

Дополнительные тесты на стойкость и устойчивость к внешним воздействиям позволяют подтвердить надежность и долговечность композитных материалов, что повышает их эффективность в различных условиях эксплуатации [3]. Важно продолжить исследования по оптимизации процесса производства композитных материалов, чтобы снизить затраты и улучшить качество получаемых изделий [4].

### Список литературы

- 1 Гутников, С. И. Стекланные волокна : учеб. пособие / С. И. Гутников, Б. И. Лазорьяк, А. Н. Селезнев. – М. : МГУ, 2010. – С. 27–39.
- 2 Каблов, Е. Н. Композиты: сегодня и завтра / Е. Н. Каблов // *Металлы Евразии*. – 2015. – № 1. – С. 36–39.
- 3 Первушин, Ю. С. Проектирование и прогнозирование механических свойств однонаправленного слоя из композиционного материала : учеб. пособие / Ю. С. Первушин, В. С. Жернаков. – Уфа : Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2002. – 127 с.
- 4 Голубенкова, Л. И. Армированные полимерные материалы / Л. И. Голубенкова ; под ред. З. А. Роговина, П. М. Валецкого, М. Л. Карбера. – М. : Мир, 1968. – 244 с.
- 5 Михайлин, Ю. А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. / Ю. А. Михайлин. – СПб. : Научные основы и технологии, 2015. – 102 с.
- 6 Кудина, Е. Ф. Защита газонефтепроводов от внешних повреждений. Ч. 1. Полимерные материалы (обзор) / Е. Ф. Кудина // *Нефтяник Полесья*. – 2013. – № 2 (24). – С. 88–93.
- 7 Акустические композиты и шумопоглощающие конструкции. Ч. 1. Экологически безопасные компоненты и нанонаполнители / С. Н. Бухаров [и др.] // *Полимерные материалы и технологии*. – 2021. – Т. 7, № 1. – С. 6–22.

### IMPROVING THE MECHANICAL PROPERTIES OF REACTOPLASTICS BY ADDING FIBERGLASS

S. YU. KONOVALOV, E. F. KUDINA

*Belarusian State University of Transport, Gomel*

УДК 648.6

### ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕЗИНФЕКЦИИ СООРУЖЕНИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЗОНА

*Н. Г. КОРОБ, М. А. КОМАРОВ, А. В. ПОСПЕЛОВ*

*Белорусский государственный технологический университет, г. Минск  
korob@belstu.by*

**Актуальность.** Большинство источников водоснабжения являются естественной средой обитания для микроорганизмов. Значительная их часть уничтожается в процессе водоподготовки, однако небольшое количество может уцелеть. В настоящее время большинство дезинфицирующих средств вклю-

чают в себя хлорсодержащие растворы [1, 2]. Выявлено, что недостатками методов хлорирования являются недостаточная эффективность дезинфекции, необходимость удаления и обезвреживания использованного раствора после процедуры, высокие дозы активного хлора, высокая токсичность самого хлора и других хлорсодержащих агентов, а также высокая коррозионная активность раствора. Эти недостатки также включают продолжительность времени обработки и, следовательно, простоя сооружений, а также необходимость дехлорирования использованных растворов. Для устранения указанных недостатков предлагается применять водный раствор озона в качестве дезинфицирующего средства. Это позволит упростить процесс, повысить эффективность дезинфекции, сократить время обработки и, соответственно, время простоя скважины. Кроме того, использование озона более экологически безопасно, оказывает меньшее коррозионное воздействие на металлические части сооружений и сетей [3–5].

**Цель работы** – разработать экологичные и высокоэффективные способы дезинфекции сооружений водоснабжения.

**Основные результаты.** Разработка технологических подходов к использованию озона для дезинфекции включает в себя несколько ключевых этапов, которые необходимо учитывать при разработке таких технологий.

