

УДК 628.316.12

**Г.Э. Букалов**

**G.E. Bukalov**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОЧИСТКИ  
ФЕНОЛЬНОГО ПОТОКА СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННОГО  
ПРЕДПРИЯТИЯ КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ**

**EXPERIMENTAL STUDIES FOR THE PURIFICATION  
OF THE PHENOL STREAM OF SEWAGE WATER  
OF INDUSTRIAL ENTERPRISE BY COMBINED METHOD**

Описан ход экспериментального исследования при оптимальных условиях проведения процесса очистки сточных вод, содержащих растворители фенольного ряда. Приводятся требования к качеству оборотной воды и основные физико-химические показатели очищенной сточной воды, содержащей многокомпонентные смеси после очистки комбинированным методом. Рассматриваются условия возможности применения комбинированного метода в промышленных условиях.

**Ключевые слова:** очистка сточных вод, фенольный поток, многокомпонентные сточные воды, оборотная вода, комбинированный метод, озонирование, диспергирование озона.

The article describes the course of the experimental investigation under optimal conditions for carrying out the wastewater treatment process containing phenolic series solvents. Requirements are given to the quality of recycled water and the main physicochemical indicators of purified sewage containing multicomponent mixtures after cleaning by a combined method. The conditions for the possibility of using the combined method in industrial conditions are considered.

**Keywords:** sewage treatment, phenolic stream, multi-component wastewater, circulating water, combined method, ozonation, ozone dispersing.

С целью определения возможности применения комбинированного метода очистки сточных вод, содержащих органические растворители фенольного ряда, была проведена серия экспериментальных исследований [1] и установлены оптимальные условия проведения процесса очистки.

Концентрация органических растворителей фенольного ряда соответствовала трем уровням пиковых показателей загрязнений и составляла: для первой серии экспериментов (I режим работы установки) – до 300 мг/л в пересчете на фенол; для второй серии (II режим работы) – от 300 до 600 мг/л; для третьей (III режим работы) – от 600 до 1200 мг/л.

Полученное качество очищенных сточных вод соответствовало требованиям, предъявляемым к промышленным предприятиям в отношении качества оборотной воды (табл. 1).

Таблица 1

Требования к качеству оборотной воды и основные физико-химические показатели очищенной сточной воды, содержащей многокомпонентные смеси органических соединений

Показатели	Требования промышленного предприятия	Очищенные сточные воды после очистки комбинированным методом		
		Режим работы		
		I	II	III
Содержание органических веществ, определяемых по фенолу, мг/л	0,5	0,15–0,4	0,32–0,41	0,35–0,43
ХПК, мг/л	до 15	4,38–10,12	8,56–10,33	8,41–10,5
БПК, мг/л	не устанавливается	2,57–7,21	5,7–8,03	5,53–7,89
NO <sub>2</sub> , мг/л	нет	отсутствует		
NO <sub>3</sub> , мг/л	нет	отсутствует		
Взвешенные вещества, мг/л	до 0,8	4,35–5,76	5,01–6,38	4,89–6,73
pH	7,5–8,5	7,6	7,7	7,6
Цветность, град	до 30	28	28	28
Общая жесткость, мг-экв/л	нет	отсутствует		

Сравнение показателей, приведенных в табл. 1, и показателей смесевых потоков, подаваемых на очистку, позволяет сделать вывод о том, что комбинированный метод очистки сточных вод, содержащих многокомпонентные смеси органических соединений, определяемых по фенолу, позволяет достигать требуемой степени очистки от органических загрязнений, при этом достигается снижение содержания органических загрязнений, определяемых по фенолу, на 99,73–99,9 % и уменьшение величины ХПК на 99,05–99,82 %.

Для сравнения эффективности очистки были проведены исследования по обработке сточных вод, содержащих многокомпонентные смеси органических загрязнений, определяемых отдельно по фенолу, отдельно озоном, удельный расход которого составил 2,25 мг/мг, и отдельно сорбентом КАД йодный в количестве 8,3 мг/л. Время контакта составило 25 мин. Исходная концентрация органических соединений – 600 мг/л. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что очистка многокомпонентных сточных вод, содержащих органические загрязнения, определяемые по фенолу, только за счет окисления озоном или только сорбентом, в отличие от их комбинированного

использования, не позволяет достигнуть необходимой степени очистки (остаточное содержание органических загрязнений в очищенном стоке соответственно 98,56 и 132,13 мг/л) перед подачей в обратное водоснабжение. Данные показатели очистки многокомпонентных сточных вод не удовлетворяют также требованиям, предъявляемым к сточным водам перед подачей на биологические очистные сооружения (БОС). При окислении озоном достигается степень очистки от органических загрязнений, определяемых по фенолу, 83,5 %, и степень очистки по ХПК – 81,13 %, а обработка сорбентом КАД йодный снижает содержание органических загрязнений, определяемых по фенолу, на 77,98, величину ХПК – на 75,56 %. Слабокислая реакция среды при окислении сточных вод озонированием (рН = 4,45) позволяет предположить в сточных водах промежуточные продукты реакции окисления фенолсодержащих соединений с озоном [2].

