

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОЗОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ: ОБЗОР ПОСЛЕДНИХ РАЗРАБОТОК

Гульнар Кудайбергеновна Сыдыкова<sup>1</sup>, Кара Абдулазим оглы Гасанов<sup>2</sup>,  
Абдурахим Сулайманович Бердышев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Кызылординский университет имени Кorkyt Ata, Кызылорда, Казахстан

<sup>2</sup>Азербайджанский технический университет, Баку, Азербайджан

<sup>3</sup>НИУ «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», Ташкент, Узбекистан

### ABOUT THE USE OF OZONE TECHNOLOGY: A REVIEW OF RECENT DEVELOPMENTS

Gulnar Kudaibergenovna Sydykova<sup>1</sup>, Kara Abdulazim Hasanov<sup>2</sup>, Abdurakhim Sulaymanovich Berdyshev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kyzylorda University named after Korkyt Ata, Kyzylorda, Kazakhstan: sydykova77@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6841-028X>

<sup>2</sup>Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan: qhasanov@beu.edu.az

<sup>3</sup>National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers", Tashkent, Uzbekistan: berdishev66@bk.ru

<https://orcid.org/0009-0003-1781-4924>

**Abstract.** In the context of increasing anthropogenic load on the environment and, as a result, deterioration of the environmental situation in the world, there is growing interest in the use of ozone for the purification of toxic emissions, drinking water treatment, and in technological processes of various industries. Modern ozone technologies have high application efficiency, relatively low costs for implementation and operation of installations, as well as environmental safety.

During the research, the factors influencing the impact of ozonation processes on the environment were studied, modern technological developments and solutions for minimizing the risks associated with the dosage of ozone were analyzed, the possibilities of effective use of ozone technology in various fields of industry were studied, and examples of successful adaptation of innovative developments in the field of ozonation were considered. The results of the study have significant practical significance for increasing the level of criteria for the success of purification processes that are inextricably linked with production, as well as the living conditions of modern society against the backdrop of the growing need to green the processes of purification and neutralization of harmful substances.

**Keywords:** ozone, disinfection, application dosage, sterilization, deodorization.

© 2023 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

### Введение

Современные озонные технологии соответствуют таким требованиям, и поэтому приобретают прогрессирующую популярность как в мировом сообществе, в том числе и в странах с развивающейся экономикой. Для генерации озона требуются минимальные ресурсы, поэтому процессы озонирования доступны, достаточно безопасны в применении, и получают широкий спектр применения в производстве, быту, сельском хозяйстве.

Озон – мощное противомикробное средство, которое широко применяется для обеззараживания во многих отраслях промышленности, включая продовольственную сферу, водоподготовку, фармацевтику, медицину. Озон способен очищать, дезинфицировать и стерилизовать материалы и поверхности, в зависимости от дозировки применения и особенностей используемой среды.

Проблематике применения озонной технологии и поиску решений, позволяющих уменьшить риски, возникающие из-за нерационального использования озона, посвящено много современных научных трудов и исследований, в частности Epelle E., Macfarlane A., Cusack M., [1], а также Лунина В.В., Бахтаева Ш.А. [2, с. 197], [3, с. 14]. Озонирование воды привлекает больше внимания исследователей, по сравнению с газообразным применением озона. Объясняется такое положение вещей тем фактом, что очистка воды с помощью озонной технологий есть пионером в области использования озона в целом. Проблема поиска оптимальных решений для обеспечения чистоты питьевой воды, а также сточных вод, особенно актуальна в свете экологически нестабильных водных систем современности.

Многие ученые современности занимаются исследованием вопросов разработки и внедрения механизмов озонирования в пищевой промышленности, так как этот аспект применения озонной технологии очень востребована и перспективен. Этой проблематике посвящены труды Botondi R., Barone M., Grasso C, Xue W., Macleod J., Blaxland J. [4,5].

Недавняя пандемия COVID-19 стимулировала новые разработки в области внедрения различных технологий на основе озона для обеззараживания поверхностей, материалов, внутренней среды, а также высветила терапевтический потенциал озона. Этот вопрос поднимается в работах ученых Cristiano L., Valdenassi L., Franzini M., Thill S., Spaltenstein M. [6,7,8].

Несмотря на достаточно высокую популярность тематики озонной технологии в современных научных кругах мирового сообщества, неоспорим факт ее довольно хаотической систематизации и группирования, для дальнейшего изучения и практического применения.

