

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования «Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»

(РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)

119991, г. Москва, Ленинский просп., д. 65, корп. 1, телефон: (499) 507-88-88 (многоканальный)
ОКПО 02066612; ОГРН 1027739073845; ИНН/КПП 7736093127/773601001
E-mail: com@gubkin.ru; <http://www.gubkin.ru>

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
К.т.н., доцент



П. К. Калашников П. К. Калашников

» *01.10.24* 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу «Разработка физико-химических основ метода очистки и обеззараживания воды холодной плазмой в ультразвуковых проточных реакторах» Федулова Игоря Сергеевича, представленную на соискание степени кандидата химических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий

Актуальность работы обусловлена постоянно растущими объёмами сточных вод различных предприятий, как в пределах Российской Федерации, так и за рубежом. Поиск высокоэффективных методов очистки сточных вод является неотъемлемой частью развития современного общества. Растущие требования к подготавливаемой воде делают необходимым поиск компактных и многозадачных устройств, не только обеспечивающих достаточный уровень очистки от загрязнений, но и являющихся легко внедряемыми технологиями в существующие технологические цепочки.

Основной проблемой применения новых технологий является переход от лабораторных испытаний к созданию промышленной установки. Несмотря на положительные экспериментальные результаты исследований, эффективность протекающих процессов очистки может сильно зависеть от объёмов обрабатываемого материала. Поэтому даже в перспективных технологиях зачастую остро возникает вопрос об увеличении масштаба и производительности, соответственно.



Одним из перспективных направлений в современной методологии очистки сточных вод является использование плазмы в качестве ключевого фактора воздействия на загрязнители. Лабораторные исследования показали, что данный метод обладает высокой эффективностью, однако способов промышленной реализации предложено не было. Поиск решения данной проблемы является основой представленной диссертации.

Целью работы является разработка метода очистки обеззараживания воды, позволяющего применять плазму в проточном реакторе.

Для достижения цели автором последовательно решаются следующие задачи

1. Разрабатываются физико-химические основы метода очистки воды плазмы в поле кавитации.
2. Разрабатывается установка для реализации процесса образования плазмы в проточных реакторах
3. Разрабатывается способ увеличения производительности спроектированной установки для осуществления масштабирования метода очистки воды плазмой в поле кавитации.

Диссертация изложена на 111 страницах текста с шрифтом Times New Roman, состоит из введения, литературного обзора, материалов и методов, экспериментальной части, обсуждения результатов, выводов и списка используемой литературы (109 источников), 57 иллюстраций и 11 таблиц.

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируются цели и задачи исследования, обосновывается научная новизна и оценивается практическая значимость предложенного метода очистки сточных вод.

В первой главе проведён анализ существующих методов очистки сточных вод и вод бытового применения, в результате которого сформулирован вывод о недостаточной эффективности отдельных традиционных методов при очистке сложных по составу загрязнений. В дальнейшем анализе были изучены возможные механизмы деструкции загрязнений с целью поиска нового метода очистки, в результате которого была сформулирована гипотеза о возможности использования плазмы в акустическом поле для этих целей.

В первой части второй главы представлено исследование математической модели образования разряда в пузырьках газа, результаты которого свидетельствуют о возможном подтверждении ранее сформулированной гипотезы о возможности использования искусственной среды для создания плазмы, что также дало представление о протекающих процессах в момент горения холодной плазмы в акустическом поле. Полученные данные об оптимальных параметрах были использованы для создания экспериментальной установки.

Во второй части второй главы представлены экспериментальные данные о получении устойчивой плазмы в проточном реакторе, как доказательство ранее сформулированного предположения об её возможном возникновении в специфической форме, характерной для газа, в потоке пузырьков газа в жидкости, а также представлены данные о спектральных характеристиках свечения плазмы и зависимости свечения от примесей различной природы, находящихся в обрабатываемой воде, благодаря чему была выдвинута гипотеза об использовании яркости свечения, как индикатора эффективности горения, а так же сформулировано предположение о том, что чрезвычайно высокие концентрации загрязнителя могут помешать возникновению плазмы.