В работах [4, 5] показано, что озон может быть использован в качестве дезинфицирующего вещества для инактивации патогенной микрофлоры с различных поверхностей. Кроме этого, за счет меньшего времени обработки с использованием озона (15–20 мин) по сравнению с хлорсодержащими растворами (8–24 часов), использование растворенного озона будет вызывать меньшую коррозию стальных поверхностей. Таким образом, при оптимально подобранном оборудовании для генерации и подачи озона в воду, времени обработки и концентрации озона, можно достичь эффективной дезинфекции. Озон имеет высокий окислительно-восстановительный потенциал, равный 2,07 В (для сравнения у  $\text{Cl}_2$  – 1,36 В, у  $\text{O}_2$  – 1,23 В), что является главной причиной его активности по отношению к различного рода загрязнениям воды, включая широкий спектр вирусов: (SARS-CoV-1, MCoV, HSV-1 and BoHV1, HAV, Poliovirus Type 1), bacteria (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus hirae*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Aerococcus* et al.), fungi (*Microsporium canis*, *Microsporium gypseum*, *Trichophyton rubrum*, *Trichophyton interdigitale*, *Candida albicans*, *Aspergillus brasiliensis*). В связи с этим он является сильным окислительным и дезинфицирующим средством, применяемым при подготовке питьевой воды [1–3].

Безусловно, недостатком озонирования является отсутствие консервирующего эффекта и, следовательно, опасность последующего инфицирования объема воды. Однако для быстрой и эффективной дезинфекции поверхности озон представляет прекрасную перспективу.

Перед проектированием установки дезинфекции с использованием озона необходимо определить целевые микроорганизмы, которые требуется инак-

тивировать на поверхностях, оценить их чувствительность к озону, чтобы определить необходимые концентрации и время обработки. Проведенные исследования показывают высокую эффективность озона в сравнении с хлорсодержащими дезинфицирующими веществами.

Необходимо выбирать генератор озона, который может создавать достаточное количество озона для эффективной дезинфекции. В связи с этим генераторы, работающие на кислороде, дают большую концентрацию озона в газовой смеси на выходе. Нами установлено, что концентрации озона в воде 0,5 мг/л достаточно для проведения эффективной дезинфекции. При этом в зависимости от объемов, насыщаемой озоном воды, могут использоваться как промышленные, так и небольшие генераторы. При этом могут использоваться как стационарные системы, так и мобильные генераторы, например, для дезинфекции водозаборных скважин и т. п.

Озон относится к веществам первого класса опасности, поэтому при проектировании установок по насыщению воды озоном необходимо обеспечить максимальное его поглощение или повторное использование озоновооздушной смеси с целью максимально эффективного использования озона.

Как видно на рисунке 1, пузырьки имеют разные свойства в зависимости от их размера. В частности, крупные пузырьки, известные как макропузырьки, быстро поднимаются прямо к поверхности жидкости, где они лопаются. По сравнению с обычными большими пузырьками, микропузырьки обладают несколькими интересными особенностями, такими, как более долгое нахождение в водных растворах из-за низкой скорости подъема и большей площади границы раздела газ – жидкость и, что наиболее важно, образование гидроксильных радикалов при их коллапсе, что обеспечивает окислительную способность, и что делает растворение проще. С уменьшением размера пузырьков увеличивается массоперенос, уменьшается скорость подъема пузырьков, увеличиваются устойчивость и энергия схлопывания пузырька.

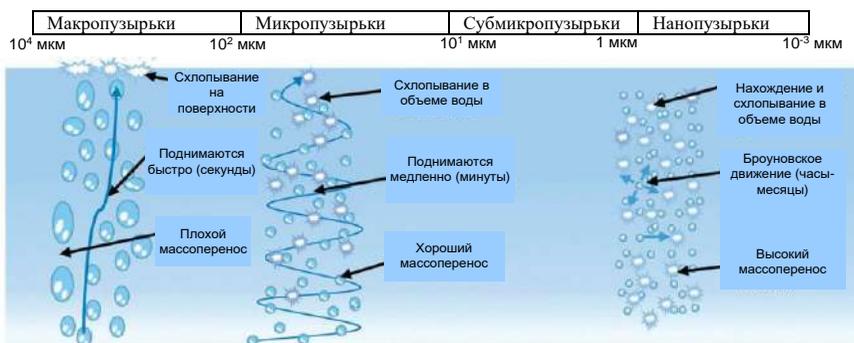


Рисунок 1 – Влияние размеров газовых пузырьков на их свойства в жидкости

Размеры пузырьков газа, образующиеся при использовании керамических аэраторов, составляют до 5 мм, и в случае поднятия роя пузырьков при размерах до 3 мм скорость всплытия составляет до 20 см/с, и при размерах 3–5 мм остается 20 см/с. В связи этим можно представить график зависимости времени поднятия пузырьков газа от высоты столба жидкости (рисунок 2). Как видно из графика, при обработке воды в скважине лимитирующим по времени процессом является время поднятия пузырьков газовой смеси диаметром менее 2,5 мм. Для пузырьков данного интервала диаметров и высоте слоя жидкости (в скважине) более 150 м будет наблюдаться полное разложение озона прежде, чем газовые пузырьки достигнут поверхности.

