

Флотация сточных вод красильных производств с использованием озона

М. В. Пилипенко¹, А. В. Дубина², В. В. Лихавицкий³



М. В. Пилипенко



А. В. Дубина



В. В. Лихавицкий

¹ Пилипенко Марина Васильевна, аспирант, РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»
220086, Беларусь, г. Минск, ул. Славинского, 1, корп. 2, тел.: +375 29 150-34-70; e-mail: marinaby@yandex.ru

² Дубина Александр Валентинович, ассистент кафедры промышленной экологии,
Белорусский государственный технологический университет
220006, Беларусь, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, тел.: +375 29 638-22-12, e-mail: streetrman@mail.ru

³ Лихавицкий Виталий Викторович, заместитель директора, ТЧУП «Куолити»
220012, Беларусь, г. Минск, ул. Толбухина, 12, тел.: +375 29 304-39-44, e-mail: likh@tut.by

Для цитирования: Пилипенко М. В., Дубина А. В., Лихавицкий В. В. Флотация сточных вод красильных производств с использованием озона // Водоснабжение и санитарная техника. 2023. № 1. С. 42–48. DOI: 10.35776/VST.2023.01.06.

Представлены результаты экспериментальных исследований эффективности очистки модельных и реальных сточных вод красильно-отделочных производств с помощью пневматической флотации с использованием озонородной смеси вместо воздуха. Изучено влияние расхода газовой смеси, концентрации красителя, концентрации озона в газовой смеси на эффективность очистки. Эффективность очистки оценивали по оптической плотности и ХПК. При использовании озонородной смеси вместо воздуха было достигнуто повышение эффективности до 12 раз. Результаты проведен-

ных исследований показали, что при использовании флотации озоном для достижения эффективности очистки 90% реальных сточных вод красильно-отделочных производств предприятия, отобранных до блока очистных сооружений (электрокоагуляция с последующей флотацией), требуются следующие условия: время обработки не менее 60 мин; расход озонородной смеси не менее 5 л/(л·мин); концентрация озона в озонородной смеси не менее 8 г/м³.

Ключевые слова: крашение тканей, озон, флотация, сточные воды, краситель.

Flotation of wastewater from dye works using ozone

M. V. Pilipenko¹, A. V. Dubina², V. V. Likhavitskii³

¹ Pilipenko Marina, Ph. D. Candidate, RUE «Central Research Institute for the Integrated Use of Water Resources»
Block 2, 1 Slavinskogo St., Minsk, 220086, Belarus, tel.: +375 29 150-34-70; e-mail: marinaby@yandex.ru

² Dubina Aleksandr, Assistant of the Department of Industrial Ecology, Belarusian State Technological University
13a Sverdlova St., Minsk, 220006, Belarus, tel.: +375 29 638-22-12, e-mail: streetrman@mail.ru

³ Likhavitskii Vitalii, Deputy Director, TPUE Kuoliti
12 Tolbukhina St., Minsk, 220012, Belarus, tel.: +375 29 304-39-44, e-mail: likh@tut.by

For citation: Pilipenko M. V., Dubina A. V., Likhavitskii V. V. Flotation of wastewater from dye works using ozone. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika*, 2023, no. 1, pp. 42–48. DOI: 10.35776/VST.2023.01.06. (In Russian).

The results of experimental studies of the efficiency of purification of model and real wastewater from dye and finishing works with the aid of pneumatic flotation using ozone-air mixture instead of air are presented. The effect of the gas mixture flow rate, dye concentration, and ozone concentration in the gas mixture on the purification efficiency was studied. The purification efficiency was evaluated by optical density and COD. While using ozone-air mixture instead of air, a 12-fold efficiency increase was achieved. The results of the studies have shown that while using ozone flotation to achieve the purification efficiency of 90% of the real wastewater from dye and finishing works, abstracted upstream the treatment facilities (electrocoagulation followed by flotation), the following conditions are required: processing time not less than 60 minutes; consumption of ozone-air mixture not less than 5 l/(l·min); ozone concentration in the ozone-air mixture not less than 8 g/m³.

Key words: fabric dyeing, ozone, flotation, wastewater, dye.

Введение

Сложность очистки окрашенных сточных вод красильно-отделочных производств связана с тем, что органические загрязнения (красители, ПАВ и др.) являются биохимически стойкими соединениями и находятся в стоках главным образом в растворенном состоянии. Для обесцвечивания красителей и минерализации других органических загрязнений требуется глубокая деструкция их молекул, так как они имеют достаточно высокую молекулярную массу. После предварительной очистки на локальных очистных сооружениях практически никогда не достигаются нормы сброса по ХПК, для чего сточные воды часто разбавляют чистой водой. Поэтому очистка сточных вод красильных производств является весьма актуальной задачей.