Таблица 2

Основные физико-химические показатели многокомпонентных сточных вод в результате обработки озоном

Показатели	Очищенная смесь органических соединений, определяемых по фенолу	
	озоном при удельном расходе 2,25 мг/мг	сорбентом КАД йодный при дозе 8,3 мг/л
Остаточное содержание органических загрязнений в пересчете на фенол, мг/л	98,56	132,13
ХПК, мг/л	603,05	781,05
рН	4,45	7,6

Сравнение показателей, приведенных в табл. 1 и 2, позволило сделать вывод о том, что применение комбинированного метода очистки многокомпонентных сточных вод, содержащих органические загрязнения, определяемые по фенолу, позволяющего достичь высокой степени очистки на уровне норм подачи очищенной сточной воды в оборотное водоснабжение, определило возможность рекомендовать разработанный метод для промышленного внедрения.

Однако для установления возможности применения комбинированного метода в промышленных условиях необходимо было решить вопросы утилизации остаточного озона на уровне санитарной нормы в атмосфере и регенерации сорбента.

При использовании систем диспергирования озона в обрабатываемую воду достигалась относительно высокая степень растворения. Количество непрореагировавшего озона с учетом утечек (5 %) составило 8–13 % общей производительности установки озонирования. Учитывая, что озон является

токсичным газом, пренебрегать этой величиной недопустимо. В связи с этим возникает необходимость утилизации озона [3].

До недавнего времени борьба с остаточным озоном велась в двух направлениях: деструкцией газа или разбавлением до безопасных концентраций и выбросом в атмосферу. Деструкция требует применения ряда технологических процессов, что ведет к значительному удорожанию метода озонирования. Разбавление озона при выбросе в атмосферу является наиболее простым и доступным способом, однако, с учетом значительных затрат на производство озона и постоянно растущую стоимость электроэнергии, этот метод также является нерентабельным. В последнее время встал вопрос об утилизации остаточного озона, образующегося в цикле обработки сточной воды [4].

В настоящее время в Европе на станциях Шапель и Анжер проведены исследования по изучению возможности повторной диффузии озона в обрабатываемую воду с целью увеличения эффекта удаления органических загрязнений.

Однако, используя только литературные данные, затруднительно определить возможность применения остаточного озона для повышения эффективности очистки от органических загрязнений. Поэтому изучение возможности утилизации озона в процессе очистки сточных вод исследовалась экспериментально [4, 5].

С учетом коэффициента растворимости озона в воде и использования диспергирующего устройства, обеспечивающего 92–94 % растворения озона, величина остаточного озона в озono-воздушной смеси, отводящейся из реактора, колебалась в пределах от 1,09 до 1,87 мг/л.

Методика эксперимента заключалась в следующем: проозонированную сточную воду пропускали через колонну с сорбентом, при этом сорбент работал в режиме «кипящего» слоя, одновременно в колонну подавали отработанную озонсодержащую смесь с содержанием озона 1,5 мг/л. Интенсивное перемешивание озono-воздушной смеси в сточной жидкости осуществлялось псевдооживленным слоем сорбента. На выходе из колонны в сточную воду анализировали на содержание в ней органических загрязнений, определяемых по ХПК. Отводящаяся озono-содержащая смесь направлялась в поглотитель, содержащий 2%-ный раствор КУ для анализа остаточного содержания озона.

Исследования проводили с исходной концентрацией органических растворителей, соответствующей конечной концентрации после проведения процесса озонирования (420 мг/О<sub>2</sub>/л). Масса сорбента и время контакта сточной жидкости с сорбентом соответствовали найденным оптимальным условиям проведения процесса комбинированным методом (доза сорбента – 8,3 мг/л, время контакта с сорбентом – 9,3 мин).

Установка работала в непрерывном режиме. Анализ очищенной сточной воды осуществляли через 10 ч непрерывной работы.

Проведенные исследования позволили сделать вывод о том, что наличие остаточного озона в относительно малых дозах (1,5 мг/л) частично улучшает эффект очистки.

Анализ остаточного озона в отводящей озono-воздушной смеси показал, что применение углеродного сорбента, в свою очередь, положительно влияет на деструкцию озона. Содержание озона на выходе не превышало 0,07–0,08 мг/м<sup>3</sup>.

Проведенные исследования по изучению возможности утилизации остаточного озона, с целью разработки экологически безопасной технологии очистки сточных вод, позволяют сделать вывод о том, что применение остаточного озона с относительно невысокой концентрацией 1,5 мг/л повышает эффективность и позволяет отказаться от деструкции озона.

### Список литературы

1. Букалов Г.Э. Разработка комбинированного метода очистки сточных вод озонированием с доочисткой сорбцией на активном угле КАД йодный // Теория. Практика. Инновации. – 2017. – № 12 (24).

2. Чалаев Д.Р., Чалаев Н.Д. Обесфеноливание геотермальных вод перед сбросом в открытые водоемы // Юг России: экология, развитие. – 2017. – № 4 (45).

3. Савельев С.Н., Зиятдинов Р.Н., Фридланд С.В. Особенности каталитической очистки сточных вод озонированием // Вестник Казанского технологического университета. – 2008. – № 6.

4. Лепеш Г.В., Панасюк А.С., Чурилин А.С. Современные методы очистки сточных вод промышленных предприятий // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2016. – № 3 (37). – С. 14–23.

5. Павлова С.В. Совершенствование технологической схемы очистки сточных вод от загрязнений ароматическими соединениями каталитическим озонированием // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 30.

Получено 30.03.2018

**Букалов Глеб Эдуардович** – студент, строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

Научный руководитель – **Букалова Наталья Павловна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция и водоснабжение, водоотведение», строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: bukalova.n.p@mail.ru