

УДК 628.162

В. И. Романовский¹, В. В. Лихавицкий¹, М. В. Рымовская¹, А. Д. Гуринович²¹Белорусский государственный технологический университет²Белорусский национальный технический университет**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
ДЕЗИНФЕКЦИИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ
ОЗОНОМ СООРУЖЕНИЙ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

В работе проанализированы существующие методы дезинфекции водозаборных скважин и сооружений питьевого водоснабжения с использованием хлорсодержащих дезинфицирующих веществ. Описаны достоинства и недостатки перспективных методов дезинфекции с использованием озона. Определены рекомендуемые значения следующих параметров: время обработки, концентрация озона в газовой смеси, расход озона, расход газовой смеси. Значения исследуемых параметров при обработке воды: время обработки – 15, 30, 45, 60 мин, концентрация озона в газовой смеси – 35, 45, 55 г/м³.

При выборе рекомендуемых параметров обработки учтены такие факторы, как скорость насыщения воды озоном, содержание остаточного озона в воде от поступившего в систему, динамика разложения озона в воде, время, необходимое для достижения 100%-ной инактивации исследуемых штаммов бактерий, зависимость остаточной концентрации озона от концентрации озона в газовой смеси, расхода газовой смеси. Проведен сравнительный анализ эффективности дезинфекции хлорсодержащих дезинфицирующих растворов и раствора озона в воде на различные штаммы микроорганизмов в условиях эксплуатации.

На основании представленных результатов предложены рекомендуемые параметры для выбора генератора озона для предложенной схемы дезинфекции.

Ключевые слова: дезинфекция, обеззараживание, озон, водоснабжение, сооружения, параметры, обработка.

V. I. Ramanouski¹, V. V. Likhavitski¹, M. V. Rymovskaia¹, A. D. Hurynovich²¹Belarusian State Technological University²Belarusian National Technical University**DETERMINATION OF THE MAIN PARAMETERS OF DISINFECTION
OF DRINKING WATER SUPPLY FACILITIES BY OZONE**

This paper analyzes the existing techniques of disinfection of water wells and drinking water facilities using chlorine-containing disinfectants. The advantages and disadvantages of the promising methods of disinfection by ozone using have been described in the paper.

To achieve this goal the recommended values of such parameters as the processing time, the concentration of ozone in the gas mixture, flow rate of ozone, gas mixture flow have been determined. Such values of the investigated parameters in the water treatment as the concentration of ozone in the gas mixture (35, 45, 55 g/m³) and the processing time (15, 30, 45, 60 min) have also been determined.

The selection of recommended processing parameters, such factors as the results of studies of the kinetics of ozone water saturation, determination of residual ozone in the water from the incoming in system, the dynamics of ozone decomposition in water, as well as the time required to achieve 100% inactivation of the studied strains of bacteria, the dependence residual ozone concentration of ozone in the gas mixture, the gas mixture flow have been taken into account. To determine the optimal parameters of disinfection depending on the treatment parameters, the regularities presented in the form of equations have been established.

The recommended settings to select an ozone generator have been suggested on the basis of these results for proposed scheme of disinfection.

Key words: disinfection, ozone, water treatment, construction, parameter, processing.

Введение. Обеззараживание воды применяется для устранения в ней болезнетворных и иных микроорганизмов и вирусов, из-за наличия которых вода становится непригодной для питья, хозяйственных нужд или промышленных целей. При этом дезинфекция инженерных сетей и сооружений является одним из видов

обеззараживания и представляет собой комплекс мероприятий, направленных на уничтожение возбудителей инфекционных заболеваний и разрушение токсинов на поверхности объектов используемых систем.

Согласно действующим нормативным документам, в Республике Беларусь дезинфекция

стволов скважин, резервуаров чистой воды и трубопроводов питьевого водоснабжения проводится хлорсодержащими веществами. При этом на практике отдают предпочтение хлорной извести и гипохлориту натрия, в редких случаях используют жидкий хлор и новые хлорсодержащие препараты.

