ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Научная статья
УДК 628.349
https://doi.org/10.15828/2075-8545-2023-15-2-164-170

CC BY 4.0

Исследование метода очистки сточных вод производства древесно-стружечных строительных материалов в присутствии наноструктурного гетерогенного катализатора

Алия Карамовна Мазитова, Ирина Александровна Сухарева*, Георгий Маркелович Сидоров, Рустем Альфирович Талипов, Альфия Фатыховна Аминова

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Республика Башкортостан, Россия

* Автор, ответственный за переписку: e-mail: suxareva-ira@yandex.ru

АННОТАЦИЯ: Введение. Фенолы и нефтепродукты являются распространенными загрязняющими веществами сточных вод многих промышленных отраслей. Ввиду их стойкости и токсичности в природной среде необходима эффективная технология обезвреживания стоков. Для очистки сточных вод от этих токсикантов одним из передовых методов является озонирование в присутствии гетерогенных катализаторов. Так как большинство катализаторов являются дорогостоящими, ведется их поиск на базе переходных металлов и их оксидов, обладающих высокой активностью и сравнительно низкой стоимостью. В связи с этим в научно-образовательном центре инновационных технологий (НОЦИТ) УГНТУ выполнены работы, посвященные поиску эффективного и доступного катализатора для глубокого окисления фенола и нефтепродуктов в сточных водах под действием озона. **Методы и материалы.** Для исследования каталитического озонирования использовали модельную сточную воду, содержащую фенол и нефтепродукты в концентрациях 8 и 30 мг/дм^3, соответственно. Озонирование проводили в присутствии свежего и отработанного катализатора NiO–MoO_3, нанесенного в виде нанопленки на цилиндрические гранулы Al_2O_3 массой 0,5–2 г. **Результаты.** Подобраны оптимальные условия озонирования с катализатором, так как уже после 10 минут процесса разложения в его присутствии ХПК снизилось на 25% по сравнению с процессом окисления с катализатором и на 40 % по сравнению с классическим озонолизом. Выявлено, что оптимальная загрузка катализатора – 1 г, продолжительность – 35 мин, pH = 8,5, температура – 22–30°C, доза озона – 5 г/дм^3. Из полученных данных видно, что оптимальной дозой катализатора является 1 г/дм^3. **Обсуждения.** При дозировках катализатора меньше 1 г/дм^3 низкая эффективность удаления фенола и углеводородов, вероятно, связана с недостатком адсорбционной поверхности катализатора. **Заключение.** Исследованный способ очистки позволяет снизить содержание фенола и нефтепродуктов до нормативного показателя качества питьевой воды (0,001 и 0,05 мг/дм^3, соответственно), ХПК на 96% и решить проблему губительного воздействия этих токсикантов на экосистемы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фенол, окислительный метод, каталитическое озонирование, наноструктурный гетерогенный катализатор, сточные воды, древесно-стружечные строительные материалы.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мазитова А.К., Сухарева И.А., Сидоров Г.М., Талипов Р.А., Аминова А.Ф. Исследование метода очистки сточных вод производства древесно-стружечных строительных материалов в присутствии наноструктурного гетерогенного катализатора // Нанотехнологии в строительстве. 2023. Т. 15, № 2. С. 164–170. https://doi.org/10.15828/2075-8545-2023-15-2-164-170. – EDN: BCFVMA.

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывный рост и развитие промышленного сектора экономики приводит к постоянному увеличению загрязнения окружающей среды. Одну из наиболее высоких экологических нагрузок испытывают на себе водные ресурсы, причем все большее количество высокотоксичных соединений попадает в акватории водных бассейнов, используемых человеком для хозяйственно-бытовых нужд. Поэтому первостепенной задачей современной экологии является решение проблемы загрязнения водных

© Мазитова А.К., Сухарева И.А., Сидоров Г.М., Талипов Р.А., Аминова А.Ф., 2023

ресурсов высокотоксичными органическими соединениями.

