

УДК 628.544

DOI 10.52928/2070-1683-2022-32-14-89-93

КОРРОЗИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ РАСТВОРАХ

*А.В. ПОСПЕЛОВ¹, канд. хим. наук, доц. И.В. МАЦУКЕВИЧ²,
канд. хим. наук А.А. КАСАЧ³, М.А. КОМАРОВ⁴, С.Н. РОЖКО⁵
(Белорусский государственный технологический университет, Минск^{1, 3, 4},
ИОНХ НАН Беларуси, Минск², ИЖКХ НАН Беларуси, Минск⁵)
pospelov.ip@gmail.com¹, irinavas.k1975@gmail.com², kasach2018@bk.ru³,
makkom1995@gmail.com⁴, svetlana89rozhko@gmail.com⁵*

Дезинфекция различных поверхностей используется повсеместно в разных областях человеческой деятельности. Особую актуальность дезинфекция поверхностей приобрела в последние годы. Однако в процессе дезинфекции применяются растворы с высокими концентрациями действующих веществ. Наиболее распространенные вещества для дезинфекции – хлорсодержащие. Среди них наиболее часто используются гипохлориты натрия, кальция и хлорная известь. В процессе дезинфекции поверхностей происходит разрушение материалов обрабатываемых поверхностей. Это может приводить не только к миграции вымываемых металлов, но и к разрушению материалов и конструкций. В качестве альтернативного варианта дезинфицирующего вещества в статье рассмотрены растворы озона в воде. Озон активно используется для обеззараживания воды, однако для дезинфекции поверхностей он не нашел широкого применения. В статье исследовано коррозионное воздействие дезинфицирующих веществ на углеродистые стали Ст3 и 08. Для исследований использовали хлорсодержащие растворы в концентрации 2 мас.% в пересчете на гипохлорит ион и насыщенную озонем воду в качестве альтернативного варианта дезинфицирующего раствора. Результаты исследований показали, что наибольшее коррозионное воздействие на исследуемые нержавеющие стали оказывают хлорсодержащие растворы, среди которых, в свою очередь, наибольшее коррозионное воздействие оказывает раствор гипохлорита натрия. Использование насыщенной озонем воды характеризуется наименьшими значениями токов коррозии.

Ключевые слова: дезинфекция, углеродистые стали, коррозия.

Введение. Для дезинфекции поверхностей могут использоваться различные вещества. Обработка хлорсодержащими веществами с целью дезинфекции до сих пор используется во всем мире [1; 2]. В списке веществ, рекомендованных ВОЗ, наибольшую долю занимают хлорсодержащие вещества, среди которых значительную часть занимают растворы, содержащие гипохлорит натрия. Эффективность дезинфицирующих средств для инактивации различных видов микроорганизмов и вирусов оценивают по критерию С·Т (концентрация, умноженная на время), рекомендованному ВОЗ. Величина этих критериев зависит от вида дезинфицирующего средства, вида микроорганизмов, подлежащих инактивации, температуры и концентрации основного компонента и времени обработки [3]. Поскольку время обработки должно быть как можно короче, концентрация дезинфицирующего средства обычно высока. При обработке поверхностей высококонцентрированными растворами с целью дезинфекции происходит их разрушение [4–6]. В качестве альтернативы хлорсодержащим дезинфицирующим веществам рассматривается использование озона, растворенного в воде [7–9]. Озон активно используется для обеззараживания воды, однако для дезинфекции поверхностей он не нашел широкого применения. В ряде работ было показано, что несмотря на то, что озон является более сильным окислителем, чем гипохлорит ион, его использование не приводит к значительному разрушению материалов [4–6]. Это связано в первую очередь с очень низкими значениями критерия С·Т для озона в сравнении с хлорсодержащими реагентами. Эти различия достигают до 2000 раз для некоторых микроорганизмов. В нескольких работах проведен сравнительный анализ эффективности дезинфекции по ряду технических, экологических и экономических показателей¹ [10–13], показывающих целесообразность использования данного подхода.

Задачей данной работы было определить скорость коррозии углеродистых сталей Ст3 и 08, провести сравнительный анализ коррозионного воздействия хлорсодержащих веществ и насыщенной озонем воды на углеродистые стали.

