



УДК 628.316:677.024

**А. Л. ВАСИЛЬЕВ**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии; **Е. В. ВОРОБЬЕВА**, ст. преп. кафедры водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии

### **О ПЕРСПЕКТИВАХ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ОЗОНИРОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ТКАЦКИХ ФАБРИК**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.  
Тел.: (831) 430-54-87; эл. почта: k\_viv@nngasu.ru

*Ключевые слова:* сточные воды, органические вещества, озонирование, озono-воздушная смесь, время контакта озона с водой, пенообразование, доза озона, концентрация озона.

---

*Проведено исследование по определению параметров озонирования модельного раствора высококонцентрированных сточных вод ткацкой фабрики. В ходе выполнения работы на исследуемой воде поставлены четыре серии экспериментов. Выявлен наилучший режим процесса озонирования модельного раствора сточных вод: доза озона 100-110 мг/л, время контакта озона с водой 20 мин, концентрация озона в озono-воздушной смеси 30-32 мг/л. Сделан вывод о том, что процесс озонирования может быть включен в технологическую схему очистки промышленного стока текстильных предприятий, в комплексе с другими методами очистки.*

---

Успешное решение проблемы рационального использования и охраны природных ресурсов, перехода экономики к экологически безопасному развитию в значительной степени определяется технологической и экономической эффективностью производственных процессов, масштабами использования малоотходных и безотходных технологических циклов, оборотных и замкнутых систем водопользования [1]. В тех случаях, когда образование промышленных стоков, представляющих опасность для поверхностных и подземных вод, является неизбежным фактом, важно использовать для их обезвреживания наиболее эффективные методы и средства, исключающие загрязнение окружающей среды.

На ткацких фабриках в основе комплексной технологии производства тканей из натуральных и синтетических волокон важная роль принадлежит текстильной химии. Химические компоненты используют на различных стадиях производственного процесса: отбеливании, расшлихтовке, отварке, крашении, заключительной отделке. Проблемой для предприятий текстильной промышленности является загрязнения сточных вод различными органическими веществами, а также ионами тяжелых металлов [2].

Озонирование сточных вод – это перспективный метод очистки, являющийся универсальным и позволяющий эффективно очищать сточные воды от самых разных видов загрязнений. Благодаря высокой окислительной способности, озон применяется как для обеззараживания, так и для деструкции трудно-окисляемых органических загрязнений. Этот тип загрязнений представлен в сточных водах многочисленными классами красителей, поверхностно-активных веществ, пестицидов и др. Кроме этого озонирование эффективно для окисления



многих неорганических соединений, таких как цианиды, хроматы и др. Озон один среди множества других окислителей способен воздействовать на окрашенные молекулы и коллоиды. Дополнительным эффектом озонирования воды является ее обогащение растворенным кислородом. Озон можно получать непосредственно на очистных сооружениях, сырьем служит атмосферный воздух. В процессе обработки сточных вод озон, подаваемый в камеру реакции в виде озono-воздушной смеси, вступает в сложный многостадийный процесс физико-химических взаимодействий с водой и содержащимися в ней загрязнениями. Расход озона на окисление загрязняющих сточные воды веществ зависит от многих факторов: рН водной среды, температуры, концентрации загрязнений, способа смешения и продолжительности контакта озono-воздушной смеси с водой [3,4].

Авторами проведено исследование по определению параметров озонирования модельного раствора высококонцентрированных сточных вод ткацкой фабрики (сточные воды после физико-химической очистки).

Объектом исследования являлся модельный раствор промышленного стока, теоретически образующегося на текстильном предприятии. Исходный модельный раствор промышленного стока на первом этапе подвергался процессам физико-химической очистки (коагулирование с последующим отстаиванием). Основные показатели качества исходной сточной воды после проведения процесса физико-химической очистки, представлены в табл. 1. Данная сточная вода считалась исходной для проведения серии опытов по определению параметров озонирования.

