_73@tut.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета (г. Минск, ул. Я. Коласа, 16).

Автореферат разослан 17 декабря 2019 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций
докт. техн. наук, профессор



П. И. Дячек

ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь большое количество предприятий приборо- и машиностроения имеют производства лакокрасочных и гальванических защитных покрытий, а также производства печатных плат. В производствах защитных покрытий стадии подготовки поверхности деталей перед покрытием (обезжиривание, травление, пассивация) идентичны и отличаются лишь завершающими операциями – покрытие поверхности изделий лакокрасочными материалами (далее ЛКМ) или гальваническое покрытие. В значительной степени аналогичные процессы имеются и на производствах печатных плат.

Сточные воды, сбрасываемые лакокрасочными производствами, характеризуются сложным и переменным составом, наличием высокотоксичных соединений, преимущественным содержанием растворённых веществ. Данные производства создают проблемы при очистке производственных сточных вод из-за наличия в смеси гальванических и лакокрасочных материалов, тяжёлых металлов (далее ТМ). Они поступают в сточные воды при подготовке под окраску поверхности изделий, а также при сбросе загрязнённых вод из гидрофильтров лакокрасочных камер. В воду гидрофильтров ТМ поступают в результате растворения ЛКМ в водяной завесе при пневматическом нанесении лакокрасочных материалов на поверхность изделия. Концентрация растворённых ЛКМ в воде ванн гидрофильтров значительно превышает допустимые концентрации (ДК), установленные для сброса сточных вод в городскую канализацию. Имеет место и превышение ДК по ТМ.

Результаты обследований многочисленных предприятий приборо- и машиностроения Беларуси и СНГ, проведенных Белорусским государственным проектным институтом (БелГПИ) и Московским государственным проектным институтом (МГПИ), показывают, что из-за отсутствия в настоящее время достаточно эффективных и недорогих технических решений по очистке этих сточных вод они сбрасываются в городскую систему водоотведения. Генеральный разработчик технологий очистки сточных вод гальванических производств и печатных плат для предприятий приборо- и машиностроения СНГ – МГПИ – рекомендовал ОАО «Брестский электромеханический завод» (ОАО «БЭМЗ») разбавление производственных сточных вод до допустимой концентрации исходной водой в количестве более 10 млн м³ в год.

Такое техническое решение, помимо больших экономических затрат, влечет за собой существенное расширение системы технического водоснабжения и канализации предприятия. По этой причине ОАО «БЭМЗ» до появления эффективных и экономически приемлемых для себя технологий оплачивал КПУП «Брестводоканал» по повышенным тарифам сброс недостаточно очищенных

сточных вод лакокрасочного производства по отдельным показателям в городскую канализацию.

В этой связи возникла необходимость создания малозатратной и эффективной ресурсосберегающей технологии очистки сточных вод, загрязнённых ЛКМ, которая позволила бы повторно использовать воду в производственном цикле предприятия. Такая технология позволяет снизить затраты предприятий на её очистку и негативное воздействие на окружающую среду, уменьшить нагрузку на городские очистные сооружения, что является актуальным в рамках действующих государственных программ, утверждённых Президентом и Советом Министров Республики Беларусь.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами. Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь в области безопасности и охраны окружающей среды:

Постановлению Совета Министров Республики Беларусь от 12 марта 2015 г. № 190 «О приоритетных направлениях научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 годы», п. 10 – экология и природопользование;

Государственной программе по водоснабжению и водоотведению «Чистая вода» на 2011–2015 гг., утверждённой Советом Министров Республики Беларусь 15 сентября 2011 г. № 1234. Глава 3 – снижение вредного воздействия на окружающую среду путем строительства, реконструкции и модернизации очистных сооружений и канализации.

Работа выполнялась на кафедре «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» УО «Брестский государственный технический университет» в рамках ГПНИ «Разработка перспективных технологий и сооружений для очистки природных и сточных вод» на 2014 – 2018 годы, раздел 2.1 «Разработать технологию совместной очистки сточных вод, содержащих лакокрасочные материалы со сточными водами гальванического производства на предприятиях машино- и приборостроения» (2014 – 2018 гг., № госрегистрации 20141703).

Цель и задачи исследований. Цель работы – создание эффективной ресурсосберегающей технологии совместной очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств предприятий приборо- и машиностроения.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

– провести исследования производственных процессов лакокрасочных и гальванических производств с определением характера формирования образующихся потоков сточных вод, их количественного, качественного состава и способов обработки;

– исследовать качественный и количественный состав отработанных технологических растворов (ОТР), не утилизируемых в основном производстве, с целью использования их вместо приобретаемых реагентов в процессе очистки сточных вод;

– исследовать кинетику агрегирования и сорбции ЛКМ на оксигидратных коллекторах в смеси сточных вод лакокрасочных и гальванических производств;

– разработать технологию совместной очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств от ЛКМ в составе очистных сооружений реагентного типа;

– разработать методику расчёта и проектирования сооружений технологии совместной очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств приборо- и машиностроения в рамках очистных сооружений реагентного типа;

– разработать технологию утилизации образующегося осадка, загрязненного ЛКМ.

Объект исследования – системы водоотведения и очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств предприятий приборо- и машиностроения.

Предмет исследования – сточные воды лакокрасочных и гальванических производств и технологии их очистки.

Научная новизна заключается:

– в установлении зависимости снижения содержания органических веществ (ХПК) в сточных водах, содержащих ЛКМ, от времени их барботирования сжатым воздухом с последующей совместной обработкой с хромсодержащими сточными водами;

– снижении уровня содержания органических веществ (ХПК) сточных вод, содержащих ЛКМ, в зависимости от концентрации оксигидратного коллектора, образующегося в результате принятой технологии обработки сточных вод и математического описания этого процесса;

– разработке эффективной ресурсосберегающей технологии и методики расчета сооружений совместной очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств от ЛКМ.

Положения, выносимые на защиту:

1. Зависимость эффективности снижения ХПК от стадий обработки сточных вод, загрязненных ЛКМ, совместно со сточными водами гальванических производств, позволяющая снизить исходное значение ХПК ниже $40 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$;

2. Результаты экспериментальных исследований кинетики процессов сорбции органических и минеральных загрязнений на оксигидратных коллекторах, образующихся в процессе нейтрализации объединенного потока сточных вод, позволяющие определить оптимальные параметры разрабатываемой технологии;

3. Ресурсосберегающая технология совместной очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств предприятий приборо- и машиностроения от ЛКМ, использующих реагентный способ очистки, и методика расчёта сооружений для реализации этой технологии, обеспечивающая эффективное удаление лакокрасочных загрязнений.

Личный вклад соискателя. Соискателем самостоятельно подготовлен план, программа и задача исследования. В экспериментальной части диссертационной работы автор самостоятельно выполнил разработку лабораторных установок и провёл исследования на этих установках для изучения процессов окисления ЛКМ сжатым воздухом, деструкции их сточными водами, содержащими хром, определения оптимальных временных интервалов хлопьеобразования и механизма сорбции на них органических загрязнений ЛКМ.

Автором в производственных условиях самостоятельно были осуществлены исследования гидродинамической обстановки внутри стандартных химических аппаратов, а также возможность совершенствования их систем автоматического регулирования в условиях применения отработанных технологических растворов и на основании этих исследований разработать и внедрить в производство компактные высокопроизводительные энергосберегающие автоматизированные реакторные узлы.

В диссертации автором показана возможность утилизации осадка, позволившей осуществить полное сгорание органических загрязнений ЛКМ при производстве керамических изделий.

Автором самостоятельно произведена обработка и интерпретация полученных экспериментальных данных, составляющих основу диссертации, проведен их анализ, выполнены расчёты, обобщен и изложен материал диссертации, а также разработаны рекомендации для проектирования и внедрения технологии на очистных сооружениях.

Соискателем самостоятельно написан текст диссертации и автореферата.

Непосредственно при участии автора на основе комплексного подхода разработаны рекомендации по применению и осуществлено внедрение в производство предлагаемой технологии очистки сточных вод на ОАО «Брестский электромеханический завод» (ОАО «БЭМЗ»).

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены: на Научно-технической конференции «Проблемы очистки производственных сточных вод промышленных предприятий и пути их решения», Брест, 2009; Брестском инвестиционном форуме «Перспективы инновационного развития Республики Беларусь», Брест, 2012; круглом столе «Проблемы энергетической безопасности в современном мире», Брест, 2013; IV Международной научно-практической конференции «Актуаль-

ные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания», Брест, 2013; научном семинаре «Проблемы энергетической безопасности в контексте интеграционных процессов в современном мире», Брест, 2014; научном семинаре «Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях», Брест, 2015; Международной научно-технической конференции «Промышленная экология», Минск, 2015; VII Международной научно-практической конференции «Проблемы на транспорте», Гомель, 2015; XIX Международной научно-технической конференции «Технология-2016», Северодонецк, 2016; Международном научном семинаре «Влияние промышленных сточных вод на функционирование и мощность коммунальных очистных сооружений», Брест, 2016; IV Международной научно-практической конференции «Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания», Брест, 2017; I International and XIX National conference of the cycle: Problems of the environmental engineering in agricultural and industrial region, Bialowieza, 2018; Международной научно-практической конференции «Экологическая безопасность: проблемы и пути решения», Санкт Петербург, 2018; а также на научном собрании факультета инженерных систем и экологии учреждения образования «Брестский государственный технический университет».