Методология исследований. Для исследований выбраны углеродистые стали Ст3 и 08. Также для исследования были взяты растворы гипохлорита натрия, гипохлорита кальция, хлорамина Б и растворенного озона в воде. Исследуемая концентрация хлорсодержащих реагентов 2 мас.% активного хлора. Данные концентрации дезинфицирующих веществ широко используются на практике. Озон получали с использованием озонатора Pinus longaeva F1 (Китай). Концентрация озона на выходе составляла 1,0 г/м³, а скорость потока была 10 л/мин, в результате чего максимальная концентрация озона составляла 0,3 г/л в объеме 1 л после 30-минутной обработки, что соответствует минимальной рекомендуемой концентрации для дезинфекции поверхности.

¹ Романовский, В.И. Сравнительный анализ способов дезинфекции водозаборных скважин и сооружений водоснабжения / В.И. Романовский, Ю.Н. Бессонова // Перспективы развития и организационно-экономические проблемы управления производством : материалы междунар. науч.-техн. конф. : в 2 т. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск : Право и экономика, 2015. – Т. 1. – С. 211–226.

Электрохимические исследования проводили в стандартной трехэлектродной электрохимической ячейке на потенциостате/гальваностате Metrohm Autolab PGSTAT 302N. В рамках электрохимических исследований измеряли потенциал открытого контура в течение 30 мин, а также выполняли последующие измерения потенциодинамическим методом со скоростью 1 мВ/с с -200 до $+1200$ мВ.

Потерю массы образцов сталей 03 и 08 проводили после 24 часов нахождения образцов в растворах.

Морфологию поверхности и состав поверхности определяли до и после обработки с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) JEOLJSM-5610LV, оснащенного системой химического микроанализа (ЭДС).

Основная часть. Потенциал открытого контура с течением времени измерялся в течение 30 минут для различных выбранных дезинфицирующих веществ (рисунок 1). Для всех исследуемых растворов потенциал открытого контура снижался с течением времени. Однако для стали 3 в воде и растворенном озоне в воде в течение нескольких минут наблюдалось увеличение потенциала, что, вероятно, связано с образованием оксидной пленки на поверхности исследуемых образцов. Наиболее низкие показатели потенциалов наблюдаются у хлорсодержащих растворов. Эта тенденция в наибольшей степени проявлялась для растворов гипохлорита натрия и кальция. По прошествии пяти минут потенциал стабилизировался в хлорсодержащих растворах. Похожие закономерности наблюдаются и на графиках потенциодинамических кривых (рисунок 2). Как следует из полученных данных, обработка хлорсодержащими дезинфицирующими веществами привела к самым высоким значениям плотности тока коррозии в сравнении с водой и насыщенной озонной водой. Наименьшую плотность токов коррозии показали стали в растворах озона $5,4 \cdot 10^{-8}$ и $5,0 \cdot 10^{-8}$ А/см² соответственно для стали 3 и 08. Данные значения близки к значениям плотности тока коррозии в водопроводной воде $3,5 \cdot 10^{-7}$ и $3,3 \cdot 10^{-7}$ А/см² соответственно для стали 3 и 08. Наибольшую плотность токов коррозии показали стали во всех хлорсодержащих растворах. При этом для растворов гипохлорита натрия они оказались максимальными $8,2 \cdot 10^{-5}$ и $5,6 \cdot 10^{-5}$ А/см² соответственно для стали 3 и 08. Таким образом, плотность тока коррозии при обработке озонном была в 1518 раз ниже по сравнению с обработкой в растворе гипохлорита натрия.