Методы очистки сточных вод красильно-отделочных производств можно разделить на три группы. Первая группа методов включает коагуляцию, реагентную напорную флотацию, электрокоагуляцию. Вторая группа включает сорбцию на активных углях и макропористых ионитах, обратный осмос, ультрафильтрацию, пенную сепарацию. Третья группа объединяет деструктивные окислительно-восстановительные методы, вызывающие глубокие превращения органических соединений. При деструктивной очистке органические красители расщепляются до более простых, легкоокисляемых органических продуктов или минеральных соединений, а ПАВ разрушаются с потерей поверхностно-активных свойств. Из деструктивных методов наиболее широко применяют обработку сточных вод окислителями, электрохимическое или фотокаталитическое воздействие.

Проведенные нами ранее исследования по сравнительному анализу очистки сточных вод от красителей [1] озонированием, сорбцией, УФ-обработкой и фотокаталитическим окислением показали, что наиболее эффективными способами являются озонирование [2–4] и ис-

пользование фотокатализаторов [5]. Кроме того, наиболее эффективная очистка достигается с применением микро- и наноразмерных частиц фотокатализаторов. В настоящее время данные исследования выполняются преимущественно в лабораторных условиях ввиду сложности сепарации частиц фотокатализаторов после очистки. Было показано, что наиболее эффективно использовать озон на стадии доочистки сточных вод после основной стадии очистки [1].

В качестве первой стадии очистки часто используются электрокоагуляция и флотация, отдельно или их комбинация (электрокоагуляция с последующей флотацией). Одним из современных направлений в очистке сточных вод является комбинирование методов для достижения синергетического эффекта, например использование напорной флотации, мембранного биореактора и окисления озоном [6], а также озонирование с последующей коагуляцией [7] или коагуляция с последующей флотацией [8]. В ряде статей отмечается позитивное влияние озона на процесс коагуляции [9]. При этом интересным направлением является совмещение флотации с озонированием. Такой подход был предложен и ранее, например, для напорной флотации [10]. Достигнутый уровень снижения ХПК составил 88%, по взвешенным веществам – 92%, по азоту общему – 67,7%. Эффективное удаление фосфора 94,6% было достигнуто только после последующей коагуляции. Схожий эксперимент был проведен авторами [11] на сточных водах предприятий по производству косметики. Однако напорная флотация с использованием озона была дополнена предварительным коагулированием сточных вод. Эффективность очистки по ХПК составила 81,3%, по взвешенным веществам – 96,3%. Подытожены известные результаты в данном направлении в диссертации [12].

Изучены следующие аспекты: эффективность сочетания микро- и нанофлотации с озонированием; технические и эксплуатационные фак-

торы, влияющие на процесс (размер пузырьков, рН среды, добавление коагулянта и флокулянта); эффективность флотации озоном и воздухом на модельных и промышленных сточных водах; потенциальное снижение эксплуатационных расходов и эффективности очистки; влияние озона на потенциальное повышение биоразлагаемости сточных вод.

Сравнение таких комбинированных методов, как коагуляция-флокуляция и флотация озоном, а также влияние расхода озонородушной смеси в интервале 0,2–1 л/мин приведены в работе [13]. Гравитационная мембранная фильтрация и флотация озоном были изучены в работе [14]. Авторами [15] исследована комплексная очистка с использованием комбинации коагуляции и флотации озоном. Несколько процессов, таких как озонирование, флотация, коагуляция и обесцвечивание, могут проводиться в одном интегрированном реакторе [16]. Результаты показали, что эффективность снижения ХПК, цветности, мутности и содержания взвешенных веществ в процессе флотации озоном может достигать 25,4, 49,9, 95 и 96% соответственно. Между тем стоимость обработки была снижена на 47% по сравнению с электрокаталитическим процессом. В работе [17] отмечено, что эффективная доза озона (O_3) для обработки городских сточных вод составила 0,8–1,6 мг/л. Следует отметить, что данные исследования актуальны и до сегодняшнего дня [18; 19]. Несмотря на наличие немногочисленных публикаций по данной тематике, в них представлены точечные исследования, без широкой оценки параметров озонирования (концентрации озона в озонородушной смеси, широкого диапазона расхода озонородушной смеси, влияния концентрации красителя и др.).