В таких случаях можно предложить проводить обработку в два этапа, разбив высоту столба жидкости на 2 и начиная с обработки с нижней отметки перейти на обработку на отметке выше. Например, при высоте слоя жидкости 200 м обработать скважину в фильтровой зоне, а затем на глубине 100 м от статического уровня. Таким образом, для скважин глубиной менее 150 м обработку следует производить в одну стадию. И в том, и в другом случае после прекращения подачи озона в скважину ее следует выдержать закрытой в течение не менее 20 минут для обеспечения полной деструкции озона, а также обеспечения дезинфекции скважины от статического уровня до оголовка.

Также важным аспектом является тот, что деструкция озона в воде происходит достаточно быстро. Период его полураспада зависит от температуры и составляет около 20 мин при температуре воды 20 °С.

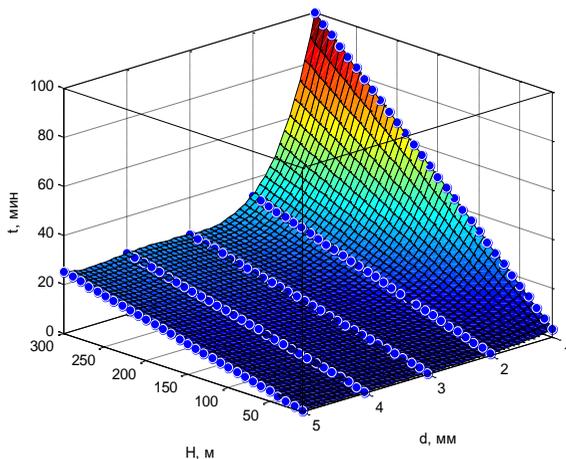


Рисунок 2 – Расчетное время поднятия пузырьков газа от их размера и высоты слоя жидкости

С точки зрения работы с веществом первого класса опасности это является положительным фактором, так как достаточно продержат его в системе около 30–40 мин, чтобы обеспечить полную деструкцию. С другой стороны, это значительно ограничивает границы его использования, например в случае дезинфекции трубопроводов. Однако известно, что подкисляя воду, на-пример углекислым газом, можно продлить период полураспада до 1–2 часов. Кроме этого, следует учитывать, что разложение газообразного озона в растворенной форме зависит от нескольких факторов – наличия неорганических ионов, природы обрабатываемой среды/поверхности, температуры и pH воды, и характеризуется сложными реакциями, возникающими спонтанно, что может значительно затруднять оценку механизма деструкции растворенного в воде озона.

**Выводы.** Дезинфекция поверхностей сооружений водоснабжения с использованием озона позволяет повысить эффективность дезинфекции, снизить время обработки и, соответственно, время простоя сооружений, а также значительно снизить негативное воздействие на окружающую среду.

#### Список литературы

1 Comparative Analysis of the Disinfection Efficiency of Steel and Polymer Surfaces with Aqueous Solutions of Ozone and Sodium Hypochlorite / V. Romanovski [et al.] // *Water*. – 2024. – Vol. 16, no. 5. – P. 793.

2 **Рымовская, М. В.** Воздействие отработанных растворов дезинфекции сооружений водоснабжения на почву / М. В. Рымовская, В. И. Романовский // *Труды БГТУ. Химия и технология органических веществ*. – 2016. – № 4 (186). – С. 214–219.

3 Коррозия нержавеющей сталей в хлорсодержащих дезинфицирующих растворах / А. В. Поспелов [и др.] // *Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология*. – 2021. – № 2 (125). – С. 63–65.

4 Коррозия углеродистых сталей в дезинфицирующих растворах / А. В. Поспелов [и др.] // *Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F. Строительство. Прикладные науки*. – 2022. – Т. 14. – С. 89–93.

5 Коррозия нержавеющей сталей в дезинфицирующих растворах / А. В. Поспелов [и др.] // *Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F. Строительство. Прикладные науки*. – 2023. – Т. 1 (33). – С. 90–93.

#### **PRACTICAL ASPECTS OF DISINFECTION OF WATER SUPPLY FACILITIES USING OZONE**

*N. G. KOROB., M. A. KAMAROU, A. V. PASPELAU*

*Belarusian State Technological University, Minsk*