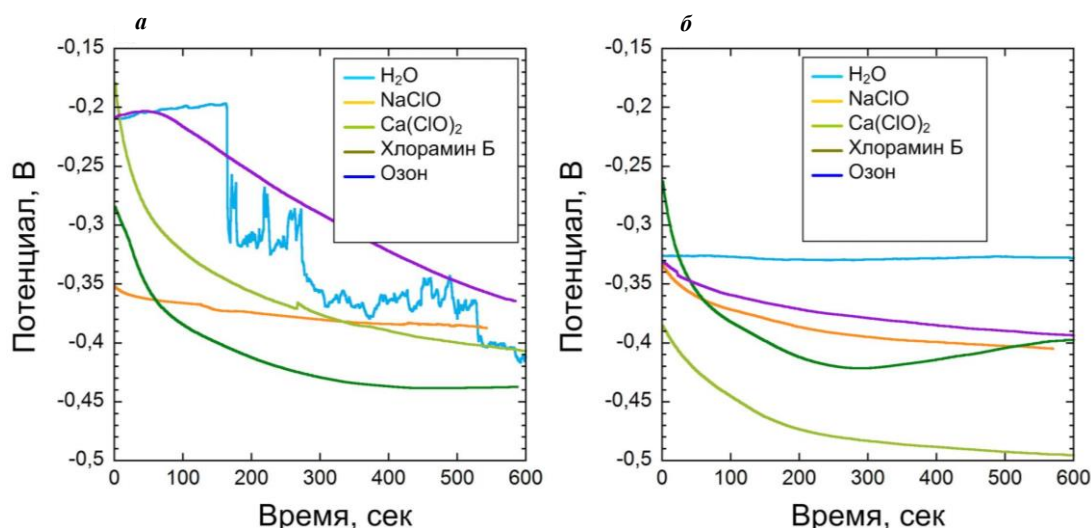


Рисунок 1. – Потенциал открытого контура для сталей Ст3 (а) и 08 (б) в исследуемых растворах

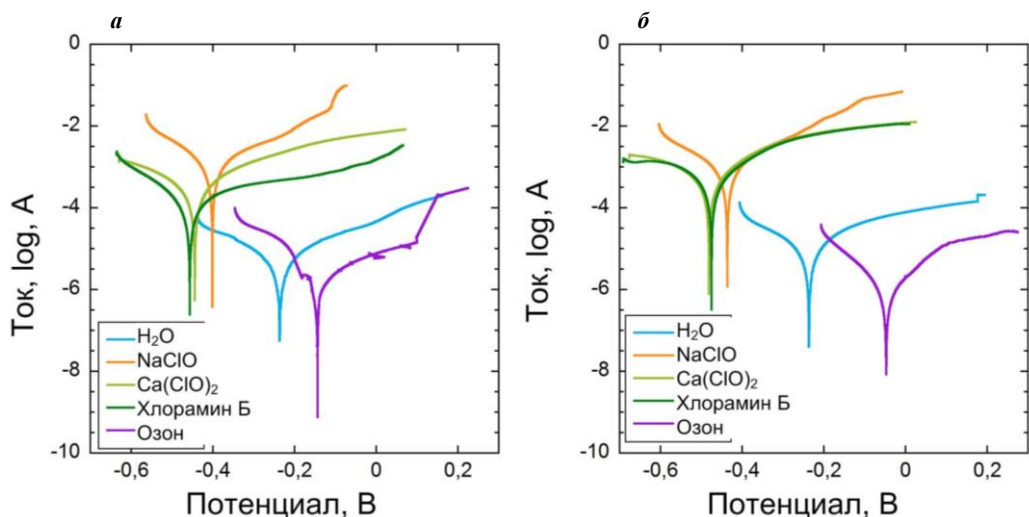


Рисунок 2. – Потенциодинамические кривые для сталей Ст3 (а) и 08 (б) в исследуемых растворах

Результаты эксперимента по потере массы также хорошо коррелируют с результатами электрохимических измерений. Сталь Ст3 показала большую потерю массы, скорость коррозии и долю скорродировавшей поверхности по сравнению со сталью 08, что можно объяснить меньшим содержанием углерода (в 2,4 раза) в Ст8. Эксперименты по потере массы показали снижение скорости коррозии со временем для всех испытанных условий. Максимальная скорость коррозии наблюдалась в первые 8 часов эксперимента. Потеря массы образцов уменьшалась в ряду $\text{Ca}(\text{ClO})_2 > \text{NaClO} > \text{Хлорамин Б} > \text{хлорная известь}$. В отличие от электрохимических измерений, наибольшая потеря массы и скорость коррозии была для растворов гипохлорита кальция. Вероятно, в данном случае существенное влияние оказывает эффект пассивации в растворе гипохлорита натрия с более высоким значением pH 9,02 в сравнении с pH раствора гипохлорита кальция 7,34. Также это можно объяснить образованием очагов коррозии при обработке $\text{Ca}(\text{ClO})_2$. Потеря массы и скорость коррозии для $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ в 2 раза выше по сравнению с раствором NaClO . Потеря массы в озонированной водопроводной воде была почти сравнима с потерей массы образцов в воде. В растворах NaClO , $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ и хлорной извести коррозия характеризуется наличием трещин, питингов. При использовании хлорамина Б коррозия характеризуется как равномерная, без трещин и питингов. На поверхности стали, обработанной хлорной известью, признаки коррозии носят более локальный характер в сравнении с гипохлоритом кальция и натрия (рисунок 3). В то же время можно сделать вывод, что хлорамин оказывает травящее действие на поверхность.