**Цель исследования:** изучение и обобщение последних достижений в сфере использования озонных технологий и аппаратов в различных отраслях промышленности, а также определение оптимальных инженерных соображений, необходимых для крупномасштабного внедрения систем дезактивации озона, с акцентированием внимания на ключевых параметрах, которые влияют на эффективность и стабильность озона при длительном воздействии, а также выделение приоритетных направлений дальнейшего изучения исследуемой проблематики, разработка рекомендаций по практическому применению озонных технологий в актуальных направлениях деятельности.

### **Материалы и методы**

В основу проведенного исследования положено гипотетико-дедуктивный метод. Использование данного метода позволило сформулировать научную теорию, которая учитывает результаты, выведенные в ходе экспериментальной деятельности ученых, а также использует логические выводы, что в комплексе дало возможность сформулировать выводы о подтверждении гипотезы об универсальности озонирования как современного и доступного способа обработки различных сред. Кроме того, в процессе исследования использовался метод восхождения от абстрактного к конкретному, в виде последовательного перехода от общих абстрактных данных о процессах и аппаратах озонной технологии и свойств озона как химического вещества к конкретным примерам использования озонирования в различных процессах производства, сельского хозяйства, медицинской отрасли, обеспечения благоприятных условий для жизни и деятельности общества.

Для определения эффективности, особенностей и преимуществ определенных технологических решений в исследуемом процессе использован системный подход. С его помощью исследование сориентировано на раскрытие целостности объекта изучения, комплексного поиска решений. Разработаны основные направления оптимизации синергии ресурсной и экологической составляющих процессов озонной технологии.

Метод синтеза использовано для формирования выводов на счет целесообразности использования озонных технологий в отдельных отраслях производства и быта.

### **Результаты**

Озон ( $O_3$ ) являет собой газ – высокоактивную аллотропную форму кислорода с характерным резким запахом [9]. Газообразный озон при комнатной температуре обладает голубоватым цветом, хотя этот факт остается малозаметным при обычно производимых концентрациях. Озон более нестабилен, чем атмосферный кислород, и это подразумевает, что он не накапливается в значительной мере и должен производиться при необходимости с помощью систем генерации озона [10]. Значительные окислительные способности и быстрое разложение из-за нестабильности соединения делают его эффективным против широкого спектра микроорганизмов, обеспечивая более быструю кинетику микробной инактивации по сравнению с другими типами окислителей [11]. Соединения озона вступают в реакцию с органическими

веществами в 3000 раз быстрее и является более безопасным, чем хлор [12]. Кроме обеззараживания, озон обладает дезодорирующими, отбеливающими свойствами, что расширяет возможности его применения в различных отраслях промышленности. Но на сегодняшний день наиболее распространенной причиной его применения все же является потребность в обеззараживании. Широкое применение его в этих целях обусловлено высокой активностью озона как в воде, так и в воздухе, что позволяет использовать его в зависимости от конкретных характеристик процесса или субстрата, подлежащего обеззараживанию. В то же время, чувствительность озона к органическим веществам, присутствующим в среде, повышает его расход, тем самым снижая концентрацию для целевого воздействия. Генерация озона в воздухе проводится с помощью ультрафиолетового излучения (185 нм) и методов коронного разряда [13]. Второй при этом считается более эффективным, особенно для масштабных производств. В водной среде озон генерируется с помощью электролитических методов или путем барботирования газа через воду [14]. Оба способа образования озона стимулируют образование пузырьков озона разных размеров, что позволяет достичь определенной стабильности соединений озона в водной среде. Кроме того, разрушение таких пузырьков на поверхности обрабатываемого субстрата повышает противомикробную эффективность всего процесса.

Общая эффективность микробной инактивации с помощью озона может быть увеличена за счет оптимизации условий. Например, низкие температуры повышают стабильность озона в воздухе и воде, тем самым снижая скорость самопроизвольного разложения до кислорода. Использование добавок (например, карбонатных солей) улучшает стабильность водного озона для длительной микробной инактивации. Кроме того, применение нанопузырьков озона также обладает огромным потенциалом для улучшения антимикробной эффективности и стабильности озона [13].

Свойство озона вступать в активное взаимодействие с органическими соединениями находит применение в химической отрасли. Взаимодействие озона и ароматических углеводородов позволяет разрабатывать новые методы дезодорации воздуха и воды. В то же время, реакция озона с серосодержащими соединениями лежит в основе современных методов очистки отходящих газов и сточных вод, что является особенно важным для производственных процессов, сориентированных на внедрение принципов циркулярной зеленой экономики.