В среднем за год в Республике Беларусь используется около 20 т хлорной извести, 30 м³ гипохлорита натрия и 0,5 т хлорсодержащего препарата «Акватабс».

Наряду с хлорсодержащими дезинфицирующими средствами широкое распространение в процессах водоподготовки в последние годы получил озон [1–4]. В табл. 1 представлены результаты анализа различных способов обеззараживания и дезинфекции, применяемых в различных странах [5].

Авторами [6, 7] предложены технологии использования озона для дезинфекции водозаборных скважин и сооружений питьевого водоснабжения взамен используемых в настоящее время хлорсодержащих реагентов. Промышленно выпускаемые генераторы озона отличаются сырьевым газом, в качестве которого может выступать чистый кислород в баллонах или воздух, а также концентрацией озона в газовой смеси, расходом газовой смеси.

Цель работы – определение основных параметров обработки водозаборных скважин и сооружений питьевого водоснабжения озоном с целью дезинфекции и обеззараживания.

Для достижения поставленной цели определены рекомендуемые значения следующих параметров: время обработки, концентрация озона в газовой смеси, расход озона, расход газовой смеси.

Основная часть. Для определения растворимости озона в воде по высоте столба жидкости была собрана экспериментальная установка, которая представляет собой пластиковую трубу диаметром 0,3 м и высотой 5 м. В трубе предусмотрены штуцера для отбора проб с шагом 1 м. Штуцер для подвода озоногазовой смеси расположен в нижней части колонны.

Вода для эксперимента подавалась в колонну из водозаборных скважин (водозабор Юровцы, г. Белосток, Польша). Температура воды в ходе эксперимента составляла 10–12°C.

Для генерации озона при проведении исследований использовался озонатор фирмы Finnegan-Reztek (США).

Определение концентрации озона в воде проводили по ГОСТ 18301–72 «Вода питьевая. Методы определения содержания остаточного озона». Чувствительность метода 0,05 мг О₃/л.

Таблица 1

Сравнительный анализ применения различных дезинфектантов в разных странах мира

Страна	Cl ₂	ClO ₂	NH ₂ Cl	O ₃	UV
Австралия	+++	+	++	–	+
Австрия	+++	+		+	+
Бельгия	+++	+	–	+	
Болгария	+++	–	–	–	+
Китай	+++	–	–	+	–
Чехия	+++	–	–	+	–
Финляндия	+++	+	+	+	–
Франция	++	++	–	++	–
Испания	+++	+	–	++	–
Ирландия	+++	–	–	+	–
Япония	+++	–	–		–
Германия	+++	+++	–	++	+
Норвегия	++	–	+	–	++
Польша	+++	+	+	+	–
Южная Африка	+++	–	+	+	–
Швейцария	+	++	–	++	++
Швеция	+++	+	++	–	–
США	+++	+	+	+	+
Венгрия	+++	–	+	+	–
Великобритания	+++	+	+	–	+
Италия	+++	+++	–	–	–

Примечание. +++ – преимущественно используется; ++ – встречается; + – редко используется; – – не используется.

В ходе эксперимента задавались следующие параметры обработки воды: концентрация озона в газовой смеси – 35, 45, 55 г/м³; время обработки – 15, 30, 45, 60 мин; расход газовой смеси – 700 л/ч.

В качестве тест-организмов для определения эффективности дезинфекции использовались бактерии из коллекции кафедры биотехнологии и биоэкологии БГТУ: *Clostridium sp.* (сульфит-редуцирующие бактерии, грамположительные, облигатные анаэробы, палочки, спорообразующие; присутствие их в водопроводной воде указывает на недостаточный уровень дезинфекции); *Pseudomonas fluorescens* (грамотрицательные, аэробные, неспорообразующие бактерии, способны к деградации галогенсодержащих органических веществ, синтезируют зеленоватый пигмент, способствующий хорошей визуализации колоний); *Escherichia coli* (грамотрицательная палочковидная бактерия, широко встречается в нижней части кишечника теплокровных организмов, факультативный анаэроб, не образует эндоспор; является показателем вторичного загрязнения водопроводной воды бытовыми сточными водами).