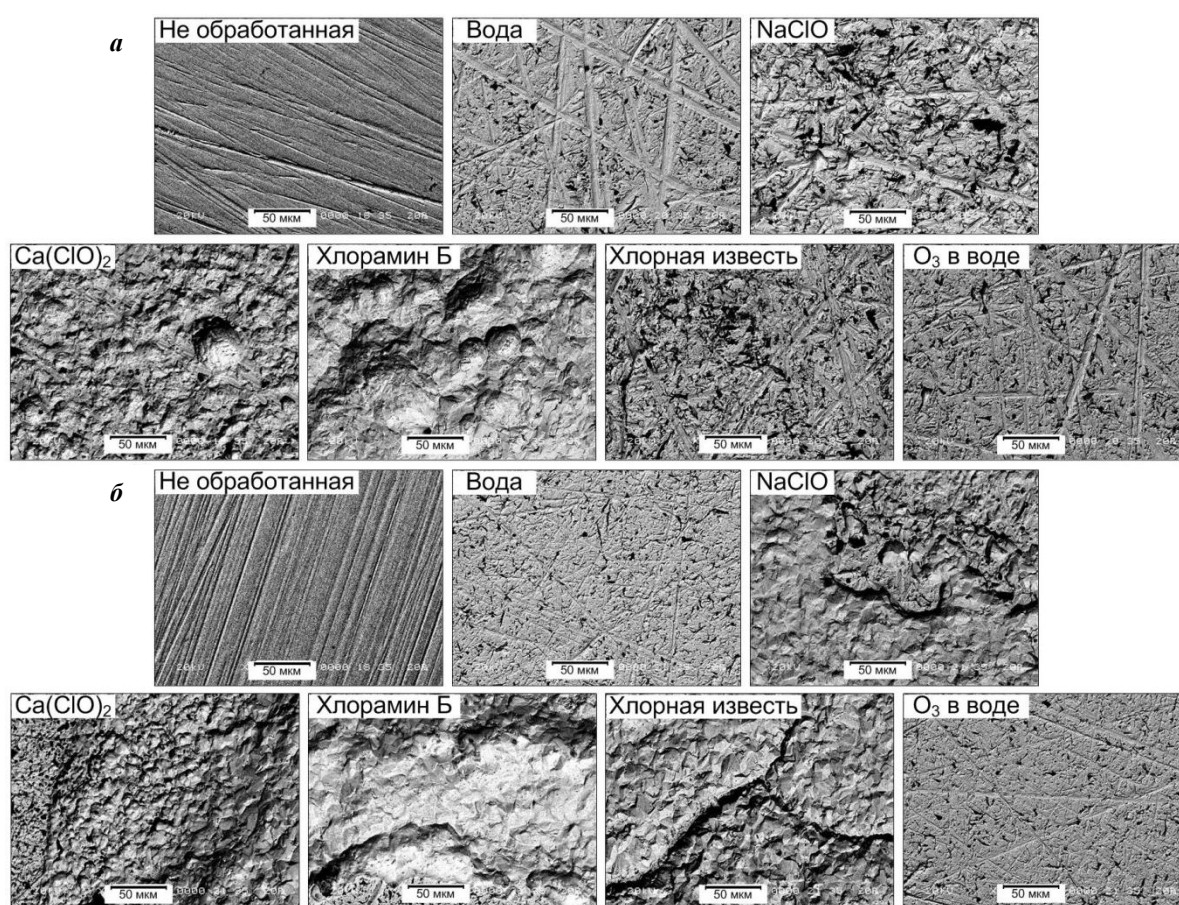


Рисунок 3. – Результаты сканирующей электронной микроскопии поверхности стали Ст3 (а) и 08 (б)

