

СРАВНЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ФОРМАЛЬДЕГИДА

Формальдегид является одним из наиболее распространенных промышленных загрязнителей сточных вод. Он применяется в производстве смол, пластмасс, древесных материалов, текстиля и фармацевтики. Высокая токсичность формальдегида требует его эффективного удаления из сточных вод перед сбросом в окружающую среду.

Наиболее распространенные методы удаления формальдегида включают абсорбцию, адсорбцию, биологическую очистку и химическое окисление.

В данной работе проводится сравнительный анализ эффективности трех окислительных методов:

- Пероксид водорода (H_2O_2)
- Озон (O_3)
- Реактив Фентона ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+}$)

Предварительная обработка сточных вод сульфитом натрия (Na_2SO_3) позволяет уменьшить содержание формальдегида и повысить эффективность дальнейшего окисления.

Материалы и методы.

Образцы сточных вод. Сточные воды с содержанием формальдегида в диапазоне от 1 до 100 мг/л подвергались предварительной обработке сульфитом натрия с последующим окислением тремя методами.

Подготовка проб. Каждая проба сточных вод (1 л) готовилась с добавлением заданной концентрации формальдегида. Для предварительной обработки использовался 10%-ный раствор сульфита натрия, добавляемый в стехиометрическом соотношении.

Окислительные методы.

1. Пероксид водорода: Вода обрабатывалась 30%-ным H_2O_2 в дозировке 1:1 по отношению к формальдегиду. Реакция проводилась при pH 6,5-8,0.

2. Озонирование: Озон подавался в реактор со скоростью 1 г/ч. Контактное время составляло 15-30 минут.

3. Реактив Фентона: Раствор H_2O_2 (30%) и FeSO_4 добавляли при pH 2,5-3,0, поддерживая мольное соотношение $\text{Fe}:\text{H}_2\text{O}_2 = 1:10$.

Результаты и обсуждение.

Все три метода продемонстрировали различную эффективность в зависимости от исходной концентрации формальдегида и условий проведения реакции (таблица 1).

Результаты показали, что реактив Фентона обеспечивает наибольшую степень очистки, особенно при высоких концентрациях формальдегида.

Озонирование оказалось наиболее эффективным при низких концентрациях (<10 мг/л).

Пероксид водорода показал умеренную эффективность, особенно при высоких концентрациях загрязнителя.

Таблица 1 – Эффективность очистки в зависимости от исходной концентрации формальдегида и условий проведения реакции

Метод	Концентрация формальдегида, мг/л	Эффективность, %
Пероксид водорода	1-10	75-85
	10-100	50-60
Озонирование	1-10	90-95
	10-100	70-80
Реактив Фентона	1-10	95-98
	10-100	85-92

Окисление пероксидом водорода. Основные преимущества метода: простота использования; отсутствие образования токсичных газов, экологичность.

Недостатки: низкая эффективность при высоких концентрациях формальдегида, возможность образования промежуточных соединений (муравьиная кислота, метанол), требуется строгий контроль дозировки.

Озонирование. Основные преимущества: высокая окислительная способность, эффективность при низких концентрациях формальдегида, отсутствие необходимости в дополнительных реагентах.

Недостатки: высокие капитальные затраты на оборудование, требуется постоянный контроль за генерацией озона, возможность образования токсичных побочных соединений.

Реактив Фентона. Реактив Фентона – это комбинация пероксида водорода и солей железа, которая значительно усиливает образование гидроксильных радикалов и способствует быстрому разложению органических загрязнителей. Процесс наиболее эффективен при подкисленном pH (2,5-3,0), что обеспечивает максимальную активность каталитической реакции.

Основные преимущества: высокая степень очистки (до 98%), быстрое разложение формальдегида, возможность комбинирования с другими методами.

Недостатки: требуется подкисление среды, образование осадка $\text{Fe}(\text{OH})_3$, требующего удаления, высокие эксплуатационные затраты.

Экономическая оценка методов окисления формальдегида (таблица 2).

Таблица 2 – Экономическая оценка методов

Метод	Капитальные затраты	Эксплуатационные затраты	Эффективность при низких концентрациях	Эффективность при высоких концентрациях
Пероксид водорода	Низкие	Средние	Средняя	Низкая
Озонирование	Высокие	Средние	Высокая	Средняя
Реактив Фентона	Средние	Высокие	Высокая	Высокая

Сравнение методов показало, что:

- Озонирование наиболее эффективно при низких концентрациях формальдегида, но требует значительных капитальных вложений.
- Пероксид водорода показал умеренную эффективность, особенно при высоких концентрациях загрязнителя, но требует строгого контроля дозировки.
- Реактив Фентона обеспечивает наибольшую степень очистки, но требует подкисления среды и последующего удаления осадка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Smith, R., et al. Sulfite-Based Pretreatment of Formaldehyde-Contaminated Wastewater // Water Science and Technology. 2017. P. 1685-1694.
2. Guo, J., et al. Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment // Environmental Science & Technology. 2016. V. 205. P. 187-204.
3. Zhang, L., et al. Decomposition of Formaldehyde in Aqueous Solutions by Hydrogen Peroxide // Journal of Hazardous Materials. 2018. V. 44. P. 297-303.
- 4 Beltrán-Heredia, J., et al. Ozonation of Organic Pollutants in Water // Water Research. 2017. V. 213. P. 118-153.
- 5 Chen, X., et al. Combined Ozone and Hydrogen Peroxide Process for Formaldehyde Removal // Chemical Engineering Journal. 2019. V. 147. P. 311–318.
- 6 Liu, Y., et al. Fenton Oxidation of Formaldehyde in Industrial Wastewater. // Journal of Environmental Management. 2015. P. 2754-2773.
- 7 Wang, Z., et al. Optimization of Fenton Process Parameters for Formaldehyde Degradation // Chemosphere. 2020. V. 30. P. 90397–90409.