Для проведения микробиологических исследований использовался экспериментальный озонатор фирмы ООО «РовалантСпецСервис» [8] с выходной концентрацией озона в газовой смеси 2,6 г/м³.

Математическая обработка результатов экспериментов производилась с помощью программного пакета MathLab.

Результаты и обсуждение. Время насыщения определяли на основании результатов исследований кинетики насыщения воды озонем, определения содержания остаточного озона в воде от поступившего в систему, динамики разложения озона в воде, а также времени, необходимого для достижения 100%-ной инактивации исследуемых штаммов бактерий.

На основании данных, приведенных в источнике [7], а также результатов расчета доли остаточного озона в воде от поступившего в систему (рис. 1), можно сделать вывод, что рекомендуемое время обработки составляет 25 мин.

Как показали исследования по определению кинетики разложения озона по высоте столба жидкости, около 96% его разлагается по прошествии 20 мин (рис. 2).

Результаты изучения эффективности обеззараживания водопроводной воды хлорсодержащими реагентами показали, что при рекомендуемых СанПиН условиях обработки (6 ч при концентрациях активного хлора 50–100 мг/л) обеспечивалось 100%-ное обеззараживание воды для всех исследованных тест-организмов из коллекции кафедры биотехнологии и биоэколо-

гии БГТУ. Уменьшение времени воздействия до 0,5–1,5 ч привело к снижению эффективности обеззараживания гипохлоритом натрия воды, загрязненной бактериями *E. coli*, на 0,5–1,0%, тогда как эффективность воздействия хлорной извести сохранялась. Такие же закономерности наблюдались и при использовании хлорсодержащих дезинфицирующих веществ на бактериях *Clostridium sp.* и *Pseudomonas fluorescens*.

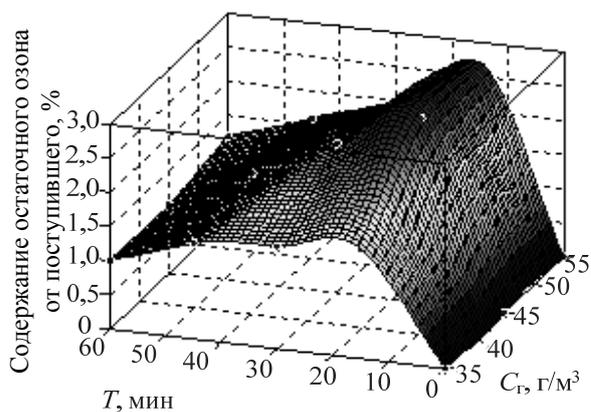


Рис. 1. Содержание остаточного озона от поступившего в воде по высоте столба жидкости при различной исходной концентрации его в газовой смеси

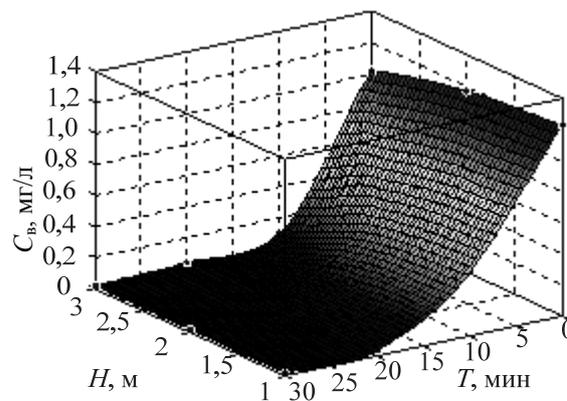


Рис. 2. Деструкция растворенного озона в воде по высоте столба жидкости

Результаты изучения эффективности дезинфекции озонем по исследуемым бактериям представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что оптимальное время обработки, необходимое для достижения 100%-ной инактивации исследуемых микроорганизмов, составляет менее 5 мин.