В заключительной части второй главы были изучены химические механизмы взаимодействия плазмы и обрабатываемой среды, а также описаны экспериментальные результаты, свидетельствующие об обнаружении активных форм кислорода в обрабатываемой жидкости, сохраняющие свои свойства в течении суток и более, что позволило сформулировать гипотезу о пролонгированном воздействии плазмы в течении некоторого периода времени после обработки.

В третьей главе описана оптимизация технологических параметров горения плазмы с целью получения максимальной эффективности для дальнейшей оценки потенциальных возможностей разрабатываемого метода очистки сточных вод. В ходе исследования были изучены вольтамперные характеристики процесса поджога и горения разряда, а также влияние этой зависимости на спектральные характеристики свечения. В результате была получена зависимость эффективности от давления в зоне разрежения и получена оптимальная точка давления на входе в гидродинамический излучатель, который позволяет обеспечить необходимое количество пузырьков в обрабатываемом объеме жидкости.

Кроме энергетических характеристик, так же была изучена зависимость характеристик процесса от материала используемых электродов (в том числе электродов из стали, титана, латуни, цинка и графита). Исследования показали, что на форму генерируемого источником сигнала и характеристики горения плазмы изменение материала электрода влияет незначительно, однако за счёт дополнительных свойств используемых материалов (например, общеизвестной способности ионов серебра к подавлению жизнедеятельности микроорганизмов) некоторые виды электродов могут быть более эффективны в частных случаях (например, при высоких концентрациях микробиологического загрязнения). Изучение спектральных характеристик свечения плазмы при использовании различных материалов электродов позволило выявить наиболее оптимальный для широкого круга задач материал электрода – цинк.

В четвёртой главе представлены данные об эффективности очистки с помощью разрабатываемого метода от загрязнителей различной природы. Первая часть главы посвящена очистке от микробиологических загрязнений. На примере кишечной палочки были получены данные о высокой степени подавления микроорганизмов в плазме, а также подтверждено предположение о использовании свечения в качестве индикатора эффективности очистки. Заключительным этапом этой части стало исследование подавления дрожжей в плазме. В зависимости от количества циклов удалось достичь достаточно высокой эффективности подавления, несмотря на устойчивость дрожжей к различным факторам воздействия. Таким образом был сформулирован вывод о возможности использования разрабатываемой технологии в качестве метода очистки сточных вод от микробиологических загрязнений.

Вторая часть четвёртой главы посвящена изучению эффективности очистки сточных вод холодной плазмой от химических загрязнений. На примере простых веществ была показана достаточно высокая эффективность деструкции химических загрязнителей. В экспериментах с красителем E132 так же был обнаружен эффект пролонгированного действия, что подтвердило ранее сформулированную гипотезу о длительном воздействии плазмы на загрязнители. В заключительной части данной главы было проведено исследование деструкции антибиотиков (тетрациклин), как пример возможного применения разрабатываемого метода в реальных условиях. В ходе исследования так же проверялась возможность катализа процесса для увеличения эффективности очистки сточных вод. В результате было обнаружена высокая эффективность деструкции тетрациклина, продолжающаяся в течении суток, а также увеличение эффективности при добавлении церия, как катализатора. Таким образом был сформулирован вывод о том, что метод может быть использован для очистки сточных вод от сложных химических загрязнений.

В пятой главе представлены данные о масштабном переходе и увеличении производительности экспериментальной установки до 10 м³/ч, приведены различные конструкторские особенности, которые необходимо учитывать при проектировании будущей установки, а также представлено решение недостатка предлагаемого метода – ограничений входной концентрации загрязнителей. В результате исследования был сформулирован вывод о возможности масштабного перехода и дальнейшего увеличения производительности разрабатываемого оборудования.