Выводы. В результате проведения исследований можно сделать выводы:

- при одинаковой концентрации активного хлора в исходном дезинфицирующем растворе по результатам электрохимических измерений наибольшее коррозионное воздействие на углеродистые стали оказывают растворы гипохлорита натрия, однако весовые измерения показали наибольшую потерю массы в растворах гипохлорита кальция, что, вероятно, связано с более высокими значениями pH раствора гипохлорита натрия и некоторой пассивацией поверхности сталей;
- насыщенный раствор озона по измеренным электрохимическим показателям близок по значениям к питьевой воде, при этом токи коррозии в растворе озона ниже, чем в воде.

Работа выполнена при поддержке ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорганомия», задания 2.1.02 «Сорбционные, каталитические и мембранные материалы для водоочистки и водоподготовки», НИР 5 «Физико-химические основы коррозии материалов в дезинфицирующих средах и разработка экологических и высокоэффективных способов дезинфекции» (2021–2023 гг.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Efficacy of different concentrations of sodium hypochlorite and chlorhexidine in disinfection of contaminated Resilon cones / V. Zand [et al.] // *Medicina oral, patologia oral y cirugia buccal*. – 2012. – № 17 (2). – P. 352. DOI: 10.4317/medoral.17467.
2. The Disinfection Characteristics of Ebola Virus Outbreak Variants / B.W.M. Cook [et al.] // *Sci. Rep.* – 2016. – № 6. DOI: 10.1038/srep38293.
3. Gallandat, K. Surface cleaning and disinfection: Efficacy assessment of four chlorine types using Escherichia coli and the Ebola surrogate Phi6 / K. Gallandat, M.K. Wolfe, D. Lantagne // *Environmental Science & Technology*. – 2017. – № 51 (8). – P. 4624–4631. DOI: 10.1021/acs.est.6b06014.
4. Романовский, В.И. Коррозионная устойчивость стали 15 к дезинфицирующим растворам / В.И. Романовский, В.В. Жилинский // *Тр. БГТУ. Сер. Химия и технология неорган. в-в*. – 2015. – № 3 (176). – С. 29–34.
5. Романовский, В.И. Сравнительный анализ коррозионной устойчивости углеродистых сталей к дезинфицирующим растворам электрохимическим методом / В.И. Романовский, В.В. Жилинский, Ю.Н. Бессонова // *Вестн. БрГТУ. Водохозяйств. стр-во, теплоэнергетика и геоэкология*. – 2016. – № 2 (98). – С. 126–129.
6. Романовский, В.И. Коррозионная устойчивость углеродистых сталей к дезинфицирующим растворам / В.И. Романовский, Ю.Н. Чайка // *Тр. БГТУ. Сер. Химия и технология неорган. в-в*. – 2014. – № 3 (167). – С. 47–50.
7. Hurynovich, A.D. Analiza efektywności kaskadowego generatora ozonu / A.D. Hurynovich, V.I. Romanovski, P. Wawrzyniuk // *Economia i środowisko*. – 2013. – № 1 (44). – S. 156–164.
8. Анализ эффективности дезинфекции сооружений питьевого водоснабжения с использованием хлорсодержащих дезинфицирующих средств и озона / В.И. Романовский [и др.] // *Вестн. БрГТУ. Водохозяйств. стр-во, теплоэнергетика и геоэкология*. – 2015. – № 2 (92). – С. 68–71.
9. Дезинфекция озонем водозаборных скважин и трубопроводов систем питьевого водоснабжения / В.И. Романовский [и др.] // *Тр. БГТУ. Сер. Химия и технология неорган. в-в*. – 2013. – № 3 (159). – С. 55–60.
10. Романовский, В.И. Эффективность использования озона в технологии водоподготовки / В.И. Романовский, А.Д. Гуринович, П. Вавженюк // *Водоочистка*. – 2014. – № 2. – С. 66–70.
11. Определение основных параметров дезинфекции и обеззараживания озонем сооружений питьевого водоснабжения / В.И. Романовский [и др.] // *Тр. БГТУ. Сер. Химия и технология неорган. в-в*. – 2015. – № 3 (176). – С. 108–112.
12. Романовский, В.И. Сравнительный анализ эффективности дезинфекции сооружений водоснабжения дезинфицирующими растворами / В.И. Романовский, И.В. Рымовская, С. Янь Фэн // *Вода Magazine*. – 2015. – № 10 (98). – С. 18–21.
13. Гуринович, А.Д. Эффективность дезинфекции озонем сооружений систем водоснабжения / А.Д. Гуринович, В.И. Романовский, Ю.Н. Бессонова // *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. – 2016. – № 10. – С. 48–51.