Фенолы и нефтепродукты являются распространенными загрязняющими веществами сточных вод многих промышленных отраслей. Фенол-формальдегидные смолы широко используются в качестве связующих в деревообрабатывающей промышленности для изготовления различных строительных материалов (фанера, древесно-стружечная плита, ориентированно-стружечная плита, древесно-волокнистая плита).

К группе фенольных вод принадлежат сточные воды газовых, коксогазовых и коксохимических заводов полукоксования каменного и бурого углей, установок дистилляции и гидрирования каменноугольной и буроугольной смолы, некоторых предприятий по производству пластмасс (фенопластиков), некоторых предприятий промышленности органического синтеза, связанных с производством или переработкой фенолов толерубероидных заводов.

Концентрация фенолов в сточных водах в зависимости от отрасли может варьироваться от 5 до 30 мг/л. При содержании фенола выше 1 г/л водный раствор считается токсичным.

При совместном присутствии углеводородов нефти и фенолов замедляется распад последних, так как при биодеградации нефтяных углеводородов образуется дополнительное количество фенольных соединений, что приводит к увеличению степени загрязнения. Эти соединения оказывают вредное воздействие на здоровье человека и экосистемы [1]. Так, например, при купании в водоемах есть риск возникновения кожных заболеваний. При употреблении загрязненной рыбы в пищу фенольные соединения не выводятся из организма человека, вступают в реакцию с другими веществами. Фенол является сильнодействующим ядом, обладает канцерогенным и мутагенным свойствами. Употребление воды с высоким содержанием нефтепродуктов повышает риск развития рака внутренних органов, болезней пищеварительной и эндокринной систем. Нефтепродукты обволакивают икру рыб, и впоследствии они не могут давать потомство.

Методы очистки сточных вод от фенолов условно можно разделить на две группы: деструктивные и регенеративные. К основным деструктивным методам очистки сточных вод от фенолов относятся термоокислительные, окислительные методы, а также электрохимическое окисление и гидролиз. Деструктивные методы применяют в случае невозможности или экономической нецелесообразности извлечения примесей из сточных вод, не требующего возврата фенола в производство. Использование регенерационных методов при очистке сточных вод на химических производствах позволяет обезвреживать сточные воды и извлекать фенолы с последующим их применением. Существуют следующие регенерационные методы извлечения фенолов: экстракционная очистка, перегонка, ректификация, адсорбция, ионообменная очистка, обратный осмос, ультрафильтрация, этерификация, полимеризация, поликонденсация, биологическая очистка и перевод фенолов в малорастворимые соединения.

Ввиду стойкости фенолов и нефтепродуктов к биодеградации и токсичности в природной среде необходима эффективная технология обезвреживания стоков. Для очистки сточных вод от этих токсикантов широко применяют озонирование.

Озонирование – широко используемый способ глубокой очистки воды от фенолов, а также от других нефтепродуктов. Озон обладает большой окислительной способностью, оказывает сильное бактерицидное действие, устраняет неприятный запах и привкус и возвращает воде естественный цвет.

Окислительные свойства озона в воде могут проявляться в реакциях прямого окисления, озонолиза, катализа, окисления радикалами и полимеризации. Прямому окислению подвергаются некоторые органические соединения. Каталитическое действие озона заключается в инициировании реакций окисления растворенным в воде кислородом.

Окисление озоном протекает по месту двойной связи бензольного кольца, и параллельно окисляется гидроксильный радикал с последующей рекомбинацией пероксирадикалов, пероксид водорода реагирует с озоном, образуя воду и кислород.

Для ускорения процесса инициирования целесообразно окисление проводить в щелочной среде. Чем выше величина показателя pH среды, тем больше степень окисляемости озоном. Например, оптимальное значение pH для окисления фенолов концентрацией менее 50 мг/л равно 11.4.

Процесс озонирования осуществляют в реакционных ваннах или смесителях, в которых вода смешивается с озонируемым воздухом или кислородом. Для производства 1 кг озона требуется 15 кВт электроэнергии. Расход электроэнергии на 1 кг окисленного фенола составляет 50–100 кВт • ч в чистом водном растворе.