Опубликование результатов диссертации. Основные положения диссертационной работы отражены в 34 публикациях, в том числе 12 статей соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь (всего 3,46 авторских листа), 15 статей в сборниках и материалах конференций (всего 4,04 авторских листа), 1 патент Республики Беларусь на изобретение и 3 патента Республики Беларусь на полезную модель, 3 – другие публикации.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырёх глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Полный объём диссертации 163 страницы. Работа содержит 94 страницы машинописного текста, 27 рисунков на 24 страницах, 13 таблиц на 12 страницах, список используемых источников в количестве 155 наименований на 12 страницах, 34 авторские работы и 10 приложений на 52 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрены существующие методы нанесения лакокрасочных материалов (ЛКМ) на предприятиях приборо- и машиностроения и способы очистки сточных вод от них, состав сточных вод лакокрасочного и гальванического производства ОАО «БЭМЗ».

Установлено, что сточные воды лакокрасочного производства образуются в результате проведения двух технологических операций (подготовки поверхности изделий и нанесения распылением лакокрасочных материалов) в виде промывочных вод и ОТР, загрязненных ЛКМ, тяжёлыми металлами.

Широкий спектр органических и минеральных загрязнений, присутствующих в сточных водах лакокрасочного производства, не позволяет эффективно произвести их очистку от ЛКМ до допустимых концентраций перед сбросом их в коммунальную систему водоотведения.

В результате обзора литературных источников выявлено, что известные регенеративные и деструктивные способы очистки сточных вод (озонирование, гидролиз, выпаривание, экстракция, ультрафильтрация, применение коагулянтов, разбавление и др.) требуют больших капитальных и эксплуатационных затрат.

Для повышения эффективности и экономичности обработки такого вида сточных вод необходимо использовать комбинированные методы их обезвреживания, заключающиеся в последовательной обработке сточных вод различными способами при одновременном использовании сорбционных свойств образующихся оксигидратных коллекторов.

Исследованиями процессов сорбции оксигидратными коллекторами нехарактерных для гальванического производства минеральных и органических загрязнений, занимались М. М. Сенявин, Е. В. Веницианов, Н. В. Тябин, М. И. Тёмкин, О. А. Тишин, А. П. Дарманян, В. Г. Березюк, Е. А. Урецкий.

Опираясь на исследования этих авторов, можно сделать вывод, что перспективным методом очистки сточных вод, загрязнённых ЛКМ, может являться способ совместной их обработки в рамках традиционных реагентных схем очистки сточных вод гальванического производства с использованием сорбционных свойств оксигидратных коллекторов, образующихся в процессе нейтрализации объединенного потока сточных вод.

Во второй главе определены основные направления исследований и оборудование для их проведения, позволяющие получить достоверную информацию о составе и свойствах исследуемых веществ, определить их основные характеристики, а также обеспечивающие требуемую точность и достоверность результатов измерений.

В третьей главе приведены методики для проведения экспериментальных исследований процессов совместной очистки сточных вод гальванического и покрасочного производства на очистных сооружениях реагентного типа и сами исследования.

Проведённые исследования подтвердили, что сточные воды подготовительных операций лакокрасочного производства, как и сточные воды гальванического производства, имеют похожий состав, что создаёт предпосылки для формирования потоков, позволяющих производить эффективное совместное их обезвреживание на очистных сооружениях реагентного типа.

Исследованы состав и технологические свойства ОТР (обезжиривания, травления, фосфатации и др.), образующихся при производстве защитных покрытий (гальваника, покраска), печатных плат, на предмет замены ими товарных реагентов, используемых для обработки сточных вод.

На основании проведённых исследований было осуществлено рациональное формирование потоков сточных вод лакокрасочного, гальванического производства и производства печатных плат у мест их образования, позволяющее осуществить эффективную очистку их от ЛКМ, а именно:

- сточные воды из гидрофильтров покрасочных камер;
- промывные кислотнo-щелочные сточные воды;
- промывные хромсодержащие сточные воды;
- отработанные щелочные растворы;
- отработанные кислые растворы, содержащие восстановители Fe^{2+} , Cu^{+} и др.;
- отработанные кислые растворы (HNO_3 , H_3PO_4 и др.), не содержащие восстановителей;
- отработанные хромсодержащие растворы.

Рациональное формирование потоков сточных вод, направляемых на очистные сооружения, позволило:

- решить основную технологическую задачу – окисление ионов железа (II), содержащегося в ОТР, до ионов железа (III), в процессе восстановления хрома (VI) до хрома (III). При этом отпала необходимость в подщелачивании общего потока сточных вод до $pH=9,5$, обусловленного присутствием гидроксида железа (II);

- практически полностью отказаться от приобретения реагентов-восстановителей: бисульфита натрия ($NaHSO_3$), сульфата железа ($FeSO_4$), а также серной кислоты (H_2SO_4), необходимой для поддержания оптимальной величины $pH=2,0-3,0$ в реакторе для проведения процесса восстановления хрома (VI) до хрома (III);

- до 80% сократить потребность в приобретаемых реагентах для нейтрализации сточных вод (строительная известь и др.);

– уменьшить вторичное загрязнение реагентами сточных вод и соответственно уменьшить затраты, необходимые при повторном использовании их (обессоливание и пр.) в основном производстве;

– уменьшить в 2–4 раза объём образующегося осадка в осветлителях.

Исследования осуществляли в три этапа:

– на первом этапе была определена эффективность удаления летучих органических загрязнений в результате барботирования сточных вод воздухом, определялась степень деструкции легко окисляемых ЛКМ кислородом воздуха и величина снижения ХПК за счёт удаления образующегося пенного продукта;

– на втором этапе был проведен анализ степени деструкции органических загрязнений при совместной обработке сточных вод, загрязнённых ЛКМ и соединениями хрома в кислой среде;

– на третьем этапе – установлена эффективность адсорбции органических веществ на оксигидратном коллекторе, образующемся в процессе нейтрализации всех видов сточных вод и снижение ХПК после 30-минутного отстаивания в лабораторных условиях.

Результаты проведённых исследований представлены в таблице 1.

Проведённые исследования позволили установить возможность эффективной очистки сточных вод, загрязнённых ЛКМ, в рамках существующих реагентных схем очистки сточных вод гальванического производства. Это достигается предварительным барботированием сточных вод, содержащих ЛКМ, последующей деструкцией ЛКМ и других органических хромсодержащими сточными водами, а затем их сорбцией образующимся в процессе нейтрализации всех видов сточных вод оксигидратным коллектором.

Таблица 1. – Усреднённые результаты опытов по совместной очистке сточных вод гальванических и лакокрасочных производств

Показатели	1 этап			2 этап			3 этап			Суммарный эффект очистки, %
	Сточные воды, содержащие ЛКМ		Эффект очистки, %	Сточные воды, содержащие ЛКМ		Эффект очистки, %	Сточные воды, содержащие ЛКМ		Эффект очистки, %	
	До очистки	После очистки		До очистки	После очистки		До очистки	После очистки		
рН	6,9	6,7	–	6,9	4,05	–	6,9	8,5	–	
ХПК, мг О ₂ /дм ³	1580	1264	20,0	751	601	20,0	101,1	40	60,4	97,5
Фенол, мг/дм ³	155,0	13,6	91,2	6,8	4,6	32,6	0,76	0,58	23,7	99,6
Ацетон, мг/дм ³	25,0	18,0	28,0	8,2	4,0	51,3	2,5	1,0	60,0	96,0
Ксилол, мг/дм ³	21,5	2,43	88,7	1,2	0,6	50,0	0,1	0,05	50,0	99,8
Формальдегид, мг/дм ³	43,2	27,1	37,3	12,8	5,3	59,0	0,9	0,4	55,6	99,1

Изучение состава ОТР, не использованных в гальваническом и окрасочном производстве, позволило заменить ими приобретаемые реагенты для очистки сточных вод, но при условии совершенствования стандартных систем автоматического регулирования технологическими процессами.

Информацию о кинетике процесса хлопьеобразования можно получить только в результате исследования процесса на реальных сточных водах.

Проведены исследования по вопросу хлопьеобразования и сорбции ЛКМ на оксигидратных коллекторах, образующихся при нейтрализации реальных сточных вод ОАО «БЭМЗ» при различных оборотах пропеллерной мешалки и различных значениях рН среды.

Проведённые исследования по изучению кинетики процесса хлопьеобразования и сорбции ЛКМ на оксигидратных коллекторах (рисунки 1 и 2) показали, что максимальное снижение оптической плотности сточных вод достигалось при оборотах лабораторной мешалки, равных $n=170-300$ об/мин. в интервале $pH=7,8-9,3$ в течение 7–10 минут при последующем 30-минутном отстаивании в статических условиях. Интервал оборотов лабораторной мешалки соответствовал узкому интервалу оборотов мешалок, химических аппаратов, применяемых при очистке сточных вод. Установлено, что увеличение времени обработки сточных вод свыше 10 минут приводит к деструкции образующихся хлопьев (увеличению оптической плотности) и ухудшению осветления сточных вод. Причиной несовпадения кривых оптических плотностей при различных рН является то, что в состав исходных сточных вод входят ионы различных ТМ.