REFERENCES

1. Zand, V., Salem-Milani, A., Shahi, S., Akhi, M.T. & Vazifekah, S. (2012). Efficacy of different concentrations of sodium hypochlorite and chlorhexidine in disinfection of contaminated Resilon cones. *Medicina oral, patologia oral y cirugia bucal*, 17 (2), 352. DOI: 10.4317/medoral.17467.
2. Cook, B.W.M., Cutts, T.A., Nikiforuk, A.M., Leung, A., Kobasa, D. & Theriault, S.S. (2016). The Disinfection Characteristics of Ebola Virus Outbreak Variants. *Sci. Rep.*, (6). DOI: 10.1038/srep38293.
3. Gallandat, K., Wolfe, M.K. & Lantagne, D. (2017). Surface cleaning and disinfection: Efficacy assessment of four chlorine types using Escherichia coli and the Ebola surrogate Phi6. *Environmental Science & Technology*, 51 (8), 4624–4631. DOI: 10.1021/acs.est.6b06014.
4. Romanovskii, V.I. & Zhilinskii, V.V. (2015). Korrozionnaya ustoichivost' stali 15 k dezinfitsiruyushchim rastvoram [Corrosion resistance of steel 15 to disinfectant solutions]. *Tr. BGTU. Ser. Khimiya i tekhnologiya neorgan. v-v [Proceedings of BSTU. Series Chemistry and technology of inorganic substances]*, 3 (176), 29–34. (In Russ., abstr. in Engl.).
5. Romanovskii, V.I., Zhilinskii, V.V. & Bessonova, Y.N. (2016). Sravnitel'nyi analiz korrozionnoi ustoichivosti uglerodistykh staley k dezinfitsiruyushchim rastvoram elektrokhimicheskim metodom [Comparative Analysis of the Corrosion Resistance of Carbon Steels to Disinfecting Solutions by the Electrochemical Method]. *Vestn. BrGTU. Vodokhozyaistv. str-vo, teploenergetika i geoekologiya [Bulletin of BrGTU. Water management construction, thermal power engineering and geoecology]*, 2 (98), 126–129. (In Russ., abstr. in Engl.).
6. Romanovskii, V.I. & Chaika, Y.N. (2014). Korrozionnaya ustoichivost' uglerodistykh staley k dezinfitsiruyushchim rastvoram [Corrosion resistance of carbon steels to disinfectant solutions]. *Tr. BGTU. Ser. Khimiya i tekhnologiya neorgan. v-v [Proceedings of BSTU. Series Chemistry and technology of inorganic substances]*, 3 (167), 47–50. (In Russ., abstr. in Engl.).
7. Gurinovich, A.D., Romanovskii, V.I. & Wawrzyniuk, P. (2013). Analiza efektywności kaskadowego generatora ozonu. *Economia i środowisko*, 1 (44), 156–164. (In Polish).
8. Romanovskii, V.I., Rymovskaya, M.V., Bessonova, Y.N., Kovalevskaya, A.M. & Likhavitskaya, V.V. (2015). Analiz effektivnosti dezinfektsii sooruzhenii pit'evogo vodosnabzheniya s ispol'zovaniem khlorosoderzhashchikh dezinfitsiruyushchikh sredstv i ozona [Analysis of the effectiveness of disinfection of drinking water supply facilities using chlorine-containing disinfectants and ozone]. *Vestn. BrGTU. Vodokhozyaistv. str-vo, teploenergetika i geoekologiya [Bulletin of BrGTU. Water management construction, thermal power engineering and geoecology]*, 2 (92), 68–71. (In Russ., abstr. in Engl.).
9. Romanovskii, V.I., Gurinovich, A.D., Chaika, Y.N. & Vavzhenyuk, P. (2013). Dezinfektsiya ozonom vodozabornykh skvazhin i truboprovodov sistem pit'evogo vodosnabzheniya [Ozone disinfection of water wells and pipelines of drinking water supply systems]. *Tr. BGTU. Ser. Khimiya i tekhnologiya neorgan. v-v [Proceedings of BSTU. Series Chemistry and technology of inorganic substances]*, 3 (159), 55–60. (In Russ., abstr. in Engl.).
10. Romanovskii, V.I., Gurinovich, A.D. & Vavzhenyuk, P. (2014). Effektivnost' ispol'zovaniya ozona v tekhnologii vodopodgotovki [Efficiency of using ozone in water treatment technology]. *Vodoochistka [Water treatment]*, (2), 66–70. (In Russ., abstr. in Engl.).
11. Romanovskii, V.I., Likhavitskaya, V.V., Rymovskaya, M.V. & Gurinovich, A.D. (2015). Opredelenie osnovnykh parametrov dezinfektsii i obezrazhivaniya ozonom sooruzhenii pit'evogo vodosnabzheniya [Determination of the main parameters of disinfection and ozone disinfection of drinking water supply facilities]. *Tr. BGTU. Ser. Khimiya i tekhnologiya neorgan. v-v [Proceedings of BSTU. Series Chemistry and technology of inorganic substances]*, 3 (176), 108–112. (In Russ., abstr. in Engl.).