В промышленных условиях на сегодняшний день озон получают электролитическим методом, при помощи ультрафиолетового излучения, или способом электросинтеза с применением коронного разряда. Последний способ признан наиболее эффективным, отличаясь при этом оптимальным соотношением энергетических затрат к концентрации вырабатываемого озона. Коронный разряд образовывается в случае, когда электрическое поле вокруг проводника характеризуется высокой степенью неоднородности. Стоит отметить, что коронный разряд с тонко-проволочным катодом дает возможность образовывать протяжный разряд вдоль катода, что значительно снижает плотность разрядного тока, а также более равномерно распределяет выделение энергии в газе и теплоотвод от него. Эта особенность способствует увеличению эффективности процесса генерации озона, учитывая его склонность к распаду при малейшем повышении температуры.

В свете сложившейся многогранности явления эффективного использования озона в современных технологических решениях, следует выделить некоторые приоритетные и целесообразные направления его функционального применения (рис. 1).

#### 1. Очистка питьевой воды

Одним из самых распространенных применений озона в промышленности является очистка питьевой воды, в частности для удаления тяжелых металлов, дезинфекции, нейтрализации вкуса и запаха. Механизм влияния озона полагает в разрушении бактериальных белковых соединений. Осуществляется он явлением диффузии озона, при этом действие происходит быстро при поддержании необходимой концентрации озона.

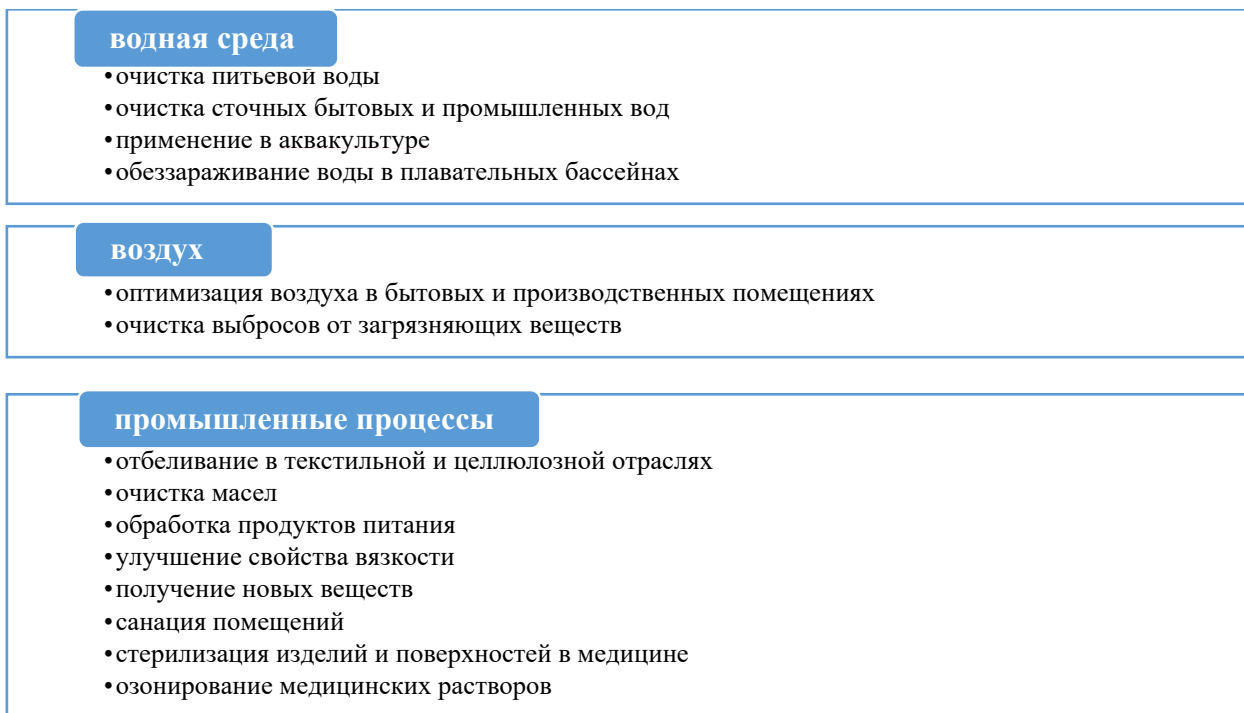


Рис. 1. Основные направления применения современных озонных технологий

Кроме того, озон окисляет присутствующие в воде соединения минерального и органического происхождения, с последующим их расщеплением. При этом наблюдается эффективное устранение различных запахов и привкусов. То есть можно утверждать, что с посредством озона происходит нейтрализация нежелательных веществ, в том числе устойчивых соединений. Особую эффективность озон показывает при очистке воды от фенолов, сероводорода, сернистых, цианистых и ряда других веществ, придающих воде неприятный запах.