Применение физико-химических методов очистки, основанных на деструктивных процессах, и в частности технологии озонирования, позволяет проводить очистку производственных сточных вод от биологически трудноокисляемых органических соединений и высокотоксичных примесей. В настоящее время оборудование для озонирования не является дорогостоящим и доступно в различных вариантах.

Методика исследований

Для оценки влияния различных методов деструкции был выбран краситель метиленовый синий (основной). Для эксперимента использовали модельные растворы красителя с концентрациями 2,5, 5 и 10 мг/л и 0,02%-ным содержанием ПАВ (додецилсульфат натрия). Также оценку эффективности очистки проводили на реальной

сточной воде предприятия. Состав сточной воды: рН 7,26, взвешенные вещества 487,5 мг/л, хлориды 1681,25 мг/л, сульфаты 245,8 мг/л, нефтепродукты 0,39 мг/л, АПАВ 2,11 мг/л, ХПК 327,5 мг/л, сухой остаток 906,5 мг/л, железо 3,46 мг/л. Температура обрабатываемой сточной воды 21 ± 2 °С.

Для пневматической флотации озоном использовали два озонатора: ВГО-15 ($2,7$ г/м³) и Pinuslongaeva F1 ($8,3$ г/м³). Объем обрабатываемой воды 1 л, высота слоя жидкости 20 см. Расход озонородушной смеси на выходе из генератора озона 2,5, 3,75 и 6,25 л/мин. Таким образом, удельный расход озонородушной смеси составляет 2,5, 3,75 и 6,25 л/(л·мин). Очистку сточной воды предприятия проводили при постоянном расходе газовой смеси 6,25 л/мин, соответственно, удельный расход составил 6,25 л/(л·мин). Концентрация озона в газовой смеси при обработке сточной воды предприятия составляла 8,3 г/м³. Для диспергирования газовой смеси использовали керамические аэраторы. Процесс флотации проводили периодически для каждого выбранного условия обработки. В процессе обработки флотошлам накапливался на поверхности обрабатываемой сточной воды. Образующийся флотошлам удаляли после окончания процесса флотации. Определение эффективности очистки модельной и реальной сточной воды проводили по оптической плотности с пересчетом на действительную концентрацию. Для определения оптической плотности использовали спектрофотометр ПЭ-5300ви. Максимальное поглощение для красителя метиленового синего наблюдается при 660 нм. Также эффективность очистки реальной сточной воды проводили по показателю ХПК. Обработку результатов осуществляли при помощи программного обеспечения MatLab.

Результаты и обсуждение

Полученные результаты экспериментов по очистке модельной сточной воды воздушной смесью с содержанием озона 0 г/м³ (рис. 1), 2,7 г/м³ (рис. 2), 8,3 г/м³ (рис. 3) показывают закономерное повышение эффективности очистки с увеличением расхода газовой смеси и концентрации озона, а также с уменьшением исходной концентрации красителя метиленового голубого. Результаты опытов по флотации модельных сточных вод с использованием воздуха показали максимальную эффективность очистки 20% (рис. 1). Из полученных результатов видно, что расход воздушной смеси должен быть более 3 л/мин и время обработки не менее 20 мин. При использовании озона расход газовой смеси также должен быть не менее 3 л/(л·мин) и время очистки не