Таблица 1

**Основные показатели качества исходной сточной воды, представленной для исследования**

№ п/п	Наименование показателя	Единицы измерения	Значение
1.	Цветность	град	351 ± 70
2.	Железо общее	мг/дм <sup>3</sup>	0,39 ± 0,04
3.	ХПК	мг/дм <sup>3</sup>	1151 ± 173
4.	Фосфор	мг/дм <sup>3</sup>	0,10 ± 0,03
5.	Фосфаты	мг/дм <sup>3</sup>	1,2 ± 0,2
6.	Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	550,0 ± 55,0
7.	Нитриты	мг/дм <sup>3</sup>	<0,2
8.	Сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	80,8 ± 8,1
9.	Нитраты	мг/дм <sup>3</sup>	25,7 ± 2,6
10.	Медь	мг/дм <sup>3</sup>	< 0,001
11.	Железо	мг/дм <sup>3</sup>	0,07 ± 0,02
12.	Марганец	мг/дм <sup>3</sup>	<0,001
13.	Сухой остаток	мг/дм <sup>3</sup>	2330 ± 210
14.	Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	500 ± 50

Исходная сточная вода подвергалась процессу озонирования. Фотография лабораторной установки представлена на рис. 1.

Установка включает в себя компрессор, пылевой фильтр, систему осушки воздуха – адсорберы, генератор озона, контактную камеру озонирования, измеритель концентрации озона в воде ИКО-1. В качестве лабораторной



контактной камеры озонирования, использовался герметичный цилиндрический резервуар из органического стекла – колонна объемом 4,0 л.

На первом этапе выполнения работы на исследуемой воде было поставлено три серии экспериментов.

Первая серия экспериментов включала в себя пять опытов, различающиеся различными параметрами режима озонирования. Данные исследований и показатели процесса озонирования первой серии экспериментов представлены в табл. 2.

В результате первой серии экспериментов в процессе различных режимов озонирования наблюдалось интенсивное пенообразование, превышающее 5-кратный объем анализируемой воды в лабораторной контактной колонне (см. рис. 2, 3). Пенообразование мешало проведению работ по определению параметров озонирования анализируемой сточной воды. Было принято решение устранить пенообразование, применив «Агент антивспенивающий antifoam 139/282», из расчета 1 гр. на 0,5 л сточной воды.

Авторами были исследованы два способа добавления пеногасителя в обрабатываемую сточную жидкость. Первый способ – предварительно растворять пеногаситель в небольшом объеме горячей воды, с последующим добавлением в исходную сточную воду. Но, данный способ показал худшую эффективность, так как пенообразование значительно уменьшилось, но объем расширения остался примерно в 1,5 – 2 раза. Второй способ – это добавление пеногасителя сразу в исходную сточную жидкость, с последующим интенсивным перемешиванием. При этом наблюдалось полное прекращение пенообразования.



Рис. 1. Лабораторная установка озонирования



Рис. 2. Исходный объем сточной воды (0,5 л) в контактной колонне перед процессом озонирования



Рис. 3. Увеличенный объем сточной воды в контактной колонне в процессе режима озонирования. Интенсивное пенообразование



Таблица 2

**Результаты первой серии экспериментов**

№ п/п	Режим озонирования (исходная сточная вода)							Показатели качества воды после процесса озонирования		
	Концентрация озона в ОВС, мг/л	Расход воздуха, л/ч	Объем обрабатываемой воды, л	Концентрация озона на выходе, мг/л	Время контакта, мин	Доза озона, мг/л	Пенообразование	ХПК, мгО/л	Цветность, град	рН, ед. рН
1.	16-17	50,4	2	0	11,5	81	+	878 ± 132	н/д	н/д
2.	24-26	37,8	0,5	1	3,5	104	+	1135 ± 170	н/д	н/д
3.	24-26	12,6	0,5	1	10	107	+	1028 ± 154	н/д	н/д
4.	30-32	12,6	0,5	0	5,5	73	+	1100 ± 165	н/д	н/д
5.	32-33	25,2	0,5	9	16	326	+	991 ± 149	54,7 ± 10,9	3,7 ± 0,2

Вторая серия экспериментов авторами проведена на исходной сточной воде, с добавлением пеногасителя, из расчета 1 гр. на 0,5 л сточной воды. Данные исследований и показатели после процесса озонирования второй серии экспериментов представлены в табл. 3.

Окончательно для подтверждения эффективности процесса озонирования анализируемой сточной воды была проведена третья серия экспериментов. Использовалась исходная сточная вода, с добавлением пеногасителя, из расчета 1 гр. на 0,5 л сточной воды. Данные исследований и показатели после процесса озонирования третьей серии экспериментов представлены в табл. 4.