Эффективность очистки воды озонированием повышается проведением ее в сочетании с ультрафиолетовым облучением, пероксидом водорода, биологической очисткой, активированным углем, сонолизом, электрохимическим окислением и катализом [2–15].

На наш взгляд, наиболее эффективным из рассмотренных методов является озонирование в при-

сутствии доступных и наиболее изученных гомогенных и гетерогенных катализаторов [15–18].

Использование каталитического озонирования не требует других затрат энергии (например, УФ) или затрат на поддержание определенного значения pH, так как эффективно в широком диапазоне значений кислотности реакционной среды. Кроме того, в большинстве случаев каталитические озонирующие системы показали хорошую эффективность и более высокую степень минерализации различных органических соединений при очистке воды по сравнению с классическим озонированием.

Каталитическое окисление озоном рекомендовано использовать для очистки сточных вод, образующихся при отмывке печатных плат в электронной промышленности [19]. Катализатором служит смесь оксидов меди и хрома. Пятиминутная обработка этих стоков при дозе озона 90–100 мг/л, содержащих сильнощелочные растворы органических соединений, увеличила их степень превращения с 70–80 до 92–95%.

Для очистки сточных вод красильно-отделочных производств шерстяной промышленности было предложено каталитическое окисление озоном на поверхности катализатора из активного угля АГ–3 с покрытием двуокисью марганца MnO_2. Максимальный эффект обесцвечивания красителя составлял 96% [20].

Каталитическое окисление озоном может быть использовано для очистки фенол-формальдегидных сточных вод, где катализатором служит измельченная пиролюзитовая руда [21]. Однако существенным недостатком этого способа является то, что при повторном применении пиролюзита его каталитическая активность существенно снижается. Регенерация пиролюзита достигается при контакте его с 1,5–2% раствором серной кислоты, которая расходуется при этом на растворение поверхностных слоев двуокиси марганца.

Широкие исследования свидетельствуют о высокой эффективности гомогенных катализаторов, однако их применение приводит к вторичному загрязнению вод, что ограничивает их применение. Поэтому исследователи все большее внимание уделяют гетерогенному катализу.

Предложен ряд гетерогенных катализаторов: оксиды металлов, минералы, углеродные материалы и металлы на носителях.

Повышение эффективности окисления фенолсодержащих сточных вод озоном наблюдалось, когда в качестве катализатора использовали оксид железа Fe_2O_3, нанесенный на γ-оксид алюминия путем вымачивания гранул γ-Al_2O_3 в растворе $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$. В результате озонирования ХПК снизилось с 240 до 83 мгO_2/дм^3 при дозе озона 1,54 мг/мг ХПК, что в 3 раза меньше, чем без катализатора [22, 23].

Промышленное внедрение получили гетерогенные катализаторы научно-производственного предприятия «Катализ» с использованием комплексов переходных металлов. Разработанные катализаторы на основе керамики отличаются высокой механической прочностью (на раздавливание, на истирание), кислотостойкостью и щелочестойкостью, низкой влагоемкостью [24].