В заключении автор привёл краткую оценку результатов проделанной работы, сформулировал общие выводы исследования, соответствующие поставленным задачам, и привёл практические рекомендации.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Научная новизна работы содержится в следующих результатах проведённых исследований

1. Разработан новый метод очистки и обеззараживания воды в проточных реакторах на основе применения плазменного разряда в кавитационных пузырях, образующихся с помощью применения гидродинамического излучателя.

2. Исследованы влияющие на эффективность горения плазмы физико-химические факторы воздействия на загрязнители, позволяющие регулировать технологические параметры процесса в зависимости от поставленной задачи. Получены результаты эффективности очистки воды от микробиологических и химических загрязнителей.

3. Доказано, что генерируемая в потоке кавитирующей жидкости плазма приводит к образованию активных химических веществ, таких как гидроксид радикалы и перекись водорода.

4. Обнаружен и описан эффект пролонгированного воздействия за счёт образования активных форм кислорода, позволяющий проводить процесс обработки как непосредственно внутри реактора, так и на выходе из него.

Практическое значение имеет следующее

Разработана конструкция реактора, позволяющая проводить процесс очистки пламенным разрядом в проточных системах.

Разработана принципиальная технологическая схема оборудования, включающая несколько плазменных реакторов, позволяющая масштабировать процесс в соответствии с производительностью технологической цепочки, в которую внедряется разработанное оборудование.

Теоретическая ценность исследования состоит в том, что полученные данные о протекающих в реакторе восстановительных и окислительных реакциях с активными формами кислорода и другими активными веществами позволяет значительно расширить область применения метода обработки жидкости плазмой. А возможность образования плазмы в кавитационных пузырях и выявленный автором эффект пролонгированного химического воздействия значительно расширяют уже описанные наблюдения в области плазменной очистки воды.

К наиболее значимым результатам работы диссертанта можно отнести

1. Описание метода образования плазменного разряда в потоке кавитирующей жидкости.

2. Представленные данные о возможности очистки разработанным методом воды от микробиологических загрязнений на примере кишечной

палочки и химических загрязнений на примере метилового спирта и антибиотиков.

3. Установленный эффект пролонгированного воздействия на очищаемую воду.

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждается использованием современных методологических подходов анализа, включая математическое моделирование процесса образования пробоя в кавитационных пузырях. Полученные в ходе исследования данные совпадают с результатами, опубликованными в рецензируемых научных изданиях.

Апробация работы достаточна: основные результаты диссертации изложены в 14 публикациях, в том числе в 8 статьях в рецензируемых научных изданиях (4 из которых относятся к 1 квартилю), 5 тезисах международных научных конференций. На основе данных был получен 1 патент на полезную модель.

Диссертационное исследование Федулова И.С. удовлетворяет критериям новизны и практической значимости. Полученные в ходе исследования результаты и сформулированные автором выводы не противоречат друг другу, чётко сформулированы и отражают содержание диссертации. Поставленные автором задачи были решены, а цель работы достигнута.

При использовании в диссертации результатов работ, выполненных в соавторстве, диссертант отмечает это обстоятельство. Личный вклад автора диссертационного исследования оценен как высокий. Вклад автора заключается в разработке методов проведения исследования, личном участии в разработке экспериментального оборудования, самостоятельном проведении экспериментальной части, интерпретации полученных результатов и формулировании выводов, а также в активном участии в оформлении и подготовке статей и публикаций.

Содержание диссертации соответствует научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химической технологии.

По работе имеются следующие замечания и вопросы

1. На странице 11 диссертационной работы автором приводится пример концентраций загрязнителей воды, но не указывается к какому источнику относятся эти данные и как они соотносятся с данными о загрязнении водных источников, находящихся на территории Российской Федерации.