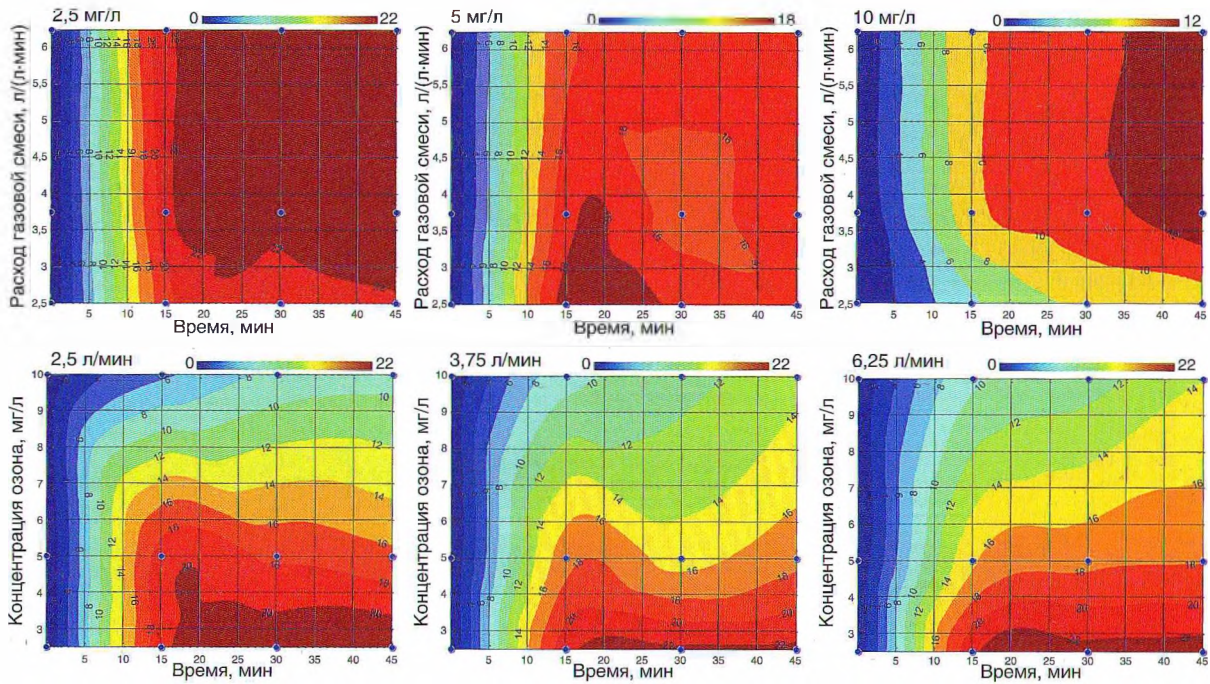


Рис. 1. Эффективность очистки в зависимости от концентрации метиленового голубого, расхода озонозооной смеси и времени обработки при концентрации озона в озонозооной смеси 0 г/м³ (аэрация воздухом)

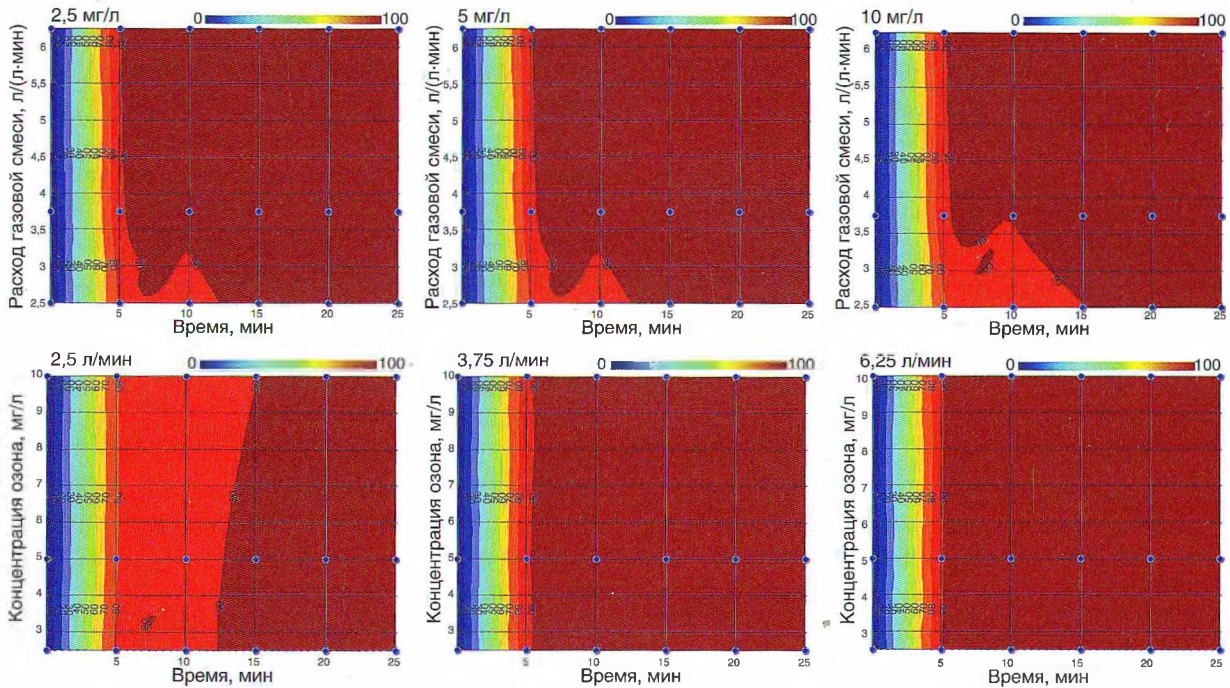


Рис. 2. Эффективность очистки в зависимости от концентрации метиленового голубого, расхода озонозооной смеси и времени обработки при концентрации озона в озонозооной смеси 2,7 г/м³

