

## КОМБИНИРОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ И ОЗОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

*М. В. ПИЛИПЕНКО<sup>1</sup>, А. В. ДУБИНА<sup>2</sup>, В. В. ЛИХАВИЦКИЙ<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Республика Беларусь  
marinaby@yandex.ru*

<sup>2</sup>*Белорусский государственный технологический университет, г. Минск  
streetrman@mail.ru*

<sup>3</sup>*ТЧУП «Куолити», г. Минск, Республика Беларусь  
likh@tut.by*

**Актуальность.** Анализ литературных источников показывает, что в качестве перспективных на сегодняшний день рассматриваются комбинированные системы очистки сточных вод красильно-отделочных производств [1], а также использование методов, позволяющих интенсифицировать существующие методы очистки. Одними из таких методов могут рассматриваться озонирование [2, 3], использование ультразвуковой обработки и гидродинамической кавитации. В современных литературных источниках отмечаются позитивные эффекты при использовании ультразвука для очистки сточных вод от красителей и ПАВ, что инициирует дополнительные флотационные и коагуляционные эффекты.

**Цель работы** – оценить эффективность использования комбинированной системы очистки сточных вод от красителей, включающей ультразвуковую обработку и озонирование.

**Методика.** Оценку эффективности очистки проводили на производственной сточной воде. Состав сточной воды: водородный показатель (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 О<sub>2</sub>/л, сухой остаток 906,5 мг/л, железо 3,46 мг/л. Температура обрабатываемой сточной воды 21±2 °С. Объем обрабатываемой воды 1 л, высота слоя жидкости 20 см.

**Основные результаты.** По полученным экспериментальным результатам были получены уравнения регрессии, описывающие эффективность очистки по оптической плотности ( $E_{fD}$ ) и ХПК ( $E_{fХПК}$ ) от концентрации озона в озono-воздушной смеси (0–8,3 г/м<sup>3</sup>) и времени обработки (0–30 мин). Коэффициент детерминации модели (1) составляет 0,9862, модели (2) 0,9904 соответственно:

$$E_{fD} = -5,499 + 25,85 \cdot t + 1,113 \cdot C_{O_3} - 15,04 \cdot t^2 + 2,713 \cdot t \cdot C_{O_3} - 0,03245 \cdot C_{O_3}^2 + 2,757 \cdot t^3 - 0,3304 \cdot t^2 \cdot C_{O_3} - 0,04265 \cdot t \cdot C_{O_3}^2 + 0,0003 \cdot C_{O_3}^3 - 0,1579 \cdot t^4 + 0,0152 \cdot t^3 \cdot C_{O_3} + 0,00156 \cdot t^2 \cdot C_{O_3}^2 + 0,0002625 \cdot t \cdot C_{O_3}^3 \quad (1)$$

$$E_{\text{ХПК}} = -0,8188 + 6,614 \cdot t + 0,1214 \cdot C_{\text{O}_3} - 4,696 \cdot t^2 + 0,7712 \cdot t \cdot C_{\text{O}_3} + \\ + 0,01073 \cdot C_{\text{O}_3}^2 + 0,9399 \cdot t^3 - 0,1128 \cdot t^2 \cdot C_{\text{O}_3} - 0,00531 \cdot t \cdot C_{\text{O}_3}^2 - 0,000146 \cdot C_{\text{O}_3}^3 - \\ - 0,05674 \cdot t^4 + 0,006015 \cdot t^3 \cdot C_{\text{O}_3} + 0,0002454 \cdot t^2 \cdot C_{\text{O}_3}^2 + 1,258 \cdot 10^{-5} \cdot t \cdot C_{\text{O}_3}^3, \quad (2)$$

где  $t$  – время обработки, мин;  $C_{\text{O}_3}$  – концентрация озона в озонозвоздушной смеси, г/м<sup>3</sup>.