Для того чтобы повысить каталитическую активность металла или его соединения при озонировании, его наносят тонким слоем на инертный материал со специальными поверхностными свойствами, который увеличивает как площадь поверхности, так и количество активных центров катализатора [16, 25]. Однако большинство катализаторов являются дорогостоящими, что ограничивает их промышленное применение. Поэтому ведется поиск катализаторов на базе переходных металлов и их оксидов для глубокого окисления стойких соединений, обладающих высокой активностью и сравнительно низкой стоимостью. С этой точки зрения, особый интерес представляют нанокатализаторы. Благодаря малому размеру и большой площади поверхности, обеспечивающей хорошую адсорбцию и отличающейся особыми механическими, оптическими и магнитными свойствами, нанокатализаторы проявляют высокую реакционную способность при очистке стоков от токсичных загрязняющих веществ. Разработка наноматериалов в технологии очистки сточных вод экономически целесообразна, безопасна для окружающей среды и отвечает растущим требованиям стандартов качества воды, поэтому озонирование с нанокатализаторами является наиболее перспективным из известных передовых процессов. Ранее нами проведено исследование эффективности очистки сточных вод фанерно-плитного комбината озонированием в присутствии доступных и наиболее изученных гетерогенных катализаторов [16]: Fe_2O_3, нанесенного в виде нанопленки на 0,5 – 1,0 мм частицы γ-Al_2O_3; Al_2O_3, нанесенного в виде нанопленки на 2,5–3,0 мм частицы TiO_2; MnO_2, нанесенного в виде нанопленки на 2,5 – 3,0 мм частицы TiO_2. Результаты проведенных экспериментов по каталитическому озонированию сточных вод свидетельствуют о высоком эффекте очистки: ХПК снизилось в 1,7 (TiO_2/Al_2O_3, TiO_2/MnO_2) и в 3 раза (γ-Al_2O_3/Fe_2O_3) по сравнению с озонированием без катализатора.

В связи с этим в научно-образовательном центре инновационных технологий (НОЦИТ) Архитектурно-строительного института УГНТУ выполнены работы, посвященные поиску эффективного и доступного катализатора для глубокого окисления фенола и нефтепродуктов в сточных водах производства древесно-стружечных строительных материалов под действием озона.

Таблица 1
Характеристика сточных вод

№ п/п	Показатели качества воды	Результат анализа		Нормативный документ на методику (метода) измерений
		Исходная сточная вода	Сточная вода после обработки O_3 (катализатор № 1)	
1	Водородный показатель (ед.pH)	5,5±0,3	8,5±0,2	ПНД Ф 14.1:2:3:4. 121-97
2	ХПК, мгO_2/дм^3	203±41	<10	ПНД Ф 14.1:2:4.210-2005
3	Фенол, мг/дм^3	8,0±1,3	<0,001	ЦВ 1.04.04-91 «А»
4	Нефтепродукты, мг/дм^3	30,0±2,3	0,05±0,01	ПНД Ф 14.1:2:4. 5-95

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для исследования каталитического озонирования использовали модельный раствор, состав которого по содержанию фенола и нефтепродуктов аналогичен сточным водам производства древесно-стружечных строительных материалов (табл. 1).

Для производства озона использовали озоногенератор ОГВК–02К, для обеспечения ввода озонокислородной смеси в воду и контакта с примесями – реактор объемом 1 дм^3; прибор контроля концентрации озона в воде – фотометр «Эксперт–003». В реактор наливали предварительно профильтрованную через фильтр «Синяя лента» сточную воду. Катализатор массой 0,5–2 г загружали в озонаторную емкость в виде цилиндрических частиц. В качестве катализатора использовали оксиды NiO–MoO_3, нанесенные в виде пленки на цилиндрические гранулы Al_2O_3 диаметром 1,2–1,4 мм и длиной 4–5 мм. В обрабатываемую воду озон подавали с помощью пористого керамического диспергатора при постоянной скорости газового потока. Окисление проводили в непроточном режиме при интенсивном перемешивании катализатора на магнитной мешалке в вытяжном шкафу. Концентрацию озона в воздухе рабочей зоны контролировали с помощью индикаторных трубок ТИ-[O_3-0,003], она не должна превышать 0,0001 мг/дм^3. После 5–40 минут перемешивания в присутствии озона сточную воду отделяли от катализатора. Через определенные интервалы времени проводили отбор проб и анализ остаточной концентрации фенола (ЦВ 1.04.04-91 «А») и ХПК фотометрическим методом (ПНД Ф 14.1:2:4.210-2005). РН измеряли на pH-метре АНИОН 4100. Концентрацию ионов никеля и молибдена в сточной воде контролировали на спектрофотометре РВ2201 (ПНД Ф 14.1.46-96, ПНД Ф 14.1:2.47-96).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе для оценки активности катализатора изучена эффективность процесса окисления по изменению ХПК во времени реакции в присутствии свежего катализатора (1), отработанного катализатора (2) и без него. (рис. 1). Результаты свидетельствуют о наибольшей эффективности катализатора (1). Уже после 10 минут процесса разложения в его присутствии ХПК снизилось на 25%, чем при окислении с катализатором (2), и на 40% меньше по сравнению с классическим озонолизом.

