



УДК 629.5.06

ПОДГОТОВКА К ЭКСПЕРИМЕНТУ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ МОЩНОСТИ БАКТЕРИЦИДНОГО УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ КОРОННОГО РАЗРЯДА В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Гурьянов Николай Михайлович, аспирант кафедры подъемно-транспортных машин и машиноремонта
Волжский государственный университет водного транспорта
603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

Мизгирев Дмитрий Сергеевич, д.т.н., доцент, профессор кафедры подъемно-транспортных машин и машиноремонта
Волжский государственный университет водного транспорта
603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

Аннотация. Присутствие патогенных микроорганизмов в питьевой воде является крайне нежелательным и часто создает значительную угрозу для здоровья и жизни человека. Процесс обеззараживания питьевой воды с использованием ультрафиолетового облучения широко применяется и служит эффективным барьером для всех известных микроорганизмов, включая те, которые обладают устойчивостью к химическим дезинфицирующим средствам.

Ключевые слова: обеззараживание воды, УФ-излучение, коронный разряд, озono-воздушная смесь, устройство для очистки и приготовления питьевой воды.

Среди разнообразных методов дезинфекции питьевой воды особое место занимают безреагентные технологии. Одним из таких методов является обеззараживание воды ультрафиолетовым излучением, генерируемым коронным разрядом. Эта технология не требует использования химических реагентов и при модернизации существующих систем обработки воды не требует дополнительных финансовых вложений. Коронный разряд представляет собой самостоятельный тип электрического разряда, который возникает в условиях резко неоднородных электрических полей.

Коронный разряд для обеззараживания воды может располагаться над ее поверхностью, под водой, одновременно в обеих средах или в водо-воздушной среде. Наиболее эффективным методом стерилизации воды является подводный коронный разряд, что подтверждается результатами исследований [1]. В процессе разряда образуются бактерицидные агенты активных форм кислорода, такие как озон O_3 , перекись водорода H_2O_2 , гидроксильный радикал OH^* и супероксид O_2 . Существенным недостатком метода обеззараживания воды с использованием коронного разряда является его высокое потребление электроэнергии [2].

Исследования коронного разряда в водной среде [2] демонстрируют, что при наличии до миллиона бактерий на литр, потребление электроэнергии составляет

приблизительно $45,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$. Основная часть энергии уходит на джоулевое нагревание, что приводит к повышению температуры обрабатываемой воды на $6 - 10 \text{ }^\circ\text{C}$ до момента полной дезинфекции. Главным фактором, способствующим нагреву жидкостей, является высокая проводимость исследуемой воды, которая составляет около $0,4 \text{ мСм}/\text{см}$ [2]. Это означает, что при снижении проводимости воды, энергозатраты становятся меньшими.

Для подготовки к эксперименту по определению мощности бактерицидного УФ-излучения коронного разряда в водной среде необходимо выполнить следующее:

1. Необходимо определить коэффициент пропускания бактерицидного излучения, который характеризует прозрачность воды при длине волны 254 нм . Этот параметр отражает способность взвешенных твердых частиц и растворенных веществ препятствовать проникновению ультрафиолетового света в толщу воды внутри устройства для обеззараживания.

2. Определение дозы облучения зависит от концентрации микроорганизмов, количества взвешенных веществ и других характеристик исходной воды. Например, необходимо учитывать число взвешенных твердых частиц и живых организмов: при их меньшем количестве для уничтожения потребуется меньшая доза ультрафиолетового излучения.

3. Реализовать модельное облучение для нескольких проб воды, при этом для каждого следующего образца устанавливается ультрафиолетовая доза с заданным шагом (например, от 5 до $10 \text{ мДж}/\text{см}^2$). Затем все образцы проходят экспресс-микробиологический анализ на наличие индикаторного микроорганизма — кишечной палочки.

4. На основе проведенного анализа необходимо установить взаимосвязь между эффективностью ультрафиолетового облучения и конструктивными характеристиками аппарата. Минимальное значение УФ-дозы можно определить, исходя из количества микроорганизмов, оставшихся в обработанных образцах воды.

Суть синергетического эффекта обеззараживания заключается в образовании мощнейшего дезинфицирующего агента ОН^\bullet в результате взаимодействия озона, супероксида и ультрафиолетового излучения в различных комбинациях в воде. Несмотря на некоторые недостатки, связанные с использованием УФ-излучения коронного разряда для обеззараживания воды, данная технология представляет собой перспективное направление.