Полученные результаты показывают, что использование ультразвука для очистки сточных вод дает более низкие значения эффективности в сравнении с воздушной флотацией. Несмотря на то, что в процессе ультразвуковой обработки образуются нано- и микроразмерные пузырьки (разрывы сплошности среды), они достаточно быстро схлопываются. То есть основное влияние на растворенные красители и СПАВ происходит за счет высвобождаемой энергии от схлопывания пузырьков, за счет чего происходит разрыв связей. Результаты исследований по очистке сточных вод, при установленном расходе озонозвоздушной смеси 6,25 л/(л·мин), показали эффективность на уровне 98,8 % по оптической плотности и 62,3 % по ХПК. Добавление ультразвуковой обработки в процессе флотации озоном привело к повышению эффективности очистки на 10,9 % по оптической плотности и 12 % по ХПК. Более высокая эффективность по оптической плотности в сравнении с эффективностью очистки по ХПК показывает, что в процессе комбинированной очистки при выбранных условиях в первую очередь происходит отщепление хромофорных групп красителей, отвечающих за окраску. В то же время органические молекулы красителей и ПАВ разлагаются не полностью. Известно, что наименьшую энергию связи имеют связи гетероатом-гетероатом, углерод-гетероатом. Как раз данные связи и отвечают за хромофорные свойства красителей. В процессе флотации образуется значительно больший рой пузырьков, несмотря на их размеры в несколько миллиметров [4, 5]. Таким образом, флотация в сравнении с ультразвуковой обработкой является более эффективной.

**Выводы.** Результаты по очистке сточных вод (при установленном расходе озонозвоздушной смеси 6,25 л/(л·мин)) показали эффективность очистки на уровне 98,8 % по оптической плотности и 62,3 % по ХПК. Добавление ультразвуковой обработки в процессе флотации озоном привело к увеличению очистки до 10,9 % по оптической плотности и 12,0 % по ХПК.

### Список литературы

- 1 Романовский, В. И. Сравнительный анализ методов очистки сточных вод от красителей / В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий, М. В. Пилипенко // Вода Magazine. – 2016. – № 12 (112). – С. 54–58.
- 2 Дезинфекция озоном водозаборных скважин и трубопроводов систем питьевого водоснабжения / В. И. Романовский [и др.] // Труды БГТУ. Химия и технология неорганических веществ. – 2013. – № 3 (159). – С. 55–60.

3 Романовский, В. И. Эффективность использования озона в технологии водо-подготовки / В. И. Романовский, А. Д. Гуринович, П. Вавженюк // Водо-очистка. – 2014. – № 2. – С. 66–70.

4 Анализ эффективности дезинфекции сооружений питьевого водоснабжения с использованием хлорсодержащих дезинфицирующих средств и озона / В. И. Романовский [и др.] // Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2015. – № 2 (92). – С. 68–71.

5 Определение основных параметров дезинфекции и обеззараживания озоном сооружений питьевого водоснабжения / В. И. Романовский [и др.] // Труды БГТУ. – 2015. – № 3 (176). – С. 108–112.

### **COMBINING ULTRASONIC TREATMENT AND OZONIZATION FOR WASTEWATER TREATMENT**

*M. V. PILIPENKO<sup>1</sup>, A.V. DUBINA<sup>2</sup>, V. V. LIKHAVITSKI<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>RUE "Central Research Institute of Integrated Use of Water Resources", Minsk, Republic of Belarus*

*<sup>2</sup>Belarusian State Technological University, Minsk*

*<sup>3</sup>TCHUP "Kuoliti", Minsk, Republic of Belarus*

УДК 648.6

### **ФЛОТАЦИЯ ОЗОНОМ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД КРАСИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

*М. В. ПИЛИПЕНКО<sup>1</sup>, А. В. ДУБИНА<sup>2</sup>, В. В. ЛИХАВИЦКИЙ<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», г. Минск, Республика Беларусь  
marinaby@yandex.ru*

*<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет, г. Минск  
streetrman@mail.ru*

*<sup>3</sup>ТЧУП «Куолити», г. Минск, Республика Беларусь  
likh@tut.by*

**Актуальность.** 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, 3] и использование фотокатализаторов. Одним из современных направлений в очистке сточных вод является комбинирование методов для достижения синергетического эффекта. 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