менее 15 мин. Ранее в работах [20] нами было показано, что оптимальное время насыщения воды озонот составляет около 10 мин. Это подтверждается и полученными данными, представленными на рис. 2 и 3, которые коррелируют с данными статьи [21], где авторы использовали модельную сточную воду с красителем кислотным красным 18. При времени очистки 25 мин

была достигнута 100%-ная очистка. В статье [22] указано, что за 15 мин очистки воды от синтетического красителя была достигнута эффективность 99%.

Была получена модель, описывающая зависимость эффективности очистки от концентрации озона в озонозооной смеси 0, 2,7, 8,3 г/м³, расхода озонозооной смеси 2,5, 3,75,

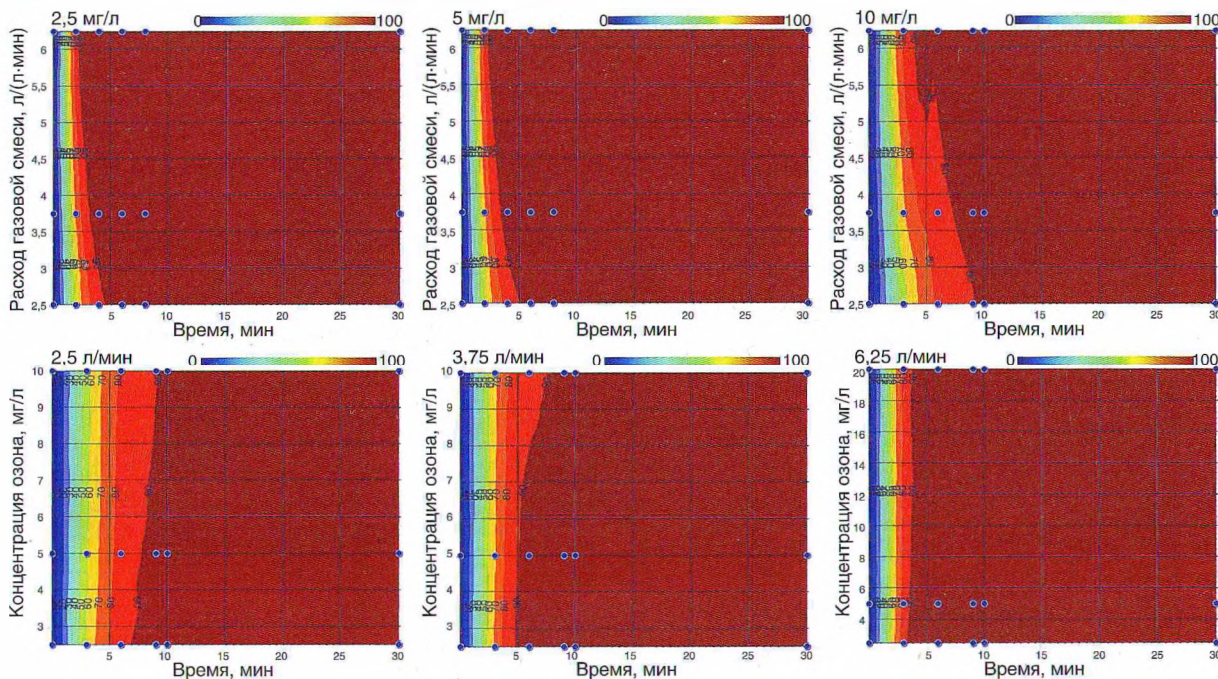


Рис. 3. Эффективность очистки в зависимости от концентрации метиленового голубого, расхода озонородушной смеси и времени обработки при концентрации озона в озонородушной смеси 8,3 г/м³