Для постановки экспериментов было разработан экспериментальный стенд, реализующий технологию по патенту РФ № 2705355 «Устройство для очистки и приготовления питьевой воды» для очистки и приготовления питьевой воды, состоящее из цилиндрического корпуса, отличающегося тем, что последний коаксиально разделен на контактную колонну с патрубком отвода газов, фильтр с гранулированной загрузкой, зону обработки УФ-излучением, через которые последовательно проходит обрабатываемая вода и озонирующий элемент, представляющего собой стеклянную колбу с диэлектрической крышкой с отверстиями для прохода атмосферного воздуха, на внутреннюю поверхность колбы нанесен перфорированный электропроводящий слой, которого касаются проводящие перемычки внутренней центральной трубы, являющейся высокопотенциальным электродом, подсоединенным к высоковольтному трансформатору, служащей для отвода озono-воздушной смеси, генерируемой в кольцевом зазоре между трубой и электропроводящим слоем через невозвратный клапан в котором осуществляется обработка воды озоном, при этом низкопотенциальным электродом является электропроводящий корпус устройства также подсоединенный к высоковольтному трансформатору [5].

Стенд (рис.1) позволяет измерить следующие параметры: расход воздуха для генерации озono-воздушной смеси; влажность воздуха; концентрация озона в смеси; ток разряда в озонирующем элементе; мощность УФ-излучения.

Варьируемыми параметрами при проведении эксперимента являются:

– расход воздуха в озонирующем элементе, определяющий скорость потока в коронном разряде;

- размер сетки высоковольтного электрода, от которого зависит светопропускание УФ-излучения;
- толщина кварцевого чехла, влияющая на производительность озонатора и надежность его работы при давлении воды в корпусе;
- влажность воздуха, оказывающая влияние на стабильность работы.



Рис. 1 – Экспериментальный стенд по определению мощности бактерицидного УФ-излучения коронного разряда в водной среде

В результате эксперимента определяются следующие параметры:

- мощность УФ-излучения;
- концентрация озона в озono-воздушной смеси.

Экспериментальным путем необходимо определить такие конструктивные характеристики устройства, при которых искомые параметры имеют возможно максимальные значения.

С целью сокращения числа опытов в соответствии с рекомендациями [4] целесообразно произвести планирование дробного многофакторного эксперимента по схеме «на кубе», при этом нужно стремиться к тому, чтобы матрица планирования не лишилась своих оптимальных свойств. По полученным в эксперименте значениям коэффициентов факторов вывести уравнения регрессии.

Список литературы:

1. Машкин А.Г., Овешников Ю.М., Суворов И.Ф. Обеззараживание сточных вод частичными разрядами на переменном напряжении // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2000. № 9. С. 116-117.
2. Gupta S.B. Investigation of a physical disinfection process based on pulsed underwater corona discharges: diss. Forschungszentrum Karlsruhe, 2007.
3. Мизгирев, Д. С. Экспериментальные исследования эффективности УФ-облучения для систем приточной вентиляции судовых помещений / Д. С. Мизгирев, М. А. Борисов // Морские интеллектуальные технологии. – 2022. – № 4-1(58). – С. 33-39. – DOI 10.37220/МИТ.2022.58.4.019. – EDN DDGINQ.
4. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.: ил.
5. Патент № 2705355 С1 Российская Федерация, МПК C02F 9/06, C02F 1/78, C02F 1/46. устройство для очистки и приготовления питьевой воды : № 2019112291 : заявл. 23.04.2019 : опубл. 06.11.2019 / Д. С. Мизгирев, Н. М. Гурьянов.

PREPARATION FOR AN EXPERIMENT TO DETERMINE THE POWER OF BACTERICIDAL UV RADIATION OF A CORONA DISCHARGE IN AN WATER ENVIRONMENT

Nikolay M. Guryanov, Dmitriy. S. Mizgirev

Abstract. The presence of pathogenic microorganisms in drinking water is extremely undesirable and often poses a significant threat to human health and life. The process of disinfecting drinking water using ultraviolet irradiation is widely used and serves as an effective barrier to all known microorganisms, including those that are resistant to chemical disinfectants.

Keywords: water disinfection, UV radiation, corona discharge, ozone-air mixture, device for cleaning and preparing drinking water.