Время дезинфекции будет лимитироваться скоростью растворения озона в воде до достижения требуемой минимальной концентрации. На время насыщения также будет оказывать влияние расход газовой смеси и концентрация озона в ней.

Таблица 2
Эффективность дезинфекции озонном, %

Расход газа, л/мин	Время обработки, мин			
	0,33	0,66	1	5
<i>Escherichia coli</i>				
13,2	30,8	68,1	100,0	100,0
8,8	30,8	57,7	100,0	100,0
4,4	3,8	26,9	98,7	100,0
<i>Clostridium sp.</i>				
13,2	99,8	99,9	100,0	100,0
8,8	70,8	87,0	99,8	100,0
4,4	48,9	67,6	98,4	100,0
<i>Pseudomonas fluorescens</i>				
13,2	76,4	92,0	98,9	100,0
8,8	48,3	78,7	93,0	100,0
4,4	28,0	61,2	76,5	100,0

Что касается расхода газовой смеси, то (при соблюдении равных условий диспергирования) чем он больший, тем будет большая эффективность растворения озона в воде за счет увеличения поверхности массообмена в виде поверхности пузырьков газа и, соответственно, тем меньшее время обработки потребуется.

Согласно [9], размеры пузырьков газа, образующиеся при использовании керамических аэракторов, составляют до 5 мм.

Для определения оптимальной концентрации озона в газовой смеси использовались резуль-

таты эксперимента при времени насыщения 15 мин. Они представлены на рис. 3.

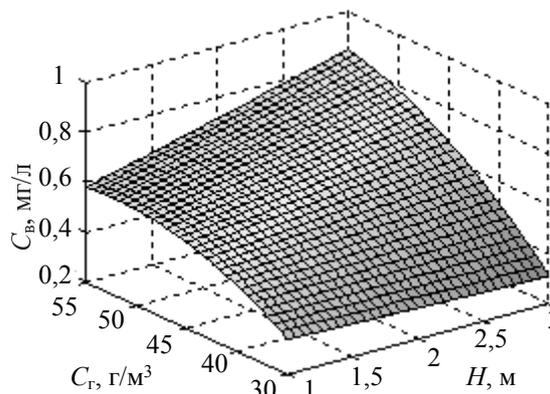


Рис. 3. Зависимость концентрации озона в воде от концентрации озона в газовой смеси и высоты слоя жидкости

На основании полученных в данной работе результатов можно сделать вывод, что рекомендуемым является использование озонаторов работающих на воздухе, как сырьевом газе, с концентрацией озона в газе более 45 г/м³.

Закключение. В условиях эксплуатации преимущественным является использование озонаторов, работающих на воздухе как сырьевом газе, с концентрацией озона в газе более 45 г/м³, а рекомендуемое время обработки сооружений водоснабжения составляет 20–25 мин.

Литература

1. Italian Regulation. ACCORDO tra Ministro della Salute, le Regioni e le Province Autonome di Trento e Bolzano, sugli aspetti igienico sanitari concernenti la costruzione, la manutenzione e la vigilanza delle piscine ad uso natatorio. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, del. 3.3.2003, n. 51.
2. Rossi G., Comuzzi C., Barbone F., Goi D. Experimental tests for ozone disinfection treatment in a small backyard swimming-pool. J. Waste water treatment analysis 1:105, vol. 1, issue 2, p. 126.
3. Tripathi S., Tripathi D. M., Tripathi B. D. Removal of organic content and color from secondary treated wastewater in reference with toxic potential of ozone during ozonation. Hydrol current, res. 2, p. 111.
4. Christopher R. Schulz, Stephen R. Lohman. Method and apparatus for ozone disinfection of water supply pipelines. Patent US, no. 20050249631, 2005.
5. Leszczyński A. Ocena efektywnosci dezynfekcji studni glebinowych i ruociagow metoda ozonowania: praca dyplomowa magisterska. Bialystok, 2013. 121 s.
6. Ramanouski V. I., Hurynovich A. D., Chaika Y. N., Wawzhenyuk P. Ozone disinfection of water intake wells and pipelines of drinking water supply systems // Proceedings of BSTU. Chemistry and technology of inorganic substances. 2013. No. 3. Pp. 51–56.
7. Романовский В. И., Гуринович А. Д., Вавженок П. Эффективность использования озона в технологии водоподготовки // Водоочистка. 2014. № 2. С. 66–70.
8. Дмитриев С. М., Кондратьев М. П. Генератор озона: пат. Респ. Беларусь. № 2003040115; заявл. 04.01.03; опубл. 30.06.05. Бюл. № 2. С. 54.
9. Сандер М. Техническое оснащение аквариума. М.: Издательство Астрель, 2004. 256 с.