Таблица 3

**Результаты второй серии экспериментов**

№ п/п	Режим озонирования (исходная сточная вода с добавлением пеногасителя)							Показатели качества воды после процесса озонирования
	Концентрация озона в ОВС, мг/л	Расход воздуха, л/ч	Объем обрабатываемой воды, л	Концентрация озона на выходе, мг/л	Время контакта, мин	Доза озона, мг/л	Пенообразование	ХПК, мг/л
6.	28-30	25,2	0,75	12	16,5	166	-	
7-8.	33-34	25,2	1,5	13	20	110	-	854 ± 128
9.	30-31	37,8	1,5	15	15,5	98	-	911 ± 137

Таблица 4

**Результаты третьей серии экспериментов**

№ п/п	Режим озонирования (исходная сточная вода с добавлением пеногасителя)							Показатели качества воды после процесса озонирова ния
	Концентрация озона в ОВС, мг/л	Расход воздуха, л/ч	Объем обрабатываемой воды, л	Концентрация озона на выходе, мг/л	Время контакта, мин	Доза озона, мг/л	Пенообразование	ХПК, мг/л
10а.	33-35	25,2	1,65	14	20	100	-	
10б.	33-34	25,2	1,5	16	19	99	-	854 ± 128

В связи с повышенным вниманием со стороны государства к экологической ситуации в стране на промышленных предприятиях стоит задача по внедрению замкнутых водооборотных систем. В заключении авторами был проведен второй



этап выполнения работы, включающий четвертую серия экспериментов на сточной воде, которая имитирует оборотную систему водоснабжения на промышленном предприятии. Исходная сточная вода, для проведения четвертой серии экспериментов, получена в результате имитации технологического процесса: очистка сточных вод после производства продукции – повторное использование данной воды в производственном цикле – возврат на очистку. Исходной сток имел ХПК =  $3554 \pm 300$  мг/дм<sup>3</sup>. В исходную воду для четвертой серии экспериментов был добавлен пеногаситель, из расчета 1 гр. на 0,5 л сточной воды, и она подвергалась процессу озонирования. Данные исследований и показатели после процесса озонирования четвертой серии экспериментов представлены в табл. 5.

Таблица 5

**Результаты четвертой серии экспериментов**

№ п/п	Режим озонирования (исходная сточная вода с добавлением пеногасителя)							Показатели качества воды после процесса озонирования
	Концентрация озона в ОВС, мг/л	Расход воздуха, л/ч	Объем обрабатываемой воды, л	Концентрация озона на выходе, мг/л	Время контакта, мин	Доза озона, мг/л	Пенообразование	ХПК, мгО/л
11.	29-30	25,2	1,20	8	17	123	-	2421 ± 363

В результате проведенных серий экспериментов выявлен наилучший режим процесса озонирования модельного раствора сточных вод, приготовленных для исследования. Наилучший режим озонирования имеет следующие параметры: доза озона 100-110 мг/л, время контакта озона с водой 20 мин, концентрация озона в ОВС 30-32 мг/л. Данный режим может быть рекомендован только для сточной воды, которая соответствует по показателям, представленной для исследований.

Процесс озонирования может быть включен в технологическую схему очистки промышленного стока текстильных предприятий, в комплексе с другими методами. Рекомендуется сточную воду после процесса озонирования подвергать фильтрованию через слой загрузки из активированного угля, для удаления продуктов озонлиза, а также для увеличения глубины окисления и очистки сточных вод.

Эффективность технологии в целом зависит не только от режима озонирования, но и от других этапов очистки сточных вод. При выборе технологического оборудования процесса озонирования, предлагаем рассмотреть отечественное оборудование, выпускаемое ООО «Курганхиммаш».