На втором этапе подобраны оптимальные условия озонирования с катализатором (1) по методу «опыт-точка». Хорошие результаты разложения фенола достигнуты при pH = 8,5–11,0 (рис. 2). Поэтому перед окислением модельный раствор подщелачивали до pH = 8,5. Также исследовано влияние

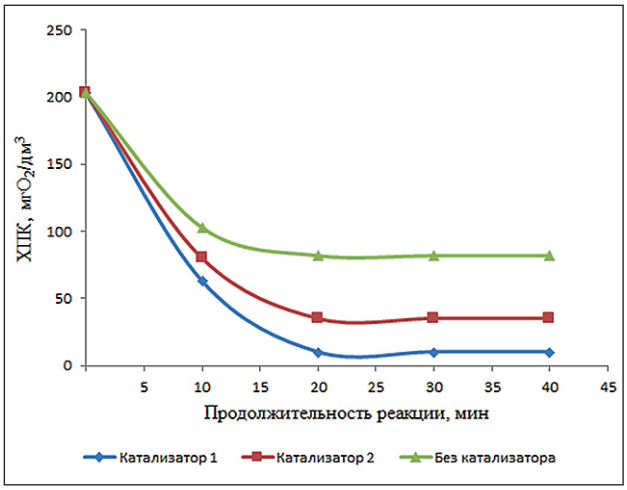

Рис. 1. **Зависимость ХПК от продолжительности озонирования**

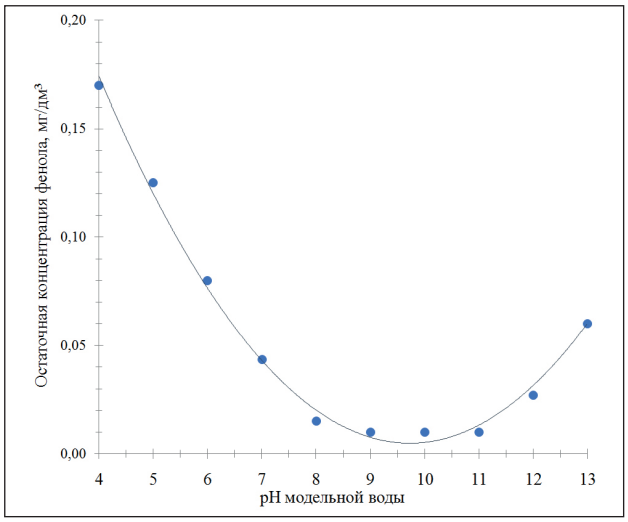

Рис. 2. **Влияние pH на остаточную концентрацию фенола в водном растворе при каталитическом (катализатор № 1) озонировании** (продолжительность – 35 мин, температура 22°С, доза озона – 5 г/дм³)

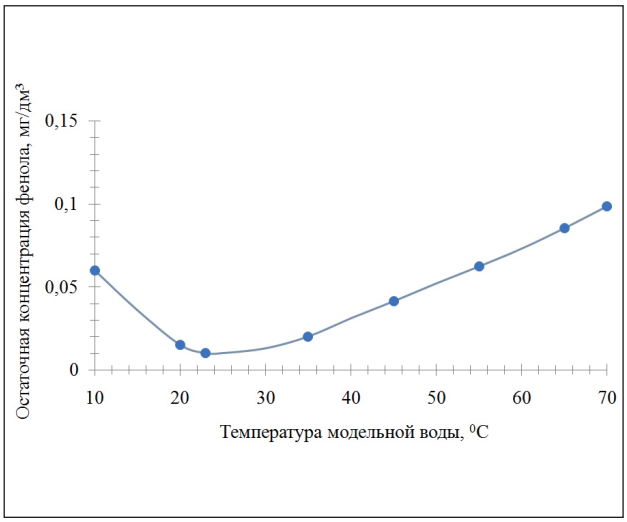

Рис. 3. **Влияние температуры модельного раствора на остаточную концентрацию фенола при каталитическом (катализатор № 1) озонировании** (продолжительность – 35 мин, pH=8,5, доза озона – 5 г/дм³)