Дополнительными преимуществами озонирования для очистки питьевой воды являются его способность минимизировать количество побочных продуктов дезинфекции, обеспечение должного уровня эстетики качества воды (цвет, вкус, прозрачность, запах), исключительную способность разлагать ряд возникающих загрязняющих веществ, которые угрожают водоснабжению [15].

#### 2. Очистка сточных вод

Широкое применение озона для обработки питьевой воды послужило толчком для распространения озонирования в другие отрасли, включая очистку сточных вод. Использование озонных технологий в этих целях позволяет уменьшить образование шлама, эффективно удалять стойкие соединения, например, соединения фенолов, карбоновых кислот, синтетических красителей [16]. Растущее использование озонных технологий для очистки сточных вод в последние годы можно объяснить тенденцией снижения затрат на производство озона и его преимуществами для окружающей среды, по сравнению с хлором.

#### 3. Применение в аквакультуре

Сегодня озонные технологии в аквакультуре широко используются для подготовки воды при выращивании различных гидробионтов (обеззараживание), для профилактики и ликвидации паразитических поражений, для очистки воды от токсических и вредных веществ (гербициды, тяжелые металлы, фенолы, пестициды) в условиях хозяйств интенсивного разведения рыб.

#### 4. Обработка воды в спортивных и оздоровительных бассейнах

Процессы дезинфекции бассейнов в развивающихся странах базируются, в основном, на хлорировании, которое провоцирует негативные последствия для здоровья человека и понижение температуры воды. Такая методика водоподготовки давно не соответствует международным требованиям. Инновационной задачей является перевод плавательных бассейнов на озонирование, которое одновременно решает вопросы обеззараживания, улучшения органолептических показателей и физических свойств воды, дезодорации, соответствуя при этом актуальным нормам экологической безопасности (рис. 2).

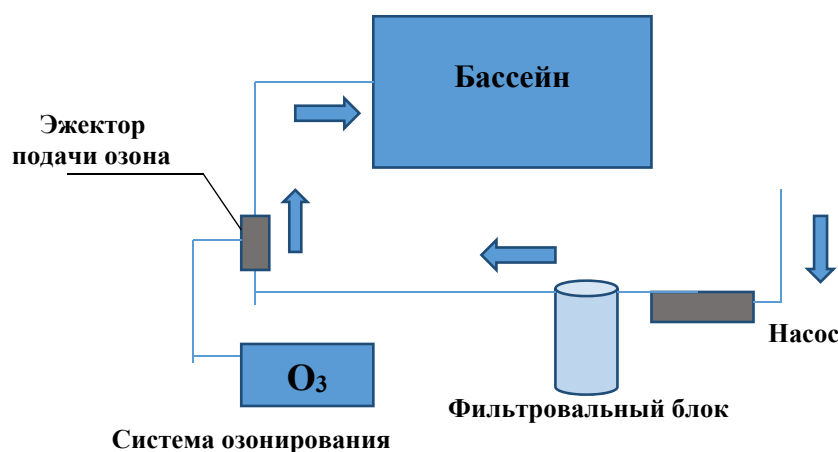


Рис. 2. Очистка водного бассейна с помощью системы озонирования

#### 5. Продовольственная промышленность.

Особое внимание на сегодняшний день уделяется возможностям использования озонных технологий в продовольственной сфере, та как инактивация патогенных микроорганизмов имеет первостепенное значение для пищевой промышленности. Методы озонирования играют огромную роль в организации системы транспортировки и хранения продуктов питания [14,17].

#### 6. Медицина

Некоторые современные исследования направлены на процесс озонной стерилизации средств индивидуальной защиты, а также на поиск других возможностей эффективного применения стерилизующих свойств озона на фоне пандемии COVID-19. Так как вирусы не способны восстанавливать окислительные повреждения, озонирование считается хорошим методом для их инактивации [8]. Кроме возможностей дезинфекции и стерилизации, предоставляемых современными озонными технологиями, необходимо изучать возможность терапевтического применения озона. Ведь несмотря на то, что озон является мощным окислителем, исследования демонстрируют, что он обладает парадоксальной активностью при взаимодействии с органическими молекулами, что создает выраженный противовоспалительный и антиоксидантный эффект [10].

