

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭФФЕКТИВНОГО ОКИСЛЕНИЯ И ДЕСТРУКЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ (ТЕОД-ТЕХНОЛОГИИ) ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ «ВЕЧНЫХ» ФТОРОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ, ПОПАДАЮЩИХ В МИРОВОЙ ОКЕАН С ПЛАСТИКОВЫМ МУСОРОМ

С.В.Изюмов

Москва, ООО «Центр комплексных проектных решений»

Н.М.Легкий

Москва, РТУ МИРЭА

В.А.Телегин

Москва, ИЗМИРАН

Пластиковый мусор и микро-пластиковые загрязнения, попадающие в океан, являются причиной возникновения экологических проблем, и представляют серьезную угрозу для здоровья человека. Наряду с обычными полимерами, используемыми для изделий из пластика, применяются также фторорганические соединения, в которых в органическую молекулу входит хотя бы один атом фтора, соединенный напрямую с углеродом. Примером такого соединения является, например, тефлон. Все большую угрозу для человека стали представлять накапливающиеся в водной среде техногенные соединения на основе перфторалькильных (PFOA) и полифторалькильных кислот (PFOS) – химических веществ группы PFAS [1]. Большинство этих соединений в природе практически не разлагаются и относятся к классу «вечных» загрязнений.

Одним из способов очистки воды от фторорганических соединений является использование интенсивных процессов окисления, активированных гидроксильными радикалами. В зарубежной литературе эти процессы получили название Advanced Oxidation Processes (AOP) [2]. Технология эффективного окисления и деструкции органических соединений (ТЕОД-технология) является разновидностью АОР-технологий.

ТЕОД-технология является мощным инструментом для очистки воды от органических, в том числе токсичных, загрязнений. По существу, окислению могут подвергаться любые органические соединения, а сам процесс деструкции может продолжаться до полной минерализации загрязнений до молекул воды, углекислого газа и неорганических солей соответствующих кислот в случае присутствия в молекулах атомов азота, серы, хлора или фтора.

Существенное отличие и преимущество технологии интенсивного окисления от любых других технологий очистки воды состоит в том, что вещества подвергаются фактически «холодному сжиганию» в воде, а не переводятся из одного состояния в другое, как, например, при использовании любого метода, основанного на фильтрации.

Главным методом генерации ОН-радикалов в ТЕОД-технологии являются использование мощного ультрафиолетового излучения в сочетании с пероксидом водорода (UV/H₂O₂).

В работе приведены данные о том, что скорости процессов интенсивного окисления при использовании ТЕОД-технологии в миллионы раз выше скорости окисления озоном. Показано, что большое количество углеводородных соединений, которые не поддаются окислению озоном, в том числе фторорганических соединений, легко окисляются при активировании химических реакций с помощью ОН-радикалов. Это позволяет удалять из воды практически любые, в том числе микропластиковые и токсичные фторорганические загрязнения.

Приведены данные по применению ТЕОД-технологии для таких применений как:

- Удаление токсичных веществ и устойчивых органических загрязнителей из питьевой воды таких как: РСЕ, ТСЕ, МТВЕ, пестициды, гербициды, нефтепродукты, фенолы, цианиды, полициклические органические соединения
- Снижение содержания общего органического углерода (ТОС) в воде для реализации водно-химического режима АЭС и ТЭС
- Очистка конденсатов нефтехимических производств от нефтепродуктов и других органических загрязнений
- Подготовка ультрачистой воды с содержанием ТОС на уровне 1 мкг/дм³ для аналитической химии, фармацевтики и предприятий электронной промышленности
- Очистка стоков от токсичных соединений, препятствующих биологической очистке.

В работе показана возможность применения ТЕОД-технологии для очистки воды от микропластиковых и «вечных» загрязнений. Рассмотрены основные процессы, влияющие на эффективность окисления и деструкции органических и фторорганических соединений.

Приведено описание пилотной установки с мощным ТЕОД-реактором, которая может быть использована для лабораторных и пилотных исследований по очистке воды от фторорганических соединений. Представлены примеры применения установки для очистки воды от устойчивых токсичных органических загрязнений.

Литература

1. Marek Trojanowicz et al. Advanced Oxidation/Reduction Processes treatment for aqueous perfluorooctanoate (PFOA) and perfluorooctanesulfonate (PFOS) – A review. Chemical Engineering Journal 336 (2018), p. 170 – 199
2. Mihaela I. Stefan. Advanced Oxidation Processes for Water Treatment. IWA Publishing, 2018.