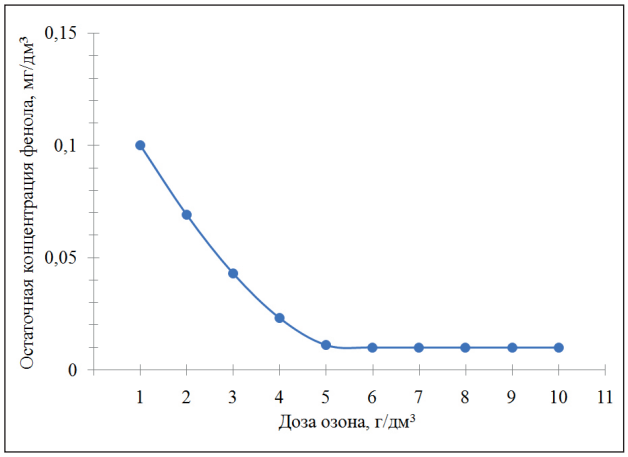

Рис. 4. **Влияние дозы озона на остаточную концентрацию фенола при каталитическом (катализатор № 1) озонировании** (продолжительность – 35 мин, pH = 8,5, температура – 22°С)

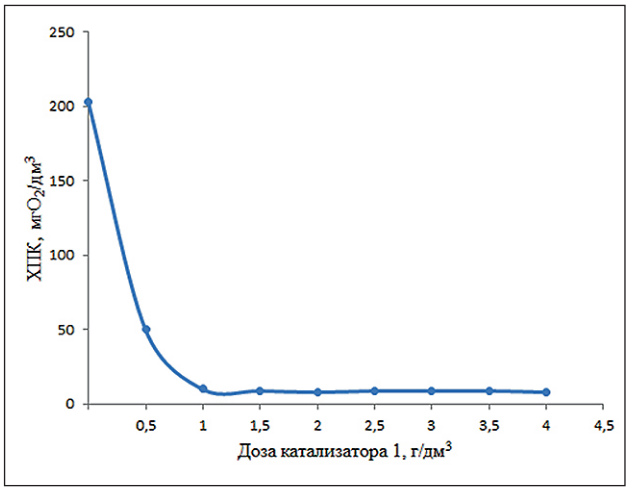

Рис. 5. **Зависимость ХПК от дозы катализатора (1)**

температуры водного раствора (рис. 3) и дозы озона (рис. 4) на эффект озонирования. Самая низкая остаточная концентрация фенола была достигнута при 22–30°С, а оптимальная доза озона составила 5 г/дм³.

Для достижения максимальной эффективности окисления органических веществ на следующем этапе подобрана оптимальная загрузка катализатора (1) при соблюдении наилучших условий процесса: продолжительность – 35 мин, pH = 8,5, температура – 22–30°С, доза озона – 5 г/дм³. Зависимость ХПК от дозы катализатора приведена на рис. 5.

Из полученных данных (рис. 5) видно, что оптимальной дозой катализатора является 1 г/дм³. При дозировках катализатора меньше 1 г/дм³ низкая эффективность удаления фенола и углеводородов, вероятно, связана с недостатком адсорбционной поверхности катализатора. Согласно имеющимся литературным данным, во многих случаях считается, что растворенный озон и органические соединения адсорбируются на поверхности катализатора. После этого адсорбированные молекулы озона участвуют в инициировании радикальных реакций на поверхностно-активных участках катализатора. Образую-

щиеся активные радикалы ·OH и HO_3· впоследствии вступают в реакцию с озоном с образованием большего количества ·OH или атакуют органические загрязняющие вещества напрямую. Способность переноса электронов между ионами металлов различных валентностей Ni (II) и Mo (VI) используемого нами катализатора облегчает разложение O_3 до свободных активных радикалов, повышая эффективность окисления [25].

Результаты очистки модельного раствора приведены в таблице. Содержание фенола и показатель ХПК соответствуют стандартным значениям для воды хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что озонирование необходимо проводить в присутствии свежего гетерогенного катализатора $NiO\text{-}MoO_3/Al_2O_3$, который используется в небольшом количестве (1 г/дм^3). Исследованный способ очистки позволяет снизить содержание фенола и нефтепродуктов в сточных водах производства древесно-стружечных строительных материалов до нормативного показателя качества питьевой воды (0,001 и 0,05 мг/дм^3, соответственно), ХПК на 96% и решить проблему губительного воздействия этих токсикантов на экосистемы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Акатьева Т.Г. Экологическая токсикология. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2021.

2. Malvestiti A.J., Fagnani E., Simao D., Dantas R.F. Optimization of UV/H_2O_2 and ozone wastewater treatment by the experimental design methodology. *Environmental Technology*. 2019; 40(15): 1910–1922. https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1432698

3. Mohammad M., Siegfried M., Detlev M. A review on photocatalytic ozonation used for the treatment of water and wastewater. *Chemical Engineering Journal*. 2015; 263: 209–219.

4. Ding P., Chu L., Wang J. Advanced treatment of petrochemical wastewater by combined ozonation and biological aerated filter. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018; 25: 9673–9682.

5. Ameta R. *Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment. Emerging Green Chemical Technology*. Academic Press; 2018.

6. Fang F., Han H. Effect of Catalytic Ozonation Coupling with Activated Carbon Adsorption on Organic Compounds Removal Treating RO Concentrate from Coal Gasification Wastewater. *Science & Engineering*. 2018; 40: 275–283.

7. Katsoyiannis I.A., Canonisa S., Gunten U. Efficiency and energy requirements for the transformation of organic micropollutants by ozone, O_3/H_2O_2 and UV/H_2O_2. *Water Research*. 2011; 45: 3811–3822.

8. Buyukada M. Modeling of decolorization of synthetic reactive dyestuff solutions with response surface methodology by a rapid and efficient process of ultrasound – assisted ozone oxidation. *Desalination and water treatment*. 2016; 57: 14973–14985.

9. Barry L.L. Forty Years of Advances in Ozone Technology. *Science & Engineering*. 2018; 40: 3–20.

10. Sukmilin A., Boonchom B., Jarusutthirak C. Catalytic Ozonation using Iron-Doped Water Treatment Sludge as a Catalyst for Treatment of Phenol in Synthetic Wastewater. *Environ. Nat. Resour*. 2019; 17(2): 87–95.

11. Mazitova A.K., Aminova A.F., Sukhareva I.A. Purification of wastewater of some construction materials production. IOP Conference Series: Materials *Science and Engineering: international Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety*. 25–27nd of September 2019; 687: 066073.

12. Мазитова А.К., Сухарева И.А., Сидоров Г.М., Абдрахманова Л.К., Кузнецова Е.В. Исследование флокулирующего действия озона на сточные воды деревообрабатывающих предприятий // Нанотехнологии в строительстве. 2020. Т. 12. № 4. С. 204–210. https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-4-204-210

13. Гриневич В.И., Гущин А.А., Пластинина Н.А. Деструкция фенола и синтетических поверхностно-активных веществ, растворенных в воде, при электрохимическом воздействии совместно с озонированием // Известия вузов. Серия Химия и химическая технология. 2009. Т. 52. № 2. С. 130–134.

14. Wang W., Yue L. Supported-catalyst CuO/AC with reduced cost and enhanced activity for the degradation of heavy oil refinery wastewater by catalytic ozonation process. *Environmental Science and Pollution*. 2020; 27: 7199–7210.

15. Chang C.C., Chiu C.Y., Chang C.Y., Ji D.R. Pt-catalyzed Ozonation of Aqueous Phenol Solution Using Highgravity Rotating Packed Bed. *Hazardous Materials*. 2009; 26 (3): 247–255.

16. Мазитова А.К., Сухарева И.А., Аминова А.Ф., Ягафарова Г.Г., Савичева Ю.Н. Озонирование сточных вод предприятий деревообрабатывающей промышленности с применением гетерогенного катализатора с наносвойствами // Нанотехнологии в строительстве. 2019. Т. 11, № 4. С. 394–404.

17. Мазитова А.К., Сухарева И.А., Аминова А.Ф., Ягафарова Г.Г., Хангильдин Р.И., Мухаметзянова Э.Г. Окислительный метод очистки сточных вод предприятий деревообрабатывающей промышленности // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 75–80.

18. Dang T.T., Do V.M., Trinh V.T. Nano-Catalysts in Ozone-Based Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment. *Current Pollution Reports.* 2020; 6: 217–229.

19. Применение озона для регенерации щелочи и очистки промывных вод в производстве печатных плат / С.И. Егоренкова, Т.С. Житкова, А.М. Степанов и др. // Применение озона для интенсификации технологических процессов и охраны окружающей среды в химической и смежных отраслях промышленности. Дзержинск. 1982. С. 33–34.

20. Фазуллина Э.П. О повышении использования озона при обесцвечивании сточных вод / Э.П. Фазуллина, Б.Г. Назаров, А.Ю. Гриценко и др. // Труды МХТИ им. Д.И. Менделеева. М. 1979. Вып.109. С. 82–87.

21. Левченко Т.М. Каталитическая очистка сточных вод от фенола и формальдегида / Т.М. Левченко, Л.Н. Гора // Химическая технология: науч.-произв. сб. 1971. № 256. С. 42–44.

22. Патент США № 4040982, 1976.

23. Chen J.W. et al. Catalytic ozonation in aqueous system. *AIChE Symposium series*. 1977; 73 (166): 205–212.

24. Кочетков А.Ю. Новые гетерогенные катализаторы на полимерных носителях. НПО «Катализ» / А.Ю. Кочетков, И.В. Панфилова, Н.А. Коваленко, Р.П. Кочеткова // Экология и промышленность России. 2002. № 5. С. 34–36.

25. Centuriao A.P.S.L., Baldissarelli V.Z., Scaratti G., Amorim S.M. Enhanced ozonation degradation of petroleum refinery wastewater in the presence of oxide nanocatalysts. *Environmental Technology.* 2019; 40: 1239–1249.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мазитова Алия Карамовна – доктор химических наук, профессор, зав. кафедрой «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Республика Башкортостан, Россия, elenaasf@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-3853-4617

Сухарева Ирина Александровна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Республика Башкортостан, Россия, suxareva-ira@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-9669-7460

Сидоров Георгий Маркелович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология нефти и газа», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Республика Башкортостан, Россия, kaskad@ufanet.ru, https://orcid.org/0000-0001-6584-6064

Талипов Рустем Альфирович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Республика Башкортостан, Россия, talip2@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-7085-1976

Аминова Альфия Фатыховна – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», Уфимский государственный нефтяной технический университет, ул. Космонавтов, Уфа, Республика Башкортостан, Россия, alfiya.ami@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-0460-1693

ВКЛАД АВТОРОВ

Мазитова А.К. – научное руководство, концепция исследования.

Сухарева И.А. – выполнение экспериментов, написание текста статьи, итоговые выводы.

Сидоров Г.М. – итоговые выводы.

Талипов Р.А. – выполнение экспериментов, написание текста статьи.

Аминова А.Ф. – выполнение экспериментов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 07.02.2023; одобрена после рецензирования 10.03.2023; принята к публикации 16.03.2023.