#### 7. Оптимизация количественных и качественных параметров воздуха

Проблема очистки и дезодорации воздуха является актуальной, требующей технических решений с обязательным учетом экологических требований. Уже при незначительной концентрации озона ( $0,005-0,01 \text{ мг/м}^3$ ) воздух приобретает качество свежести. При этом безопасность системы обеспечивается за счет использования озоногенератора с ограничением уровня предельных концентраций озона на выходе устройства. При этом современное озонирование воздуха возможно производить сухим или влажным методом. В случае использования сухого метода озон поступает с помощью встроенных в систему приточной вентиляции генераторов озона. Принцип влажного метода заключается в том, что воздух обрабатывается озонированной водой в специальном отделе кондиционера или скруббера. Озонирование подавляет также и неприятные запахи (сульфаты, аммиак, сероводород). Процесс высокоэффективный (до

90%), происходит при малых дозах и в короткий промежуток времени. С помощью озонирования производится эффективная бактерицидная очистка воздуха от вирусов и бактерий, спор грибов и плесени. При этом эффективность процесса составляет 90–100%.

#### 8. Очистка выбросов

Выбросы от производственных процессов содержат значительные концентрации окиси азота, серы, летучую органику и т.д. Эффективность процесса очистки отходящих газов сегодня повышают с помощью специальных растворов, насыщенных озоном. Особенно эффективным использование водных растворов озона является для очистки выбросов и отходящих газов с очень высоким содержанием загрязняющих веществ на предприятиях химической, нефтехимической, пищевой, биологической промышленности, фармпроизводствах.

#### 9. Сельскохозяйственная деятельность

Современные озонные технологии, применяемые в различных сферах сельского хозяйства, за принципом воздействия можно разделить на два основных направления – стимуляция жизнедеятельности живых организмов (санация помещений) или же ее подавление (дезинфекция, очистка выбросов). Разница в эффекте обуславливается дозировкой озона, поэтому тщательный мониторинг предельно допустимых концентраций в этом случае является критическим фактором влияния озона.

Учитывая разнообразность направлений применения озонных технологий, можно утверждать, что свойства озона достойны максимального внимания к использованию не только для очистки питьевой воды, промышленных выбросов, стоков и специфической обработки воздуха. Важность и актуальность развития инфраструктуры применения озонной технологии для решения экологических проблем определяют необходимость проведения широкого круга фундаментальных и прикладных исследований в этом направлении и создания научно-технических основ озонной технологии для для всех отраслей народного хозяйства. В этой связи особую значимость приобретают вопросы разработки высокоэффективных генераторов озона для создания новых процессов и аппаратов озонной технологии [18, с. 194].

### Выводы

В исследовании удалось проанализировать многофакторность существующей системы применения процессов и аппаратов озонной технологии, изучить возможности оптимизации существующих технологических решений и ликвидации факторов риска, связанных с дозировкой применения. Разработаны основные векторы дальнейших исследований, обоснована необходимость систематизации научно-исследовательской и практической информации в области современных озонных технологий. Доказано, что озонирование в различных формах самого процесса являет собой оптимальную альтернативу классическим способам обеззараживания, стерилизации и обработки водной и воздушной среды, а также поверхностей. Широкомасштабное применение технологий дезинфекции, связанных с озоном, на сегодняшний день ограничивается недостаточным прогрессом в разработке автоматизированных систем, способных сократить время цикла дезинфекции, определить оптимальные требования к дозировке озона, то есть концентрации и времени воздействия, а также производить контроль применения во время операций по обеззараживанию.

Таким образом, внедрение современных процессов озонной технологии является одним из наиболее прогрессивных технологических процессов, направленным на создание экологически благоприятных условий жизнедеятельности общества и производственных процессов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Epelle E., Macfarlane A., Cusack M. et al. 2023. Ozone application in different industries: A review of recent developments. *Chemical Engineering Journal*. Vol.454, Part 2. p. 1385-1397.
2. Лунин В.В. и др. Физическая химия озона. М., МГУ, 1998, 480 с.
3. Бахтаев Ш.А., Боканова А.А., Бочкарева Г.В., Сыдыкова Г.К. Физика и техника коронноразрядных приборов. - Алматы, 2007, 278 с.