12. Romanovskii, V.I., Rymovskaya, M.V. & Yan' Fen, S. (2015). Sravnitel'nyi analiz effektivnosti dezinfektsii sooruzhenii vodosnabzheniya dezinfitsiruyushchimi rastvorami [Comparative analysis of the efficiency of disinfection of water supply facilities as disinfectants]. *Voda magazine [Water magazine]*, 10 (98), 18–21. (In Russ., abstr. in Engl.).
13. Gurinovich, A.D., Romanovskii, V.I. & Bessonova, Y.N. (2016). Effektivnost' dezinfektsii ozonom sooruzhenii sistem vodosnabzheniya [Efficiency of ozone disinfection of structures of water supply systems]. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie [Water treatment. Water treatment. Water supply]*, (10), 48–51. (In Russ., abstr. in Engl.).

Поступила 15.11.2022

CORROSION OF CARBOT STEELS IN DISINFECTANT SOLUTIONS

A. POSPELOV¹, I. MATSUKEVICH², A. KASACH³, M. KOMAROV⁴, S. ROZHKO⁴
(*Belarusian State Technological University, Minsk^{1, 3, 4},
IGIC NAS of Belarus, Minsk², IHCS NAS of Belarus, Minsk⁵*)

Disinfection of various surfaces is used everywhere in different areas of human activity. Disinfection of surfaces has gained particular relevance in recent years. However, in the process of disinfection, solutions with high concentrations of active substances are used. The most common substances used for disinfection are those containing chlorine. Among them, sodium hypochlorites, calcium hypochlorites, and bleach are most commonly used. In the process of surface disinfection, the materials of the treated surfaces are destroyed. This can lead not only to the migration of leached-out metals but also to the destruction of materials and structures. As an alternative disinfectant, the article considers ozone solutions in water. Ozone has found widespread use for water disinfection, but it has not found wide application for surface disinfection. The article investigated the corrosive effect of disinfectants on carbon steels St3 and 08. For research, chlorine-containing solutions were used at a concentration of 2 wt.% in terms of hypochlorite ion and ozone-saturated water as an alternative disinfectant solution. The research results showed that chlorine-containing solutions have the greatest corrosive effect on the studied stainless steels, among which the sodium hypochlorite solution has the greatest corrosive effect. The use of ozone-saturated water is characterized by the lowest values of corrosion currents.

Keywords: *disinfection, carbon steels, corrosion.*