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Экологическая доктрина Российской Федерации : распоряжение Правительства Российской Федерации от 31 августа 2002 г. № 1225-р. – URL: <http://government.ru/docs/all/43014/> (дата обращения: 23.11.2024). – Текст : электронный.
2. Технологии очистки сточных вод текстильных производств для снижения поступления токсикантов в природные поверхностные воды / С. Л. Белопухов, М. А. Яшин, В. И. Слюсарев, Е. Э. Нефедьева, И. Г. Шайхиев. – Текст : непосредственный // Вестник технологического университета. – 2015. – Том18, № 5. – С. 199–204.
3. Васильев, А. Л. Исследование метода деструктивной очистки сточных вод предприятий текстильной промышленности / А. Л. Васильев, А. С. Тарасов. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2023. – № 4. – С. 120–130.
4. Орлов, В. А. Озонирование воды / В. А. Орлов. – Москва : Стройиздат, 1984. – 88 с. – Текст : непосредственный.
5. СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий : санитарные правила и нормы : утвержден постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 3 : [редакция от 15.11.2024]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536177> (дата обращения: 02.02.2024). – Текст : электронный.

**VASILEV Aleksey Lvovich, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of water supply, wastewater disposal, engineering ecology and chemistry;  
VOROBEOVA Ekaterina Vladimirovna, senior teacher of the chair of water supply, wastewater disposal, engineering ecology and chemistry**

### **ON THE PROSPECTS OF USING THE OZONATION METHOD IN THE TREATMENT OF HIGHLY CONCENTRATED WASTEWATER FROM WEAVING FACTORIES**

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, Пjinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.  
Tel: +7 (831) 430-54-87; e-mail: k\_viv@nngasu.ru

*Key words:* wastewater, organic substances, ozonation, ozone-air mixture, time of contact of ozone with water, foaming, ozone dose, ozone concentration.

---

*A study was conducted to determine the parameters of ozonation of a model solution of highly concentrated wastewater from a weaving factory. Four series of experiments were carried out on the water studied. The best mode of the ozonation process of a model wastewater solution has been identified: an ozone dose of 100-110 mg/l, an ozone-water contact time of 20 minutes, an ozone concentration in an ozone-air mixture of 30-32 mg/l. It is concluded that the ozonation process can be included in the technological scheme of industrial wastewater treatment of textile enterprises, in combination with other purification methods.*





## REFERENCES

1. Ekologicheskaya doktrina Rossiyskoy Federatsii : rasporyazhenie Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 31 avgusta 2002 g. № 1225-r. [Ecological Doctrine of the Russian Federation : Order of the Government of the Russian Federation No. 1225-r of 31 August 2002]. URL: <http://government.ru/docs/all/43014/> (accessed: 11.23.2024).
2. Belopukhov S. L., Yashin M. A., Slyusarev V. I., Nefedieva E. E., Shaikhiev I. G. Tekhnologii ochistki stochnykh vod tekstilnykh proizvodstv dlya snizheniya postupleniya toksikantov v prirodnye poverkhnostnye vody [Technologies for wastewater treatment of textile industries to reduce the intake of toxicants into natural surface waters] Vestnik tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Technological University]. 2015, № 5, Vol.18, P. 199-204.
3. Vasiliev A. L., Tarasov A. S. Issledovanie metoda destruktivnoy ochistki stochnykh vod predpriyatiy tekstilnoy promyshlennosti [Investigation of the method of destructive wastewater treatment of textile industry enterprises] Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. 2023, №. 4, P. 120-130.
4. Orlov V. A. Ozonirovanie vody [Ozonation of water]. Moscow, Stroyizdat, 1984, 88 p.
5. SaNPIN 2.1.3684-21. Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k sodержaniyu territoriy gorodskikh i selskikh poseleniy, k vodnym obektam, pitevoy vode i pitevomu vodosnabzheniyu, atmosfernomu vozdukhу, pochvam, zhilym pomeshcheniyam, ekspluatatsii proizvodstvennykh, obshchestvennykh pomeshcheniy, organizatsii i provedeniyu sanitarno-protivoepidemicheskikh (profilakticheskikh) meropriyatiy : sanitarnye pravila i normy : utverzhden postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 28.01.2021 № 3 [Sanitary rules and norms 2.1.3684-21 "Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of territories of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking water supply, atmospheric air, soil, residential premises, operation of industrial, public premises, organization and conduct of sanitary and anti-epidemic (preventive) measures". No. 3 of 01.28.2021] : [redaktsiya ot 15.11.2024]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536177> (accessed: 02.02.2024).

© А. Л. Васильев, Е. В. Воробьева, 2025

Получено: 10.01.2025 г.