4. Botondi R., Barone M., Grasso C. 2021. A Review into the Effectiveness of Ozone Technology for Improving the Safety and Preserving the Quality of Fresh-Cut Fruits and Vegetables. *Foods*, №10(4). p. 748-754.
5. Xue W., Macleod J., Blaxland J. 2023. The Use of Ozone Technology to Control Microorganism Growth, Enhance Food Safety and Extend Shelf Life: A Promising Food Decontamination Technology. *Foods*, №12(4). p. 1-24.
6. Cristiano L. 2020. Could ozone be an effective disinfection measure against the novel coronavirus (SARS-CoV-2)? *J Prev Med Hyg.*, №61(3). p. 301-314.
7. Valdenassi L., Franzini M. et al. 2020. Potential mechanisms by which the oxygen-ozone therapy could contribute to the treatment against the coronavirus COVID-19. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.*, p. 4059-4061.
8. Thill S., Spaltenstein M. 2020. Toward Efficient Low-Temperature Ozone Gas Sterilization of Medical Devices. *Ozone Sci. Technol.*, №42. p. 386-398.
9. Guzel-Seydim Z., Greene A., Seydim A. 2004. Use of ozone in the food industry. *LWT – Food Sci. Technol.*, №37. p. 453-460.
10. Powell A., Scolding J. 2018. Direct application of ozone in aquaculture systems. *Rev. Aquac.*, №10. p. 424-438
11. Kim J., Yousef S. 1999. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: A review. *J. Food Prot.*, Vol. 62, № 9, p. 1071-1087.
12. Rosenblum J., Ge C. et al. 2012. Ozonation as a clean technology for fresh produce industry and environment: Sanitizer efficiency and wastewater quality. *J. Appl. Microbiol.*, p. 837-845.
13. Batagoda J., Hewage S., Meegoda J. 2018. Nano-ozone bubbles for drinking water treatment. *J. Environ. Eng. Sci.*, №14. p. 57-66.
14. Aslam R., Alam M., Saeed P. 2020. Sanitization Potential of Ozone and Its role in Postharvest Quality Management of Fruits and Vegetables. *Food Eng. Rev.*, p. 48-67.
15. Zhang T., Tao Y. et al. 2020. Study on the removal of aesthetic indicators by ozone during advanced treatment of water reuse. *J. Water Process Eng.*, № 36. p. 2-7.
16. Rekhate C., Srivastava J. 2020. Recent advances in ozone-based advanced oxidation processes for treatment of wastewater. *Chem. Eng. J. Adv.*, №3. p. 1-18.
17. Botondi R., Barone M., Grasso C. 2021. A review into the effectiveness of ozone technology for improving the safety and preserving the quality of fresh-cut fruits and vegetables. *Food*, №10. p. 748-775.
18. Бахтаев Ш.А., Сыдыкова Г.К., Коджабергенова А.К., Тойгожинова А.Ж. Коронный разряд на микроэлектродах. «Акмешіт Баспа үйі». 2019, 212 с.

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОЗОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ: ОБЗОР ПОСЛЕДНИХ РАЗРАБОТОК

Г.К.Сыдыкова, К.А.Гасанов, А.С.Бердышев

**Резюме.** В условиях увеличения антропогенной нагрузки на окружающую среду и, как результат, ухудшения экологической обстановки в мире, растет интерес к применению озона для очистки токсичных выбросов, обработки питьевой воды, в технологических процессах различных отраслей промышленности. Современные озонные технологии обладают высокими показателями эффективности применения, относительно небольшими расходами на внедрение и эксплуатацию установок, а также экологической безопасностью.

В процессе исследования изучены факторы влияния процессов озонирования на среду воздействия, проанализированы современные технологические разработки и решения для минимизации рисков, связанных с дозировкой применения озона, изучены возможности эффективного применения озонной технологии в различных сферах промышленности, рассмотрены примеры успешной адаптации инновационных разработок в сфере озонирования. Результаты исследования имеют существенную практическую значимость для повышения уровня критериев успешности процессов очистки, неразрывно связанных с производством, а также условий жизнедеятельности современного общества на фоне растущей необходимости экологизации процессов очистки и нейтрализации вредных веществ.

**Ключевые слова:** озон, обеззараживание, дозировка применения, стерилизация, дезодорация.

*Accepted: 12.12.2023*