References

1. Italian Regulation. ACCORDO tra Ministro della Salute, le Regioni e le Province Autonome di Trento e Bolzano, sugli aspetti igienico sanitari concernenti la costruzione, la manutenzione e la vigilanza delle piscine ad uso natatorio. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, del. 3.3.2003, n. 51.

2. Rossi G., Comuzzi C., Barbone F., Goi D. Experimental tests for ozone disinfection treatment in a small backyard swimming-pool. *J. Waste Water Treatment Analysis* 1:105, vol. 1, issue 2, p. 126.

3. Tripathi S., Tripathi D. M., Tripathi B. D. Removal of organic content and color from secondary treated wastewater in reference with toxic potential of ozone during ozonation. *Hydrol current*, res. 2, p. 111.

4. Christopher R. Schulz, Stephen R. Lohman. Method and apparatus for ozone disinfection of water supply pipelines. Patent US, no. 20050249631, 2005.

5. Leszczyński A. Ocena efektywności dezynfekcji studni glebinowych i rurowodów metoda ozonowania: praca dyplomowa magisterska. Białystok, 2013. 121 s.

6. Ramanouski V. I., Hurynovich A. D., Chaika Y. N., Wawzhenyuk P. Ozone disinfection of water intake wells and pipelines of drinking water supply systems. *Proceedings of BSTU. Chemistry and technology of inorganic substances*, 2013, no. 3, pp. 51–56.

7. Ramanouski V. I., Hurynovich A. D., Wawzhenyuk P. The effectiveness of the ozone use in water treatment technology. *Vodoochistka* [Water treatment], 2014, no. 2, pp. 66–70 (in Russian).

8. Dmitriev C. M., Kondrat'ev M. P. *Generator ozona* [Ozone generator]. Patent BY, no. 2003040115, 2005.

9. Sander M. *Tekhnicheskoe osnashchenie akvariuma* [Technical equipment of aquarium]. Moscow, Publisher Astrel, 2004. 256 p.

Информация об авторах

Романовский Валентин Иванович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры промышленной экологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: V.Romanovski@yandex.ru

Лихавицкий Виталий Викторович – ассистент кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: likh@tut.by

Рымовская Мария Васильевна – кандидат технических наук, ассистент кафедры биотехнологии и биоэкологии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: rymovskaya_mv@mail.ru

Гуринович Анатолий Дмитриевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры экономики строительства. Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, Республика Беларусь). E-mail: Gurik@bk.ru

Information about the authors

Ramanouski Valiantsin Ivanavich – Ph. D. Engineering, senior lecturer, Department of Industrial Ecology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: V.Romanovski@yandex.ru

Likhavitski Vitaliy Viktorovich – assistant, Department of Automation of Production Process and Electrical Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: likh@tut.by

Rymovskaya Marya Vasil'evna – Ph. D. Engineering, assistant, Department of Biotechnology and Bioecology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rymovskaya_mv@mail.ru

Hurynovich Anatoliy Dmitrievich – D. Sc. Engineering, professor, professor, Department of Construction Economics. Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosty Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Gurik@bk.ru

Поступила 20.02.2015