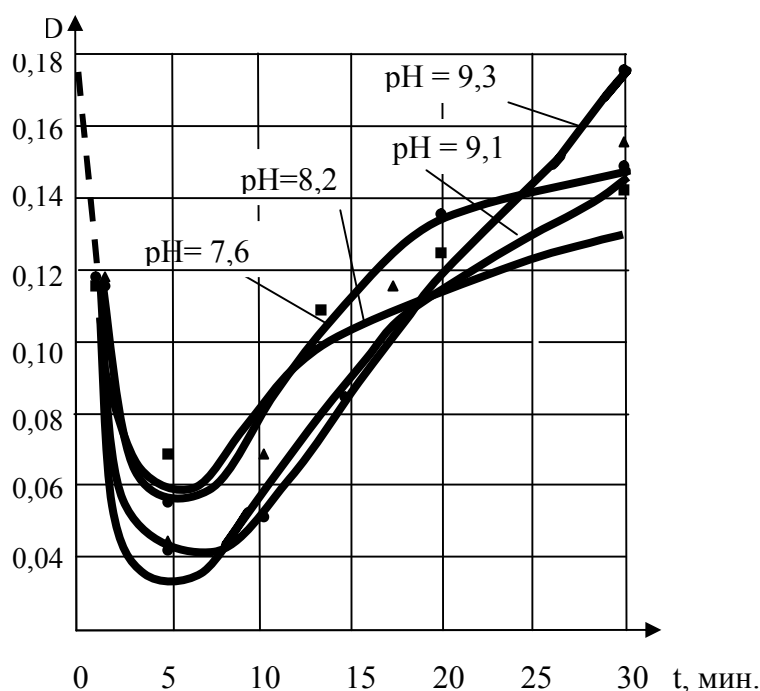
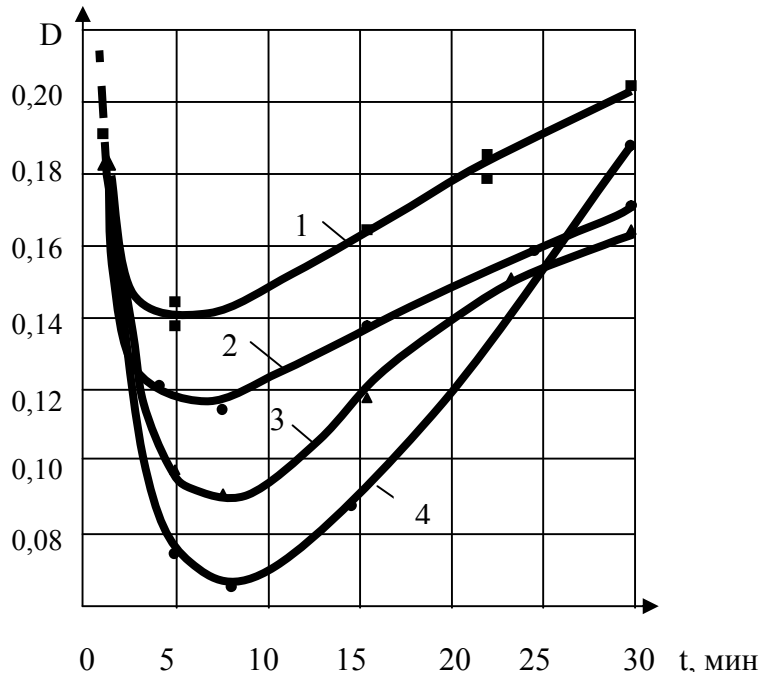


Рисунок 1. – Графическая зависимость величины оптической плотности от величины рН при $n = \text{const} = 170$ об/мин. и времени отстаивания $t = \text{const} = 30$ мин.



1 – $n = 190$ об/мин., $pH = 7,9$; 2 – $n = 250$ об/мин., $pH = 8,2$;
 3 – $n = 170$ об/мин., $pH = 8,7$; 4 – $n = 300$ об/мин., $pH = 9,1$

Рисунок 2. – Графическая зависимость величины оптической плотности от числа оборотов $n=170-300$ об/мин. и интервала $pH=7,9-9,1$

При этом каждый ион ТМ переходит в гидроксид в однокомпонентном растворе при различных значениях pH . Так, осаждение меди производят при $pH=5,5-6,0$, цинка и кадмия при $pH=8-9$, никеля при $pH=11-12$, олова и висмута при $pH = 7-8$ и т. д.

Но это не касается многокомпонентных смесей. Осаждение перечисленных гидроксидов в многокомпонентных смесях до уровня ПДК при $pH=8-8,5$ объясняется эффектом соосаждения, что подтверждается проведёнными исследованиями и практическим применением технологии.

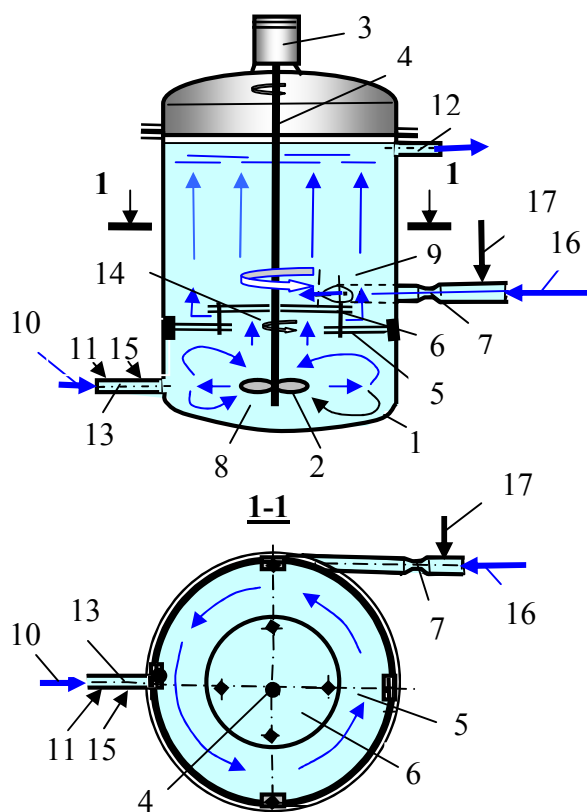
На основании этих исследований были сформулированы требования к проектированию оборудования:

1. Ускорение процесса сорбции загрязнений на оксигидратном коллекторе достигается путём перемешивания ($n=170-300$ об/мин.) в реакторе-смесителе в зоне смешения.

2. Пребывания всех видов сточных вод при их нейтрализации в зоне активного перемешивания не должно превышать 10 минут в связи с разрушением образующихся хлопьев оксигидратного коллектора и дальнейшего ухудшения их осаждения в осветлителях.

3. При общем расходе сточных вод до $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ возможно использование «устройства для проведения физико-химических процессов» (рисунок 3). При этом, целесообразно иметь две последовательно расположенные по высоте

зоны - нижнюю для реализации процесса сорбции и хлопьеобразования с максимальной турбулентностью потока (число оборотов скоростной мешалки в первой зоне ($n=190-300$ об/мин.) и верхнюю зону с умеренной турбулизацией по-



- 1 – корпус, 2 – пропеллерная мешалка, 3 – двигатель с редуктором, 4 – вал, 5 – нижняя кольцевая перегородка, 6 – верхняя кольцевая перегородка, 7 – вихревой смеситель (Пат. №4810), 8 – нижняя зона (реактор-смеситель), 9 – верхняя зона (реактор-вытеснитель и камера хлопьеобразования), 10 – смесь хром- и ЛКМ-содержащих сточных вод, 11 – бисульфит натрия (NaHSO_3), 12 – отводящий патрубок, 13 – подводящий патрубок, 14 – промежуточная зона, 15 – кислота, 16 – подача сточных вод на нейтрализацию, 17 – нейтрализующий реагент

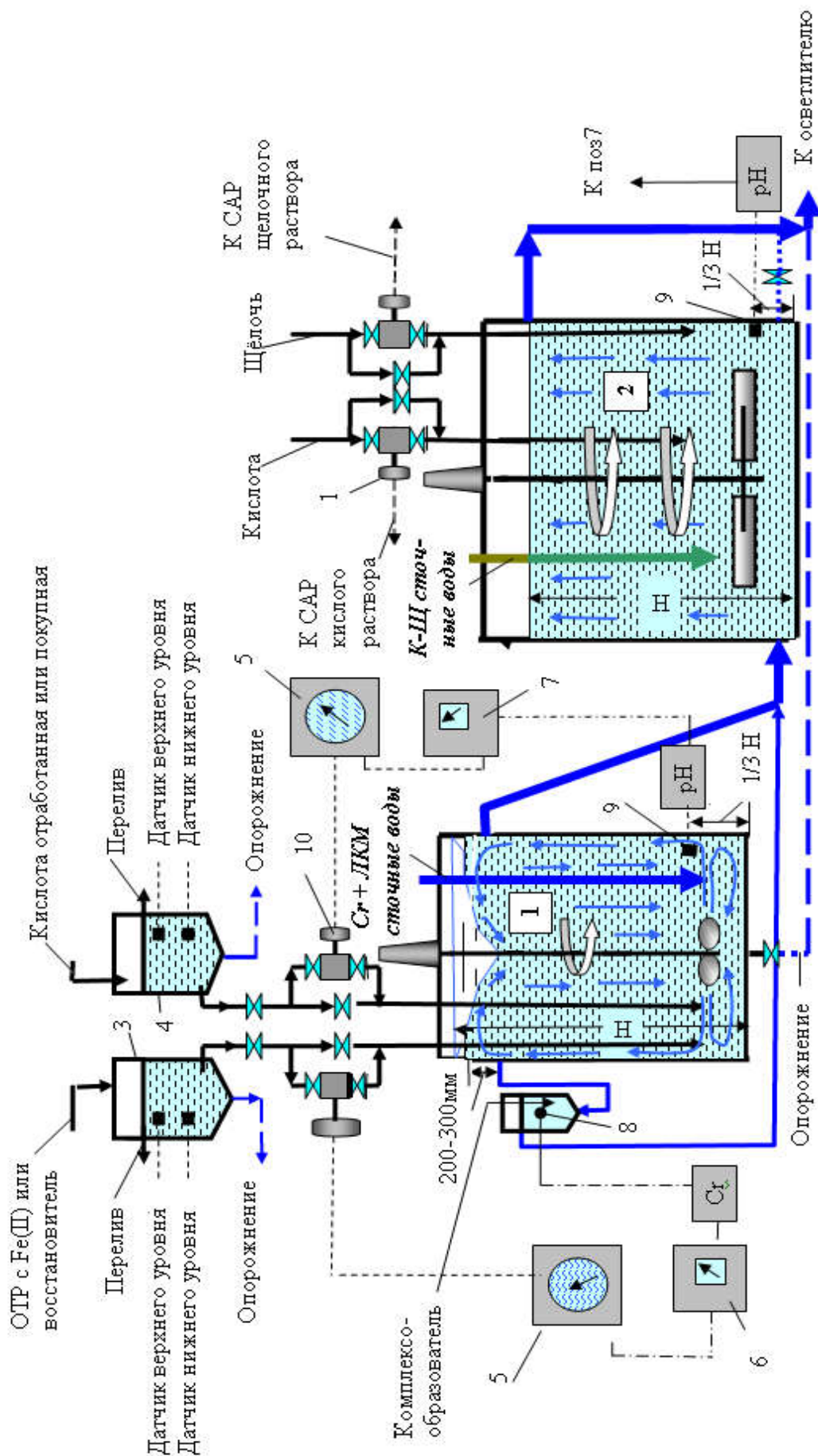
Рисунок 3. – Устройство для проведения физико-химических процессов (Пат. 10812)

тока, обеспечиваемой «вихревым аппаратом» и вращающимся слоем жидкости между кольцевыми перегородками.