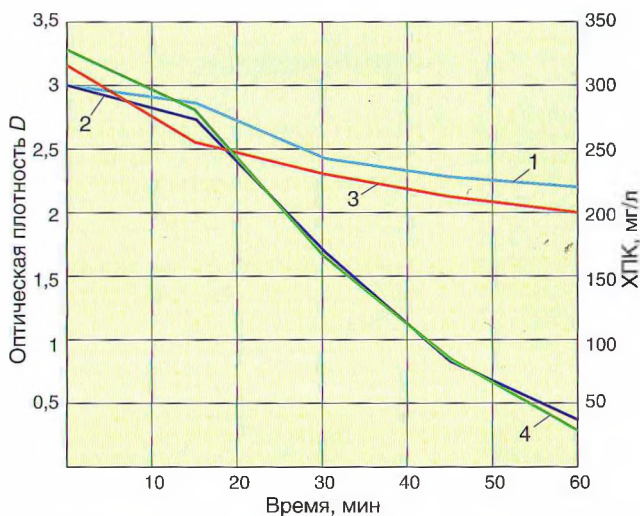


Рис. 4. Эффективность очистки сточных вод предприятия (усредненные данные двух параллельных экспериментов)

1 – оптическая плотность (воздух); 2 – оптическая плотность (озон); 3 – ХПК (воздух); 4 – ХПК (озон)

6,25 л/(л·мин), концентрации раствора красителя 2,5–10 мг/л, времени обработки 0–30 мин. Коэффициент детерминации полученной модели составляет 0,67.

$$\begin{aligned} \mathcal{D}_\phi = & 23,9462 + 2,824C_{O_3} + 4,5315V + 0,3184C_{MB} + \\ & + 0,2911T + 0,268C_{O_3}V - 0,1627C_{O_3}C_{MB} + \\ & + 0,2768C_{O_3}T + 0,0348VC_{MB} - 0,0046VT - \\ & - 0,0462C_{MB}T + 0,0021C_{O_3}VC_{MB} - 0,0084C_{O_3}VT + \\ & + 0,01C_{O_3}C_{MB}T + 0,0021VC_{MB}T + 0,0001C_{O_3}VC_{MB}T - \\ & - 0,4882V^2 - 0,0323C_{MB}^2, \end{aligned}$$

где V – расход газовой смеси, л/мин; C_{MB} – концентрация метиленового голубого, мг/л; C_{O_3} – концентрация озона в газовой смеси, г/м³; T – время обработки, мин.

Результаты экспериментов по очистке сточных вод предприятия при установленном расходе воздуха 6,25 л/(л·мин) показали эффективность очистки на уровне 37,1% по ХПК, при использовании озонородушной смеси – 91,3%, что в 2,45 раза выше, чем при применении воздуха (рис. 4). На графиках видно, что при использовании воздуха происходит преимущественное снижение ХПК. Оптическая плотность исходной сточной воды находится за пределом определения прибора ($D = 3$). Принимая за исходное данное значение оптической плотности $D = 3$, эффективность очистки при использовании воздуха составляет 27%, озонородушной смеси – 87,9%, что в 3,25 раза выше, чем при применении воздуха. На рис. 4 видно, что заметное повышение эффективности очистки с использованием озонородушной смеси наблюдается по прошествии 15 мин обработки. Это хорошо коррелирует с данными по кинетике насыщения воды озном. Данные результаты подтверждены в опубликованных ранее работах [20; 23].

Таким образом, использование озона включает два механизма очистки. Первый – пневматическая флотация, второй – химическая деструкция органических соединений. Сточные воды красильно-отделочных производств содержат

высокие концентрации не только органических веществ (красители, ПАВ и др.), но и неорганических (NaCl). Известно, что растворимость озона в воде зависит от pH. В слабощелочной среде озон диссоциирует очень быстро, а в кислотной проявляет большую стойкость. Высокая эффективность применения озона для снижения окраски сточных вод синтетическими красителями заключается в том, что озон наиболее энергично взаимодействует с ненасыщенными связями.

Как известно, практически все органические красители являются производными ароматических соединений, т. е. их молекулы построены на основе бензольных, нафталиновых, антраценовых, гетероциклических и т. п. структур, то есть содержат ненасыщенные связи. К тому же большая часть производимых в настоящее время органических красителей по химическому строению являются азокрасителями, т. е. содержат в своем составе азосвязи. И азосвязи, и двойные связи ароматических колец при взаимодействии с озоном разрушаются в первую очередь, при этом образуются продукты распада, содержащие части молекул исходных красителей. Поскольку при разрушении всех ненасыщенных связей озоном продукты реакции являются алифатическими окисоединениями, дальнейшее их разрушение под действием озона происходит медленно.

Для повышения эффективности очистки сточных вод от органических загрязняющих веществ с использованием озона по второму механизму, как и в обычной флотации с использованием воздуха, следует стремиться к увеличению площади поверхности пузырьков за счет уменьшения их размера. Это приведет также к снижению скорости поднятия пузырьков и увеличению массопереноса (растворения озона), повышению внутреннего давления, увеличению свободных радикалов, стабильности пузырьков [24].