2. Использование СВЧ для увеличения эффективности деструкции красителя (страница 59) подтверждается измерением спектральных характеристик воды. Однако для обработанных СВЧ образцов не приводятся

данные оптической плотности, что не позволяет судить об эффективности обработки.

3. Представленная на странице 72 схема подключения внешнего и внутреннего трансформатора не имеет сравнения с схемой до внесения изменений в конструкцию.

Замечаний по оформлению диссертационного исследования Федулова И.С. нет. Замечаний по оформлению автореферата нет. В результате изучения диссертационного исследования возникшие вопросы не снижают научной ценности и практической ценности и были разъяснены диссертантом в процессе обсуждения работы.

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в различных отраслях производств, где необходима очистка сточных вод от микробиологических и химических загрязнений, например, в производствах текстильной промышленности, в технологических цепочках очистки сточных вод птицефабрик или в медицинских учреждениях. Кроме того, возможно совместное использование технологии холодной плазмы и других существующих методов очистки сточных вод в единой технологической цепочке.

Общее заключение

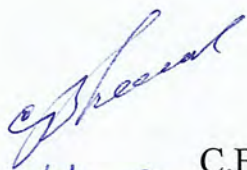
Диссертационная работа Федулова Игоря Сергеевича «Разработка физико-химических основ метода очистки и обеззараживания воды холодной плазмой в ультразвуковых проточных реакторах», представленная на соискание учёной степени кандидата химических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий, является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные решения применения плазменного разряда в условиях постоянного потока жидкости и представлен высокоэффективный метод очистки воды от микробиологических и химических загрязнений, внедрение которого может внести значительный вклад в развитие страны.

Таким образом, диссертация Федулов Игоря Сергеевича полностью соответствует пунктам 2.1-2.5 требований «Положения о присуждения учёных степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук (ИОНХ РАН) (Приложение 1 к Приказу №30 от 29 марта 2024) и соответствует пунктам 9-14 требований «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г. (ред. от 25 января 2024 г.), а её автор, Федулов Игорь Сергеевич, заслуживает присуждения искомой учёной степени кандидата химических наук по специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химической технологий.


Отзыв подготовлен профессором Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», доктором технических наук Мазловой Еленой Алексеевной

Диссертационная работа «Разработка физико-химических основ метода очистки и обеззараживания воды холодной плазмой в ультразвуковых проточных реакторах» Федулова Игоря Сергеевича, автореферат и отзыв были рассмотрены, обсуждены и одобрены на заседании кафедры промышленной экологии (протокол № 2 от 14.10.2024).


Заведующий кафедрой промышленная экология
Доктор технических наук, профессор
Рабочий телефон: +7 (499) 507-82-45
e-mail: stas@gubkin.ru


С.В. Мещеряков
«15» Октября 2024 г.

Доктор технических наук, профессор
Рабочий телефон: +7 (499) 507-87-07
e-mail: mazlova.e@gubkin.ru


Е.А. Мазлова
«15» Октября 2024 г.

Подписи С.В. Мещерякова
и Е.А. Мазловой заверяю:
Начальник отдела кадров



Ю.Е. Ширяев

Сведения о ведущей организации
 по диссертации Федулова Игоря Сергеевича
 «Разработка физико-химических основ метода очистки и обеззараживания воды
 холодной плазмой в ультразвуковых проточных реакторах»
 по специальности 2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий
 на соискание учёной степени кандидата химических наук

| | |
|--|---|
| Полное наименование организации в соответствии с уставом | Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» |
| Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом | РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина |
| Ведомственная принадлежность | Министерство науки и высшего образования Российской Федерации |
| Ф.И.О., ученая степень, ученое звание руководителя организации | Мартынов Виктор Георгиевич, ректор, профессор, доктор экономических наук |
| Ф.И.О., ученая степень, ученое звание заместителя руководителя организации | Калашников Павел Кириллович, проректор по научной работе, доцент, кандидат технических наук |
| Почтовый индекс, адрес | 119991, г. Москва, проспект Ленинский, дом 65, корпус 1 |
| Телефон | +7 (499) 507-88-88 |
| Адрес электронной почты | com@gubkin.ru |
| Адрес официального сайта в сети «Интернет» | https://www.gubkin.ru |
| Наименование подразделения (кафедры) | Кафедра промышленной экологии |
| Список основных публикаций ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций) | |
| 1 | Куликова О.А., Мазлова Е.А., Брадик Д.И., Кудрова Е.П., Ткачев Н.В. Нефтяное загрязнение территорий западного побережья обской губы. Проблемы Арктики и Антарктики. (2019) Т. 65 № 1. С. 105-117. |
| 2 | Куликова О.А., Мазлова Е.А., Терехова В.А., Агаджанян М.В., Учанов П.В. Оценка острой и хронической токсичности реагентов для обработки нефтезагрязненных почв и нефтешламов. Химия в интересах устойчивого развития. (2019) Т. 27 № 4. С. 373-379. |
| 3 | Kulikova O.A., Mazlova E.A., Bradik D.I., Kudrova E.P. Use of surfactant-based reagents for cleaning oil-contaminated soils. Chemistry and Technology of Fuels and Oils. (2019) Т. 54 № 6. С. 743-750. |
| 4 | Меньшиков С.Н., Мельников И.В., Малахова Ю.В., Остах О.С., Мазлова Е.А. Влияние объектов накопленного вреда окружающей среде на экологическую безопасность производственной деятельности ООО "Газпром Добыча Надым". Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. (2020) № 6 (297). С. 40-46 |
| 5 | Мазлова Е.А., Мерициди И.А. Проблемы обращения с отходами разливов нефти и нефтепродуктов. Экология и промышленность России. (2020) Т. 24 № 12. С. 66-71. |
| 6 | Малахова Ю.В., Остах О.С., Мазлова Е.А. Экологические проблемы, связанные с содержанием государственных скважин на лицензионном участке |

| | |
|----|---|
| | недропользователя. Экология и промышленность России. (2021). Т. 25. № 8. С. 66-71. |
| 7 | Мазлова Е.А., Гонопольский А.М. Очистка сточных вод на предприятиях нефтегазового комплекса. Москва, (2021). |
| 8 | Мазлова Е.А., Запорожская А.А., Морозова А.С. Компоненты нефтехимической продукции в окружающей среде. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. (2022). № 6 (309). С. 23-29. |
| 9 | Мазлова Е.А., Блиновская Я.Ю., Соколова Л.И., Мягчилов А.В., Казанова Н.Е., Тарасов А.Б. Оценка уровня загрязнения донных отложений бухты находка (японское море). Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. (2022). № 2 (305). С. 15-22. |
| 10 | Мазлова Е.А., Блиновская Я.Ю., Соколова Л.И., Турсунова Г.Ш. Влияние антропогенной деятельности на загрязнение прибрежных зон залива находка. Экология и промышленность России. (2022). Т. 26. № 9. С. 26-31. |
| 11 | Компасенко Е.И., Кадыров О.Р., Мазлова Е.А., Осташ О.С. Совершенствование системы управления отходами бурения при строительстве скважин на суше. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. (2023). № 1 (310). С. 33-41. |
| 12 | Сидоренко Д.О., Сурикова Ж.В. Разработка технологии обезвреживания сточных вод аэропортов. Химическая безопасность. 2021. Т. 5. № 1. С. 125-136. |
| 13 | Сурикова Ж.В., Сидоренко Д.О., Коваленко А.С. Аналитический контроль содержания ионов тяжелых металлов в сточных водах буровой платформы. Химическая безопасность. 2021. Т. 5. № 2. С. 161-173. |

Проректор по научной работе
к.т.н, доцент

« 27 » сентября



Калашников

П.К. Калашников