4. При общем расходе сточных вод более $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ используется «реакторный узел». При этом целесообразно иметь два последовательно соединённых аппарата: первый – с максимальной турбулентностью потока (реактор-смеситель, оборудованный пропеллерной или турбинной мешалкой, $n=170-300$ об/мин.); второй – с умеренной турбулизацией потока (реактор-вытеснитель, оборудованный тихоходными якорной, рамной или лопастной мешалками, $n = 20-32$ об/мин.).

5. Для интенсификации процесса сорбции загрязнений из промывных и концентрированных сточных вод в реакторе-нейтрализаторе, они должны подаваться в первую зону перемешивания (рисунок 4, поз.1). Реакторный узел (рисунок 4), смонтированный на базовом предприятии, работает следующим образом.

Сточные воды и реагенты подаются в нижнюю зону под мешалку. Индикаторный электрод ЭЗ-01 (поз. 8) сигнализатора наличия хрома (VI) устанавливается на глубине 200–300 мм от уровня переливного патрубка реактора-восстановителя (поз.1). При появлении в реакционной системе шестивалентного хрома ЭЗ-01 (поз. 8) подаёт сигнал на вторичный прибор (поз. 6). Усиленный вторичным прибором электрический сигнал воздействует на потенциометр КСП-3п



1 – реактор-смеситель хром- и ЛКМ содержащих сточных вод $V=1,0 \text{ м}^3$; 2 – реактор-вытеснитель нейтрализации всех видов сточных вод – $2,0 \text{ м}^3$; 3 – дозатор OTP, содержащих железо (II), или резервный товарный восстановитель; 4 – дозатор кислот OTP или резервный покупной; 5 – потенциометр КСП –Зп; 6 – вторичный прибор рН – метра П-205;

8 – индикаторный электрод ЭЗ-01; 9 – первичный датчик рН-метра ДПГ–4м;

10 – мембранный исполнительный механизм с пневмозадвижкой

Рисунок 4. – Усовершенствованный реакторный узел обработки хромсодержащих, ЛКМ-содержащих и кислотно-щелочных сточных вод с элементами оптимизированных САР на базовом предприятии (БЭМЗ) (Патент на изобретение № 12453)

(поз. 5), (поз. 5), оборудованный изодромным пропорционально-интегральным (ПИ) регулятором. В КСП-3п (поз. 5) электрический сигнал преобразуется в пропорциональный пневматический и далее воздействует на мембранный исполнительный механизм (МИМ), и восстановитель начинает поступать в реактор. При исчезновении в системе хрома (VI) пневмоклапан (поз. 10) закрывается. Для поддержания оптимальной величины $pH=2,5-3,0$ в реакторе–восстановителе (поз. 1) на глубине $1/3H$ от днища размещается чувствительный элемент pH -метра марки ДПГ-4м (поз. 9). При повышении pH среды более 3,0, ДПГ-4м (поз. 9) подает сигнал на вторичный прибор pH -метра П-215 (поз. 7), для его усиления воздействует на КСП-3п (поз.5), оборудованный ПИ-регулятором. В КСП-3п (поз. 5) электрический сигнал преобразуется в пропорциональный пневматический и далее воздействует на мембранный исполнительный механизм пневмоклапана (поз.10). Клапан открывается, кислый раствор начинает поступать в реактор (поз. 1). По достижении величины $pH=2,5$, установленной на датчике потенциометра КСП-3п, пневмоклапан закрывается. Принцип работы САР системы подачи щелочного и кислого реагента для поддержания $pH=8-8,5$ в реакторе-нейтрализаторе (поз. 2) аналогичен САР поддержания оптимального pH в реакторе-восстановителе (поз. 1).

Четвертая глава посвящена разработке технологии совместной очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств. Основой данной технологии являются результаты проведенных автором исследований.

На очистных сооружениях сточных вод гальванических и покрасочных производств ОАО «БЭМЗ» данная технология реализуется следующим образом (рисунок 5): сточные воды, содержащие лакокрасочные загрязнения, покрасочного участка расходом $11,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ поступают в два накопителя ЛКМ объемом 7 м^3 , оборудованные барботажными устройствами.

В результате барботирования сточных вод сжатым воздухом происходит:

- снижение ХПК, окислением легкоокисляемых органических веществ примерно на 20%, а также вынос ЛКМ в пенный продукт. Время пребывания сточных вод в приёмных резервуарах установлено не менее 20 минут;
- предотвращение выпадения основной массы взвеси (пигменты, наполнители и т. п.) на дно приёмных резервуаров.

После барботирования сжатым воздухом сточные воды, содержащие ЛКМ, равномерно подмешиваются через дозатор сточных вод, содержащих ЛКМ, в накопитель сточных вод, содержащих хром. Далее сточные воды направляются в реактор–восстановитель сточных вод, содержащих хром, объемом $3,2 \text{ м}^3$, в котором одновременно реализуются стадии усреднения, смешения и реакции. В процессе обработки сточных вод, содержащих хром, для создания оптимальной величины pH и подачи восстановителя для перевода хрома (VI) в хром (III) используются ОТР, содержащие ионы железа (II), меди (I), и соответствующая САР.

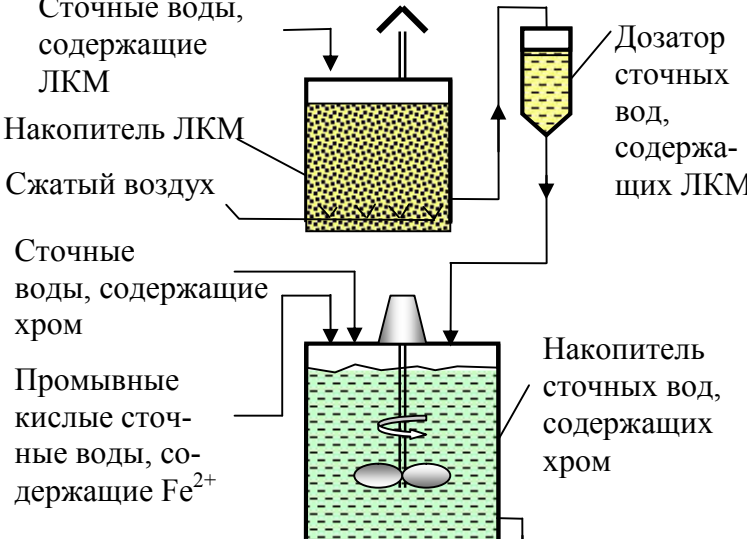
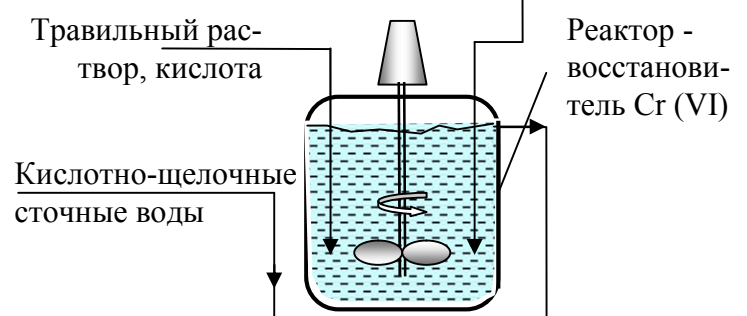
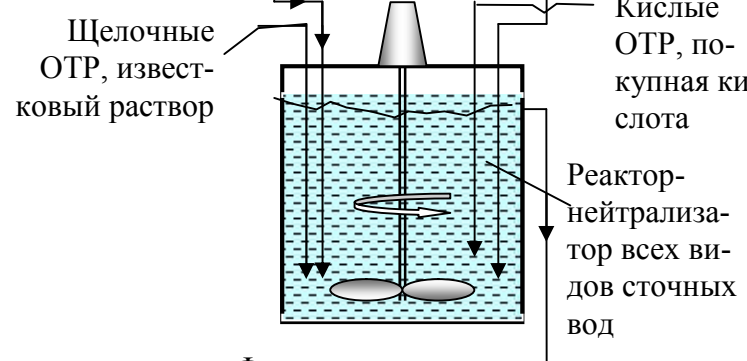
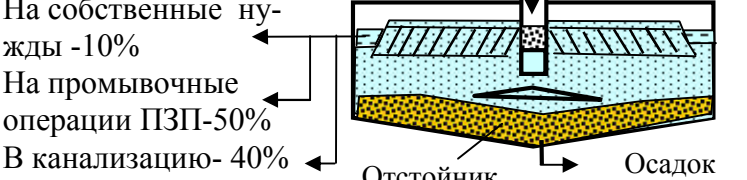
Характеристика сточных вод Схема, потоки, реагенты	Стадии процесса	Время обработки, мин.
<p>Сточные воды, содержащие ЛКМ</p> <p>Накопитель ЛКМ</p> <p>Сжатый воздух</p> <p>Сточные воды, содержащие хром</p> <p>Промывные кислые сточные воды, содержащие Fe^{2+}</p>  <p>Дозатор сточных вод, содержащих ЛКМ</p> <p>Накопитель сточных вод, содержащих хром</p>	<p>Накопление сточных вод с ЛКМ</p> <p>Подмешивание сточных вод с ЛКМ в хромосодержащие сточные воды</p>	<p>Продувка стоков сж. воздухом не менее 20 минут</p> <p>Усреднение, не менее 10 минут</p>
<p>Травильный раствор, кислота</p> <p>Кислотно-щелочные сточные воды</p>  <p>Реактор - восстановитель Cr (VI)</p>	<p>Восстановление Cr (VI) в объединённом потоке с ЛКМ $pH=2,5-3,0$</p>	<p>$t=7-10$ минут</p>
<p>Щелочные ОТР, известковый раствор</p> <p>Кислые ОТР, покупная кислота</p>  <p>Реактор-нейтрализатор всех видов сточных вод</p> <p>Флокулянт</p>	<p>Нейтрализация всех видов сточных вод $pH=8-8,5$</p>	<p>$t=7-10$ минут</p>
<p>На собственные нужды -10%</p> <p>На промывочные операции ПЗП-50%</p> <p>В канализацию- 40%</p>  <p>Отстойник</p> <p>Осадок</p>	<p>Осветление</p>	<p>Интервал времени, в зависимости от типа осветлителя</p>

Рисунок 5. – Блок-схема «попутного» обезвреживания сточных вод, загрязнённых ЛКМ, в рамках очистных сооружений обработки сточных вод гальванического производства реагентного типа на примере ОАО «БЭМЗ»

Это позволяет практически полностью заменить приобретаемые реагенты (NaHSO_3 , H_2SO_4 и др.). В случае недостатка ОТР, содержащих ионы железа (II), предусмотрена подача товарного реагента-восстановителя бисульфита натрия (NaHSO_3) и серной кислоты (H_2SO_4). Восстановление хрома (VI) до хрома (III) происходит в реакторе при $\text{pH}=2,5-3,0$, при этом гидролиз солей железа исключен.

Далее кислотно-щелочные сточные воды расходом $59 \text{ м}^3/\text{ч}$, объединённый поток сточных вод, загрязненных хромом, органическими загрязнениями и ЛКМ, расходом $20,6 \text{ м}^3/\text{ч}$, а также реагенты подаются в нижнюю зону (под мешалку) реактора нейтрализации всех видов сточных вод. В нижней зоне реактора-нейтрализатора, при $\text{pH}=8,0-8,5$, поддерживаемой с помощью щелочных ОТР, а в их отсутствие – товарным реагентом (известковым раствором), происходит быстрый гидролиз солей тяжёлых металлов и солей железа с образованием многокомпонентного оксигидратного коллектора. Этот коллектор эффективно сорбирует на себе органические загрязнения. В состав оксигидратного коллектора входят гидроксиды железа (II), железа (III) и др. металлов, присутствующих в нейтрализуемой сточной воде. Основным компонентом оксигидратного коллектора являются гидроксиды железа (II) и железа (III). Проведенными исследованиями установлено, что во избежание разрушения хлопьев взвеси в реакторе-нейтрализаторе, оборудованном механической мешалкой, максимальный интервал времени обработки сточных вод не должен превышать 10 минут. Осветление коагулированной взвеси происходит в осветлителях.

ХПК в осветлённых сточных водах снижается до $25 \text{ мг О}_2/\text{дм}^3$. Средний, доверительный интервал концентраций загрязнений после реактора-нейтрализатора и двухчасового отстаивания приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Средние результаты содержания загрязнений после реактора-нейтрализатора и отстойников

Наименование ингредиента	Доверительный интервал концентраций после реактора-нейтрализатора	Наблюдаемый максимум до и после вертикального отстойника при $t=2$ часа	
		до	после
Хром (VI), $\text{мг}/\text{дм}^3$	–	–	–
Хром общий, $\text{мг}/\text{дм}^3$	10–20	не определено	1,7
Цинк, $\text{мг}/\text{дм}^3$	15–28	32,1	0,2
Никель, $\text{мг}/\text{дм}^3$	2,2–4,9	5,2	0,1
Железо, $\text{мг}/\text{дм}^3$	70–195	250	1,5
Медь, $\text{мг}/\text{дм}^3$	11–22	28,0	0,5
Кислота, $\text{мг-экв}/\text{дм}^3$	7,9–9,1	10,8	–
Щёлочь, $\text{мг-экв}/\text{дм}^3$	3–4,2	5,3	–
pH	8,5–9	8,5–9	8,6
ХПК, $\text{мгО}_2/\text{дм}^3$	1500–2000	2500	21,6
Суммарное содержание основных ингредиентов ($\text{Fe}_{\text{общ}}$, $\text{Cr}_{\text{общ}}$, Cu, Zn, Ni), образующих оксигидратный коллектор (Σ и.о.к.), $\text{мг}/\text{дм}^3$			108,2–269,9

Последующее снижение ХПК до 15–20 мг $O_2/дм^3$ возможно при дополнительном поочерёдном фильтровании осветленных сточных вод через механические фильтры с загрузкой из вспененного полистирола и в сорбционных фильтрах. Графики снижения ХПК барботированием сжатым воздухом, окислением хромсодержащим потоком, сорбцией оксигидратным коллектором с последующим отстаиванием в отстойниках показаны на рис. 6, 7, 8.

В результате барботирования сточных вод, содержащих ЛКМ, в течение 20 минут (Рисунок 6) значение ХПК снизилось на 20%.

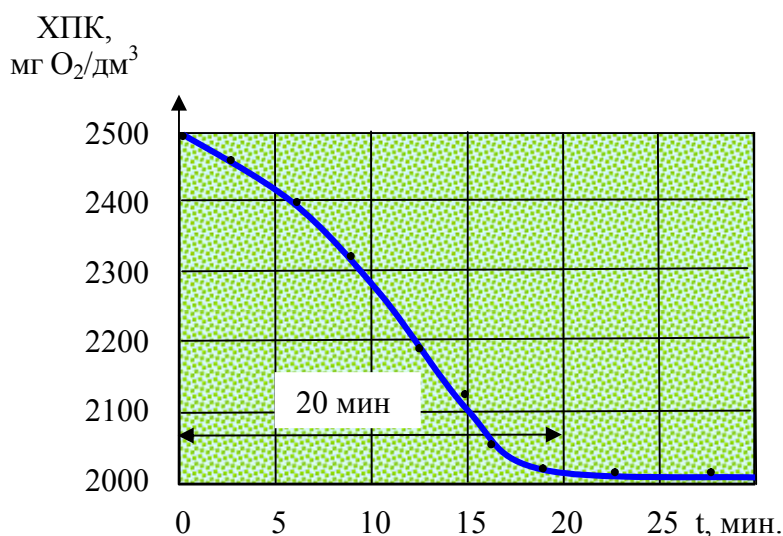


Рисунок 6. – График снижения ХПК барботированием сжатым воздухом (1 стадия обработки сточных вод)

На второй стадии, в результате окисления органических загрязнений в смеси сточных вод, содержащих ЛКМ и хром, в течение 10 минут (Рисунок 7), значение ХПК снижается еще на 20%.

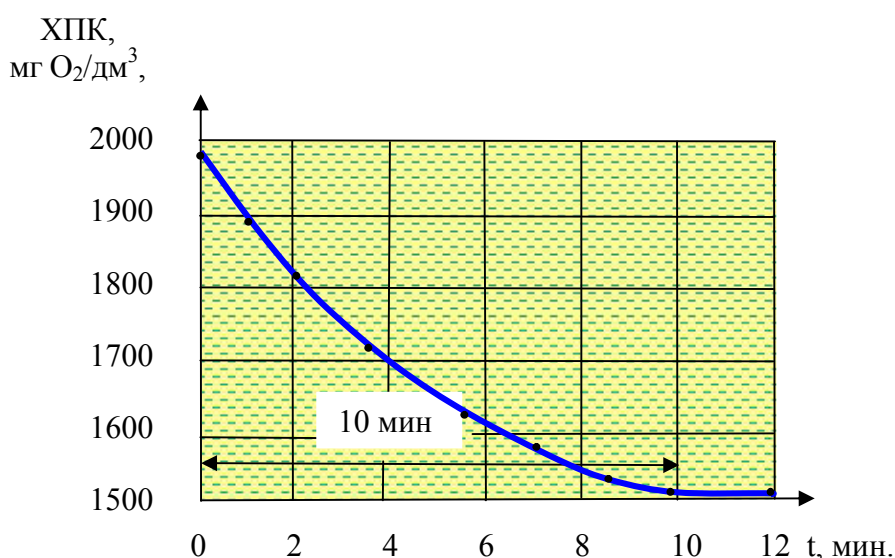


Рисунок 7. – График снижения ХПК окислением хромсодержащим потоком (усреднённые данные) (2 стадия обработки сточных вод)

После нейтрализации всех видов сточных вод и образования оксигидратного коллектора, сорбирующего на своей поверхности органические и мине-

ральные загрязнения, с последующим осветлением в отстойнике, происходит снижение ХПК до $25 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$.

Для практического применения полученных экспериментальных данных, зависимости значения ХПК от суммарного значения ионов оксигидратного коллектора (И.О.К), образованного в результате нейтрализации, произведена математическая обработка полученной кривой следующим образом.

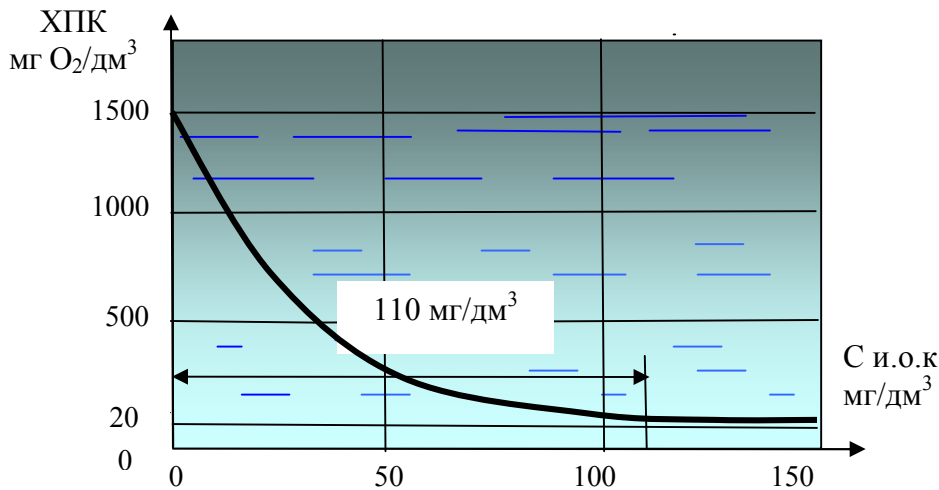


Рисунок 8. – График снижения ХПК, сорбцией оксигидратным коллектором с последующим 2-часовым отстаиванием (усреднённые данные) (3 – я стадия обработки сточных вод)

Отыскиваем аппроксимирующую функцию на промежутке $[0, +\infty)$ в виде:

$$f(x) = a \cdot \text{arcctg}(b(x - c)) + d. \quad (1)$$

Данная функция с регулируемыми параметрами «а», «b», «с», «d» подобрана исходя из вида распределения экспериментальных данных.

Учитывая, что областью значений функции $f_2(x)$ является интервал $(d; a+d)$, а также то, что при $\sum \text{и. о. к.} = 0$, $\text{ХПК} = 1500$, в качестве начального приближения параметра «а» примем $a_0 = 750$.

Параметр «b» задаёт коэффициент растяжения кривой $y = f_2(x)$ вдоль оси абсцисс. Принимаем для начала $b_0 = 1$.

Параметр «с» задаёт абсциссу точки перегиба кривой $y = f_2(x)$. Согласно полученным экспериментальным данным примем $c_0 = 2$.

В качестве начального приближения параметра «d» возьмём минимальное практически достижимое значение ХПК, равное 15 мг/л , т. е. положим $d_0 = 15$.

Исходя из принятых данных, уточняем значения параметров, минимизируя величину

$$\Delta = \sum_{i=1}^{16} |f(x) - y_i|. \quad (2)$$

При этом вычисленная сумма отклонений (погрешность) $\Delta=843,29$, а аппроксимирующая функция на промежутке $[0,+\infty)$ при подстановке полученных параметров будет иметь вид:

$$f(x)=726,82 \cdot \operatorname{arctg}(0,22(x-2,33))+14,04. \quad (3)$$

Обратную зависимость величины $x = C_{\text{и.о.к.}}$ от величины $y = \text{ХПК}$ получим, выражая X через $Y = f_2(x)$:

$$x = 4,545 \cdot \operatorname{ctg}\left(\frac{f(x)-14,04}{726,82}\right) + 2,33 \quad \text{или} \quad (4)$$

$$x = 4,545 \cdot \operatorname{ctg}\left(\frac{y-14,04}{726,82}\right) + 2,33. \quad (5)$$

Используем данную математическую зависимость для нахождения величины ХПК – (Y) от суммарного количества ионов оксигидратного коллектора $C_{\text{иок}}$ – (X), полученного в результате нейтрализации сточных вод, а также для определения обратного значения.

При исходном максимальном ХПК до $2500 \text{ мг О}_2/\text{дм}^3$, в результате обработки сточных вод на выходе из очистных сооружений величина ХПК не превышала $15\text{--}25 \text{ мг О}_2/\text{дм}^3$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Теоретически проверено и практически подтверждено, что предварительное барботирование сточных вод, загрязнённых ЛКМ, сжатым воздухом интенсивностью $3\text{--}5 \text{ дм}^3/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ более 20 минут позволяет снизить ХПК до 20%.

Экспериментально установлено, что объединение хромсодержащих и сточных вод, содержащих ЛКМ, при их последующей совместной обработке в реакторе-восстановителе хрома (VI) до хрома (III) при $\text{pH}=2,5\text{--}3,0$, в присутствии в реакционной смеси традиционного катализатора – хрома, позволяет провести процесс деструкции ЛКМ и снижение ХПК до 20%. При этом для восстановления хрома (VI) и поддержания величины $\text{pH}=2,5\text{--}3,0$ необходимо использовать кислые ОТР, содержащие железо (II). Это позволит заменить приобретаемые реагенты (NaHSO_3 , H_2SO_4 и др.), повысить коагулирующую способность и сорбционную ёмкость оксигидратного коллектора, образующегося при нейтрализации всех видов сточных вод в реакторе-нейтрализаторе [1, 2, 3, 7, 11, 13, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 24, 28].

Лабораторными и производственными исследованиями подтверждено, что использование кислых ОТР в реакторах восстановления хрома (VI) до хрома (III), оборудованных стандартной САР, возможно только после совершенствования её чувствительного элемента сигнализатора хрома. Это исключает воздействие ионов железа (III) и позволяет автоматическое управление по редокс-потенциалу. Стандартные САР не работают при концентрации железа (III) в реакционной смеси выше 5 мг/дм^3 [3, 5, 6, 7, 11, 22, 24].

2. На основании результатов экспериментальных исследований определены условия кинетики процессов сорбции на оксигидратных коллекторах. Установлено и в производственных условиях подтверждено, что при сорбции ЛКМ на оксигидратном коллекторе с концентрацией более 110 мг/дм^3 в процессе нейтрализации общего потока сточных вод в течение 7–10 минут при $\text{pH}=8,0\text{--}8,5$ снижается ХПК до $620 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$, а после осветления – до $\text{ХПК} = 25 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ [4, 7, 10, 13, 15, 22, 25, 29, 31, 32].

Экспериментальными исследованиями гидродинамической обстановки в промышленных аппаратах с механической мешалкой установлено, что при их использовании в диапазоне оборотов 170–300 об/мин., величине $\text{pH}=7,8\text{--}9,3$, оптимальный временной интервал обработки составит 7–10 минут. Это позволит совместить усреднение, смешивание и реакцию в одном объёме и уменьшить количество задействованных аппаратов более чем в три раза при снижении энергопотребления [5, 6, 7, 10, 12, 14, 19, 20, 21, 24, 27, 30].

3. На основании результатов экспериментальных исследований разработана и внедрена ресурсосберегающая технология совместной очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств приборо- и машиностроения от ЛКМ на действующих реагентных очистных сооружениях гальванического производства. Технология состоит из оптимального формирования потоков сточных вод у мест образования, использования сжатого воздуха для окисления легкоокисляемых соединений и выделения пенного продукта, потока хромсодержащих сточных вод для деструкции ЛКМ, использования сорбционных свойств оксигидратных коллекторов для сорбции ЛКМ, осветления обработанных сточных вод в отстойниках и последующим фильтрованием, замены приобретаемых реагентов ОТР, применения высокопроизводительных автоматизированных реакторных узлов с разработанной автором повышенной селективностью чувствительных элементов САР.

При осветлении применение оптимизированных вертикальных отстойников, оборудованных встроенной камерой хлопьеобразования и полочными модулями, даст эффективность задержания взвешенных веществ не менее 90%, а также узел механического и сорбционного фильтрования, позволяющий вернуть более 50% очищенных сточных вод на повторное использование [6, 11, 14, 15, 25, 26, 28, 31, 32, 34].

На основании теоретических, лабораторных и производственных исследований разработаны методические указания для проектирования сооружений ресурсосберегающей технологии совместной очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств приборо- и машиностроения от ЛКМ в рамках реагентных очистных сооружений гальванического производства [6, 9, 12, 24, 25, 28, 31, 33].

Предложена технология комплексного использования образующегося осадка в строительной индустрии. Полученная продукция (рядовой и многослойный кирпич, керамзит, керамическая плитка и пр.) проверена на экологическую безопасность и рекомендована к использованию Белорусским научно-исследовательским санитарно-гигиеническим институтом [8, 10, 13, 14, 21, 22].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанная технология очистки сточных вод, содержащих лакокрасочные материалы, совместно со сточными водами гальванического производства может применяться организациями и предприятиями, осуществляющими окраску и производство гальванопокрытий.

Разработанная технология очистки сточных вод, содержащих ЛКМ, совместно со сточными водами гальванического производства

внедрена:

- на ОАО «Брестский электромеханический завод»;
- в учебный процесс на кафедре водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения УО «Брестский государственный технический университет»;

использована:

- в научно-производственном экологическом ОДО «САФАРИ», на «Кировском заводе» (г. Санкт-Петербург), на заводе «Могилёвтрансмаш», Лидском электротехническом заводе;

– при подготовке справочного пособия «Ресурсосберегающие технологии промышленного водоснабжения и водоотведения» авторы Е. С. Гогина, А. Д. Гуринович, Е. А. Урецкий. Справочное пособие предназначено для студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений, а также специалистов в области охраны окружающей среды, очистки природных и сточных вод и для работников научно-исследовательских и проектно-технологических организаций и промышленных предприятий.

Технология на русском и английском языках была размещена в сети Республиканского центра трансфера технологий при содействии Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь, Национальной академии наук Беларуси, Программы развития ООН (ПРООН) и Организации Объединённых Наций UNIDO.

Экономическая значимость разработанной технологии сточных вод, содержащих ЛКМ, совместно со сточными водами гальванического производства заключается в возможности её реализации в рамках традиционных реагентных схем очистки сточных вод гальванического производства, при сохранении существующего технологического регламента, без необходимости дополнительных дорогостоящих металло- и энергоёмких технологических линий и новых реагентов.

Предлагаемая технология является более эффективной, что подтверждено расчётом экологического и экономического эффекта.



СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи опубликованные в рецензируемых журналах

1. Мороз, В. В. Удаление ионов тяжелых металлов из сточных вод гальванического производства методом реагентного осаждения / Г. А. Волкова, В. В. Мороз, Н. Ю. Сторожук, С. В. Андreyuk, Т. А. Ярмолевич // Вестн. Брестского гос. техн. ун-та – 2004. – № 2(80).: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика.– С. 87–89.
2. Мороз, В. В. Исследование возможности создания «попутной» технологии обработки сточных вод, загрязнённых лакокрасочными ингредиентами / Е. А. Урецкий, В. В. Мороз // Вестн. Брестского гос. техн. ун-та – 2007. – №2(44).: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 71–74.
3. Мороз, В. В. Совершенствование системы автоматического регулирования (САР) процесса восстановления хрома (VI) в условиях «мешающего» фона / Е. А. Урецкий, В. В. Мороз // Вестн. Брестского гос. техн. ун-та – Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – 2007.– №2(44). – С.75–80.
4. Мороз, В. В. Исследования кинетики процессов сорбции органических загрязнений на оксигидратных коллекторах и их агрегирования в смеси краскосодержащих и гальванических стоков / Е. А. Урецкий, В. В. Мороз // Вестн. Брестского гос. ун-та – 2013. – №2(80).: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 54–57.
5. Мороз, В. В. Изучение реальной гидродинамической обстановки в промышленном аппарате $V=3,2\text{ м}^3$ с механической мешалкой, используемой для обработки смеси стоков гальванического и окрасочного производства / Е. А. Урецкий, В. В. Мороз // Вестн. Брестского гос. техн. ун-та – Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика.– 2013.– №2(80) – С. 60–62.
6. Мороз, В. В. Разработка методики расчета и проектирования аппаратурного оформления ресурсосберегающих процессов / А. Д. Гуринович, Е. А. Урецкий, В. В. Мороз // Вестн. Брестского гос. техн. ун-та – 2014. – №2(86).: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С 58–61.

7. Мороз, В. В. Ресурсосберегающая технология очистки сточных вод лакокрасочного производства в приборо– и машиностроении / В. В. Мороз // Вестн. Брестского гос. техн. ун-та – 2014. – №2(86).: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 78–81.

8. Мороз, В. В. Ресурсосберегающая технология утилизации гальваношламов, загрязненных органическими и минеральными ингредиентами лакокрасочных производств в производстве строительных материалов / Е. А. Урецкий, Р. Т. Газизов, В. В. Мороз // Вестн. Брестского гос. техн. ун-та – 2015. – № 2(80).: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 62–65.

9. Мороз, В. В. Математическая модель технологии очистки стоков окрасочного производства в рамках очистных сооружений гальванического производства / Е. А. Урецкий, М. М. Юхимук, В. В. Мороз // Вестн. Брестского гос. техн. ун-та – 2015. – № 2(80).: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 65–68.

10. Мороз, В. В. К вопросу очистки сточных вод лакокрасочного производства на предприятиях приборо- машиностроения / Е. А. Урецкий, М. М. Юхимук, В. В. Мороз // Вестн. Брестского гос. техн. ун-та – 2017. – № 2 (104).: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 112–115.

11. Мороз, В. В. Расчет экономической эффективности внедрения ресурсосберегающей реагентной технологии совместной очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств приборо- и машиностроения / Е. А. Урецкий, О. П. Белоглазова, В. В. Мороз // Вестн. Брестского гос. техн. ун-та – 2018. – № 2(110).: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика и геоэкология. – С. 122–126.

12. Мороз, В. В. Ресурсосберегающая реагентная технология совместной очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств приборо- и машиностроения / Е. А. Урецкий, А. П. Дарманян, В. В. Мороз // Вестн. Брестского гос. техн. ун-та – 2018. – № 2(110).: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика и геоэкология. – С. 134–138.

Статьи в сборниках

13. Мороз, В. В. Экологические проблемы, создаваемые лакокрасочными загрязнениями сточных вод предприятий приборо– и машиностроения, и пути их решения малозатратными энергосберегающими решениями / В. В. Мороз, Е. А. Урецкий // Проблемы энергетической безопасности в современном мире : материалы круглого стола, Брест, 21 марта 2013 г. / Брестский гос. техн. ун-т ; под ред. М. В. Стрельца [и др.]. – Брест, 2013. – С. 135–143.

14. Мороз, В. В. Малозатратная ресурсосберегающая установка для предварительного смешения реагентов со стоками и эффективного проведения процесса хлопьеобразования / В. В. Мороз, Е. А. Урецкий, Е. И. Дмухайло // Проблемы энергетической безопасности в современном мире : материалы круглого стола, Брест, 21 марта 2013 г. / Брестский гос. техн. ун-т ; под ред. М. В. Стрельца [и др.]. – Брест, 2013. – С. 66–70.

15. Мороз, В. В. Оптимизация работы вертикальных отстойников путем добавления в них зернистых хлопьеобразователей и полочных модулей / А. Д. Гуринович, Е. А. Урецкий, В. В. Мороз // Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях : сб. ст. науч. семинара, Брест, 21 марта 2015 г. / Брестский гос. техн. ун-т ; под ред. М. В. Стрельца [и др.]. – Брест, 2015. – С. 105–111.

16. Мороз, В. В. Разработка и внедрение ресурсосберегающей технологии совместной очистки сточных вод гальванического и покрасочного производств / Л. Д. Субботкин, Е. А. Урецкий, В. В. Мороз // Сб. науч. трудов – Симферополь: НАПКС, 2017. – № 8 (60).: Строительство и техногенная безопасность. – С. 87–92.

17. Мороз, В. В. Исследования процессов совместной физико-химической очистки сточных вод гальванического и покрасочного производства / Л. Д. Субботкин, Е. А. Урецкий, В. В. Мороз // Сб. науч. трудов – Симферополь: НАПКС, 2017. – № 9 (61).: Строительство и техногенная безопасность. – С. 133–138.

18. Мороз, В. В. Опыт повторного использования сточных вод на предприятии приборо- и машиностроения / Е. А. Урецкий, Л. Д. Субботкин, В. В. Мороз, А. П. Дарманян // Сб. науч. трудов – Симферополь: НАПКС, 2018. – № 11 (63).: Строительство и техногенная безопасность.– С. 97–103.

19. Мороз, В. В. Разработка, проектирование и внедрение реакторных узлов процессов очистки сточных вод предприятий приборо- и машиностроения / Е. А. Урецкий, Л. Д. Субботкин, В. В. Мороз, А.П. Дарманян // Сб. науч. трудов – Симферополь: НАПКС, 2018. – № 12 (64).: Строительство и техногенная безопасность.– С. 99–107.

Материалы конференций и доклады

20. Мороз, В. В. Инвестиционно привлекательная энергосберегающая технология очистки стоков лакокрасочного производства в машиностроении / В. В. Мороз, Е. А. Урецкий, А. Д. Гуринович // Перспективы инновационного развития Республики Беларусь : материалы 4-й Междунар. науч. практ. конф., Брест, 25–26 апр. 2013 г. / Брестский гос. техн. ун-т ; редкол.: А. М. Омелянюк [и др.]. – Брест, 2013. – С. 167–170.

21. Мороз, В. В. Очистка сточных вод покрасочного производства предприятий приборостроения и машиностроения / А. Д. Гуринович, В. В. Мороз // Актуальные научно–технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : материалы 4-й Междунар. науч. конф., Брест, 25–27 апр. 2013 г. / Брестский гос. техн. ун-т ; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест, 2013. – С. 60–62.

22. Мороз, В. В. Очистка краскосодержащих сточных вод «попутной» технологией / В. В. Мороз // Актуальные научно–технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : материалы 4-й Междунар. науч. конф., Брест, 25–27 апр. 2013 г. / Брестский гос. техн. ун-т ; под ред. А. А. Волчека [и др.]. – Брест, 2013. – С. 57–60.

23. Мороз, В. В. Предпосылки для создания ресурсосберегающей технологии очистки сточных вод лакокрасочного производства в рамках очистных сооружений гальванического производства / А. Д. Гуринович, Е. А. Урецкий, В. В. Мороз // Проблемы энергетической безопасности в контексте интеграционных процессов в современном мире : материалы науч. семинара., Брест, 21 марта 2014 г. / Брестский гос. техн. ун-т ; под ред. В. С. Северянина [и др.]. – Брест, 2014. – С. 90–94.

24. Мороз, В. В. Экологичная и ресурсосберегающая технология очистки сточных вод, содержащих лакокрасочные материалы в машиностроении / В. В. Мороз // Проблемы на транспорте : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 26–27 ноябр. 2015 г. / Белорус. гос. ун-т трансп; редкол.: В. И. Сенько – Гомель, 2015. – С. 211–212.

25. Мороз, В. В. Очистка сточных вод покрасочного производства «попутной» технологией / В. В. Мороз // Технология 2016 : материалы XIX Междунар. науч.-практ. конф., Северодонецк, Украина 22–23 апр. 2016 г. – Северодонецк, 2016. – С. 169–171.

26. Мороз, В. В. Инновационная ресурсосберегающая технология совместной очистки сточных вод гальванического, покрасочного производств и производств печатных плат / А. Д. Гуринович, Е. А. Урецкий, В. В. Мороз // Инновации: от теории к практике: материалы VI Междунар. науч. -практ. конф., Брест, 05–07 окт. 2017 г. / Брестский гос. техн. ун-т ; редкол.: П. С. Пойта [и др.]. – Брест, 2017. – С. 57–61.

27. Мороз, В. В. Разработка и внедрение ресурсосберегающей реагентной технологии совместной очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств в приборо- и машиностроении / Е. А. Урецкий, В. В. Мороз, С. В. Басов // Экологическая безопасность: проблемы и пути решения: сб. тез. и докл. Межд. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 12–13 апр. 2018 г. / Санкт-Петербургского гос. ун-т телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича; под ред. К. В. Дукельского [и др.]. – С. Петербург, 2018. – С. 58–59.

Патенты

28. Способ совместной очистки сточных вод лакокрасочных производств и производств защитных покрытий и плат : пат. 12453 Респ. Беларусь / Е. А. Урецкий, В. В. Мороз ; заявитель Брестский гос. техн. ун-т. – № а 20071107 ; заявл. 11.09.2007 ; опубл. 16.07.2009 / Гос. реестр на изобретение.

29. Вихревой аппарат : пат. 4810 Респ. Беларусь / Е. А. Урецкий, В. В. Мороз, Е. И. Дмухайло ; заявитель Брестский гос. техн. ун-т. – № и 20080317 ; заявл 16.04.2008 ; опубл. 04.08.2008 / Гос. реестр полезн. моделей.

30. Устройство для проведения физико–химических процессов : пат. 10812 / Е. А. Урецкий, В. В. Мороз ; заявитель Брестский гос. техн. ун-т. – № и 20150099 ; заявл 26.01.2015 ; опубл. 19.03.2015 / Гос. реестр полезн. моделей.

31. Вертикальный отстойник : пат. 10935 Респ. Беларусь / Е. А. Урецкий, В. В. Мороз ; заявитель Брестский гос. техн. ун-т. – № и 20150026 ; заявл 26.01.2015 / Гос. реестр полезн. моделей.

Другие публикации

32. Reagent technology of joint purification of sewage water for paint and galvanic production / A. Hurinovich, U. Maroz // *Jornal of Ecological Engineering*/ – 2018. – Vol.19. – P.208–216.

33. Мороз, В. В. Ресурсосберегающая технология обработки сточных вод, загрязненных соединениями свинца в рамках традиционных очистных сооружений гальванического производства реагентного типа / Е. А. Урецкий, В. В. Мороз // *Вода magazine*. – 2018. – № 9 (133) – С. 23–28.

34. Мороз, В. В. Технология комплексной очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств предприятий приборо- и машиностроения / А. Д. Гуринович, В. В. Мороз // *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. – 2018. – № 11 (131) – С. 26–33

РЕЗЮМЕ

Мороз Владимир Валентинович

Ресурсосберегающая реагентная технология совместной очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств в приборо- и машиностроении

Ключевые слова: ХПК (химическое потребление кислорода), ЛКМ (лакокрасочные материалы), ОТР (отработанные технологические растворы), ПЗП (производства защитных покрытий), промывные воды, реагенты, технология, обезвоживание, осаждение, осадок.

Объект исследования – системы водоотведения и очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств предприятий приборо- и машиностроения.

Предмет исследования – сточные воды лакокрасочных и гальванических производств и технологии их очистки.

Цель работы – создание эффективной ресурсосберегающей технологии совместной очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств предприятий приборо- и машиностроения.

Методы исследования и аппаратура: использовались физико-химические, технологические методы, лабораторный и натурный эксперименты, приборы и оборудование для изучения свойств сточных вод.

Полученные результаты и их новизна. Установлена зависимость снижения содержания органических веществ (ХПК) в сточных водах, содержащих ЛКМ, от времени их барботирования сжатым воздухом с последующей совместной обработкой с хромсодержащими сточными водами. Определен уровень снижения содержания органических веществ (ХПК) сточных вод, содержащих ЛКМ, в зависимости от концентрации оксигидратного коллектора. Разработана эффективная ресурсосберегающая технология совместной очистки сточных вод лакокрасочных и гальванических производств от ЛКМ. Определена возможность утилизации осадка гальванического производства, загрязнённого лакокрасочными материалами в производстве строительных материалов.

Разработаны рекомендации по проектированию технологии очистки сточных вод, загрязнённых ЛКМ, для предприятий приборо- и машиностроения.

Степень использования. Полученные результаты были использованы ОАО «Брестский электромеханический завод» (ОАО «БЭМЗ»).

Область применения разработанной технологии: предприятия приборо- и машиностроения и другие отрасли промышленности, сооружения очистки сточных вод, загрязнённых лакокрасочными материалами.

РЭЗІЮМЭ

Мароз Уладзімір Валянцінавіч

Рэсурсазберагальная реагентная тэхналогія сумеснай ачысткі сцёкавых вод лакафарбавых і гальванічных вытворчасцей у прыбора- і машынабудаванні

Ключавыя словы: ХСК (хімічнае спажыванне кіслароду), ЛФМ (лакафарбавыя матэрыялы), АТР (адпрацаваныя тэхналагічныя растворы), ВАП (вытворчасці ахоўных пакрыццяў), прамыўныя воды, рэагенты, тэхналогія, абязводжванне, асаджэнне, асадак.

Аб'ект даследавання – сістэмы водаадвядзення і ачысткі сцёкавых вод лакафарбавых і гальванічных вытворчасцей прадпрыемстваў прыбора- і машынабудавання.

Прадмет даследавання – сцёкавыя воды лакафарбавых і гальванічных вытворчасцей і тэхналогіі іх ачысткі.

Мэта работы – стварэнне эфектыўнай рэсурсазберагальнай тэхналогіі сумеснай ачысткі сцёкавых вод лакафарбавых і гальванічных вытворчасцей прадпрыемстваў прыбора- і машынабудавання.

Метады даследавання і апаратура: выкарыстоўваліся фізіка-хімічныя, тэхналагічныя метады, лабараторны і натурныя эксперыменты, прыборы і абсталяванне для вывучэння уласцівасцяў сцёкавых вод.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Ўсталявана залежнасць зніжэння ўтрымання арганічных рэчываў (ХСК) у сцёкавых водах, якія змяшчаюць ЛФМ, ад часу іх барбаціравання сціснутым паветрам з наступнай сумеснай апрацоўкай з сцёкавымі водамі, якія змяшчаюць хром. Вызначаны ўзровень зніжэння ўтрымання арганічных рэчываў (ХСК) сцёкавых вод, якія змяшчаюць ЛФМ, у залежнасці ад канцэнтрацыі аксігідратнага калектара. Распрацавана эфектыўная рэсурсазберагальная тэхналогія сумеснай ачысткі сцёкавых вод лакафарбавых і гальванічных вытворчасцей ад ЛФМ. Вызначана магчымасць ўтылізацыі асадка гальванічнай вытворчасці, забруджанага лакафарбавымі матэрыяламі, ў вытворчасці будаўнічых матэрыялаў. Распрацаваны рэкамендацыі па праектаванні тэхналогіі ачысткі сцёкавых вод, забруджаных ЛФМ, для прадпрыемстваў прыбора- і машынабудавання.

Ступень выкарыстання атрыманых вынікаў. Атрыманыя вынікі выкарыстоўваюцца ААТ «Брэсцкі электрамеханічны завод».

Вобласць прымянення распрацаванай тэхналогіі – прадпрыемствы прыбора- і машынабудавання і іншыя галіны прамысловасці, збудаванні ачысткі сцёкавых вод, забруджаных лакафарбавымі матэрыяламі.

SUMMARY

Moroz Vladimir

Resource-saving reagent technology of joint wastewater treatment of paint and varnish and electroplating industries in instrumentation and mechanical engineering

Key words: COD (Chemical Oxygen Demand), VPM (varnish-and-paint materials), UTS (used technological solutions), PPC (production of protective coatings), washings, reagents, technology, dewatering, precipitation, the sludge.

The research objects – sewage and wastewater treatment of the varnish-and-paint and galvanic manufacturing at instrument and mechanical engineering.

The research subject – waste water varnish-and-paint and galvanic manufacturing and purification technology.

The purpose of the work – to creation of an effective resource-saving wastewater technology joint treatment of the varnish-and-paint and galvanic manufacturing at instrument and mechanical engineering.

Research methods and equipment: Physico-chemical, technological methods, laboratory and field experiments, instruments and equipment were used to study the properties of wastewater.

The obtained results and their novelty. The dependence of the decrease in the content of organic substances (COD) in wastewater containing VPM from the time of their bubbling with compressed air, followed by joint treatment with chrome-containing wastewater is established. The level of reduction of the content of organic substances (COD) of wastewater containing VPM was determined, depending on the concentration of oxyhydrate collector. An effective resource-saving technology for the joint treatment of wastewaters of paints and varnishes and electroplating from coatings has been developed. The possibility of utilization of the precipitate of electroplating production contaminated with varnish-and-paint materials in the production of building materials has been determined.

Developed recommendations for the design of wastewater treatment technology contaminated with VPM for instrument-making and mechanical engineering enterprises.

The recommendations developed for design of wastewater treatment technology of the varnish-and-paint manufacturing at instrument and mechanical engineering.

The degree of the utilization of the results. The obtained results have been used by Brest Electromechanical Plant.

The application sphere – enterprises of instrument and mechanical engineering and other industries, wastewater treatment plants polluted with varnish-and-paint materials.

Научное издание

МОРОЗ

Владимир Валентинович

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ РЕАГЕНТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
СОВМЕСТНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ЛАКОКРАСОЧНЫХ
И ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ ПРИБОРО-
И МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.23.04 – Водоснабжение, канализация,
строительные системы охраны водных ресурсов

Подписано к печати 12.12.2019. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага «Performer».
Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,75. Тираж 80. Заказ № 1483.

Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Брестский государственный технический университет».
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/235 от 24.03.2014 г.