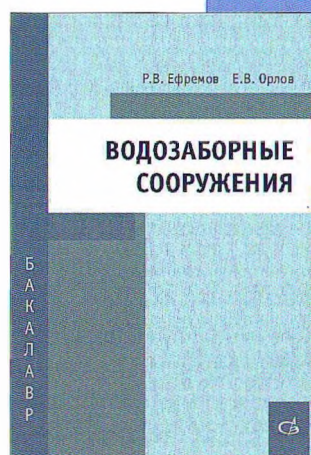
Выводы

Результаты проведенных исследований показали, что при использовании флотации озоном для достижения эффективности очистки 90% реальных сточных вод красильно-отделочных производств предприятия, отобранных до блока очистных сооружений (электрокоагуляция с последующей флотацией), требуются следующие условия: время обработки не менее 60 мин; расход озонородной смеси не менее 5 л/(л·мин); концентрация озона в озонородной смеси не менее 8 г/м³.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Романовский В. И., Лихавицкий В. В., Пилипенко М. В. Сравнительный анализ методов очистки сточных вод от красителей // Вода Magazine. 2016. № 12 (112). С. 54–58.
Romanovski V. I., Likhavitskii V. V., Pilipenko M. V. [Comparative analysis of the methods of removing dyes from wastewater]. *Voda Magazine*, 2016, no. 12 (112), pp. 54–58. (In Russian).
2. Романовский В. И., Гуринович А. Д., Чайка Ю. Н., Вавженюк П. Дезинфекция озоном водозаборных скважин и трубопроводов систем питьевого водоснабжения // Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ. 2013. № 3 (159). С. 55–60.
Romanovski V. I., Gurinovich A. D., Chaika Yu. N., Vavzheniuk P. [Ozone disinfection of water wells and pipelines of drinking water supply systems]. *Writings of BSTU. Chemistry and Technology of Inorganic Substances*, 2013, no. 3 (159), pp. 55–60. (In Russian).
3. Романовский В. И., Гуринович А. Д., Вавженюк П. Эффективность использования озона в технологии водоподготовки // Водоочистка. 2014. № 2. С. 66–70.
Romanovski V. I., Gurinovich A. D., Vavzheniuk P. [Efficiency of using ozone in the water treatment technology]. *Vodoochistka*, 2014, no. 2, pp. 66–70. (In Russian).
4. Романовский В. И., Рымовская М. В., Бессонова Ю. Н., Ковалевская А. М., Лихавицкий В. В. Анализ эффективности дезинфекции сооружений питьевого водоснабжения с использованием хлорсодержащих дезинфицирующих средств и озона // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. 2015. № 2 (92). С. 68–71.
Romanovski V. I., Rymovskaia M. V., Bessonova Yu. N., Kovalevskaia A. M., Likhavitskii V. V. [Analysis of the effectiveness of disinfection of drinking water supply facilities using chlorine-containing disinfectants and ozone]. *Vestnik BrSTU. Water Management Construction, Thermal Power Engineering and Geoecology*, 2015, no. 2 (92), pp. 68–71. (In Russian).
5. Романовский В. И., Куличик Д. М., Пилипенко М. В. Железо-молибден-содержащие фотокатализаторы из осадков очистки промывных вод фильтров обезжелезивания // Водоочистка. 2019. № 6 (180). С. 73–78.
Romanovski V. I., Kulichik D. M., Pilipenko M. V. [Iron-molybdenum-containing photocatalysts from wash water sludges of de-ironing filters]. *Vodoochistka*, 2019, no. 6 (180), pp. 73–78. (In Russian).
6. Choi M., et al. Removal of pharmaceutical residue in municipal wastewater by DAF (dissolved air flotation) – MBR (membrane bioreactor) and ozone oxidation. *Water Science and Technology*, 2012, v. 66 (12), pp. 2546–2555.
7. Oliveira G. A., et al. Combined system for wastewater treatment: ozonization and coagulation via tannin-based agent for harvesting microalgae by dissolved air flotation. *Environmental Technology*, 2022, v. 43 (9), pp. 1370–1380.

8. Lee B. H., et al. Dissolved ozone flotation (DOF) – a promising technology in municipal wastewater treatment. *Desalination*, 2008, v. 225 (1–3), pp. 260–273.
9. Orta Ledesma de Velásquez M. T., et al. Ozone for microalgae biomass harvesting from wastewater. *Ozone: Science & Engineering*, 2017, v. 39 (4), pp. 264–272.
10. Lee B. H., Song W. C. High concentration of ozone application by the DAF (Dissolved Air Flotation) system to treat livestock wastewater. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 2006, v. 95, pp. 561–569.
11. Wiliński P. R., et al. Pretreatment of cosmetic wastewater by dissolved ozone flotation (DOF). *Desalination and Water Treatment*, 2017, v. 71, pp. 95–106.
12. Wilinski P., Naumczyk J. Dissolved ozone flotation as a innovative and prospect method for treatment of micropollutants and wastewater treatment costs reduction. In 12th edition of the World Wide Workshop for Young Environmental Scientists (WWW-YES-2012)-Urban waters: resource or risks? HAL-ENPC. 2012, May, no. 6.
13. Oliveira G. A., et al. Comparison between coagulation-flocculation and ozone-flotation for *Scenedesmus* microalgal biomolecule recovery and nutrient removal from wastewater in a high-rate algal pond. *Bioresource Technology*, 2018, v. 259, pp. 334–342.
14. Jin X., et al. Application of a hybrid gravity-driven membrane filtration and dissolved ozone flotation (MDOF) process for wastewater reclamation and membrane fouling mitigation. *Journal of Environmental Sciences*, 2019, v. 81, pp. 17–27.
15. Jin P. K., Wang X. C., Hu G. A dispersed-ozone flotation (DOF) separator for tertiary wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 2006, v. 53 (9), pp. 151–157.
16. Yao Z., et al. Application of an integrated dissolved ozone flotation process in centralised fracturing wastewater treatment plant. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 2021, v. 11 (2), pp. 236–247.
17. Jin X., Jin P., Wang X. A study on the effects of ozone dosage on dissolved-ozone flotation (DOF) process performance. *Water Science and Technology*, 2015, v. 71 (9), pp. 1423–1428.
18. Jin X., et al. Characteristics of dissolved ozone flotation for the enhanced treatment of bio-treated drilling wastewater from a gas field. *Chemosphere*, 2022, v. 298, 134290.
19. Li K., et al. Removal performance and membrane fouling mitigation mechanism of electrocoagulation membrane dissolved ozone flotation. *Journal of Water Process Engineering*, 2021, v. 43, 102289.
20. Романовский В. И., Лихавицкий В. В., Гуринович А. Д. Исследование растворимости озона в воде по высоте столба жидкости // Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ. 2015. № 3 (176). С. 113–118. Romanovski V. I., Likhavitskii V. V., Gurinovich A. D. [Study of ozone solubility in water by the height of the liquid column]. *Writings of BSTU, Chemistry and Technology of Inorganic Substances*, 2015, no. 3 (176), pp. 113–118. (In Russian).
21. Quan X., et al. Ozonation of acid red 18 wastewater using $O_3/Ca(OH)_2$ system in a micro bubble gas-liquid reactor. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2017, v. 5 (1), pp. 283–291.
22. Zhang J., et al. Synergistic effect of microbubbles and activated carbon on the ozonation treatment of synthetic dyeing wastewater. *Separation and Purification Technology*, 2018, v. 201, pp. 10–18.
23. Романовский, В. И., Гуринович А. Д., Бессонова Ю. Н., Крышилович Е. В. Технические аспекты использования озона в водоподготовке // Вода Magazine. 2016. № 2 (102). С. 36–41. Romanovski V. I., Gurinovich A. D., Bessonova Iu. N., Kryshilovich E. V. [Technical aspects of using ozone in water treatment]. *Voda Magazine*, 2016, no. 2 (102), pp. 36–41. (In Russian).
24. Sakr M., et al. A critical review of the recent developments in micro-nano bubbles applications for domestic and industrial wastewater treatment. *Alexandria Engineering Journal*, 2022, v. 61, pp. 6591–6612.



Ефремов Р. В., Орлов Е. В.
Водозаборные сооружения: учебное пособие. –
М.: Издательство АСВ, 2022. 110 с.

НОВЫЕ КНИГИ

Приведена информация о поверхностных и подземных источниках, используемых для организации водоснабжения в городах и населенных пунктах. Показаны различные схемы забора поверхностной и подземной воды. Рассмотрены варианты водозаборных сооружений на озерах, водохранилищах и морях. Уделено внимание вопросам искусственного пополнения подземных вод, а также борьбы с осложнениями в работе водозаборных сооружений.

Книга предназначена для студентов, обучающихся по программе бакалавриата, направление 08.03.01 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение».