

# ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

---

УДК 628.16:661.491

А. Л. ВАСИЛЬЕВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии; И. Л. СМЕЛЬЦОВА<sup>1</sup>, канд. хим. наук, доц. кафедры водоснабжения, водоотведения, инженерной экологии и химии; А. С. ТАРАСОВ<sup>2</sup>, ведущий инженер-технолог; Л. Д. ГУСЕВА<sup>3</sup>, инженер по охране окружающей среды (эколог)

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА В КАЧЕСТВЕ РЕАГЕНТА ПРИ ВОДОПОДГОТОВКЕ

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-92; эл. почта: k\_viv@nngasu.ru

<sup>2</sup>ОАО «Дзержинский водоканал»

Россия, 606019, г. Дзержинск, пр-т Дзержинского, д. 43. Тел. (8313) 25-96-17; эл. почта: secretar@istok.sinn.ru.

<sup>3</sup>ООО «ИЭНВИ-КОНСАЛТИНГ»

Россия, 119019, г. Москва, вн. тер. г. Муниципальный округ Арбат, ул. Новый Арбат, д. 21. Тел. (495)118-37-59; эл. почта: info@b2b-enviroment.ru

*Ключевые слова:* качество воды, обеззараживание питьевой воды, пероксид водорода.

---

*Изложены свойства перекиси водорода, имеющие практическое применение и позволяющие использовать ее в качестве реагента при водоподготовке.*

---

При выборе методов водоподготовки и подборе применяемых реагентов в настоящее время определяющее значение имеет не только эффективность методов и реагентов, но и их воздействие на окружающую среду и самого человека. В связи с этим предпочтение отдается наиболее экологичным способам водоподготовки.

Одним из существующих безопасных и экологически чистых реагентов, обеспечивающих эффективную очистку воды, при этом не образующих токсичных продуктов распада, является пероксид водорода.

Пероксид водорода  $H_2O_2$  относится к немногим окислителям, применение которого не сопровождается экологически вредными последствиями. Литературные данные и практический опыт применения пероксида в процессах водоподготовки и водоотведения показывает, что указанный препарат характеризуется рядом технологических преимуществ:

- 1) возможность обработки вод в широком диапазоне значений концентрации, температуры и реакции среды (рН);
- 2)  $H_2O_2$  присуща высокая селективность окисления различных примесей, что, в свою очередь, позволяет минимизировать затраты на другие, подчас весьма дорогие реагенты;
- 3) в отличие от многих других окислителей  $H_2O_2$  характеризуется стабильностью;



4) его практическое применение не требует сложного аппаратного оформления (как, например, в случаях с хлором и ультрафиолетом) [1].

В настоящей статье рассмотрены определенные химические свойства пероксида водорода, позволяющие обосновать возможность ее применение в водоподготовке.

Пероксид водорода (перекись водорода, химическая формула –  $H_2O_2$ ) представляет собой неорганическое химическое соединение водорода и кислорода, являющееся простейшим представителем класса пероксидов [2, 3]. Представляет собой бесцветную жидкость с «металлическим» вкусом, неограниченно растворяется в воде, спирте, эфире.

Строение пероксида водорода можно выразить следующей структурной формулой:  $H-O-O-H$  [1]. Непрочная связь  $O-O$  (неустойчивость атома кислорода в степени окисления -1), обеспечивающие быстрое разложение  $H_2O_2$ . Реакцию диспропорционирования (разложения) можно представить в следующем виде:



Способность пероксида водорода разлагаться на воду и кислород была установлена с момента его открытия. На скорость разложения пероксида водорода влияет повышение температуры, воздействие излучения или иных источников энергии, наличие катализаторов, к которым относятся ионы переходных металлов, взвешенные частицы, некоторые белки [2, 3].

Водные растворы пероксида водорода более устойчивы, поэтому пероксид водорода выпускается в виде водных растворов стандартной концентрации: 1–6, 30, 38, 50, 60, 85, 90 и 98 %. Для предотвращения разложения добавляют минеральные стабилизаторы. При правильном хранении и использовании (емкости и дозирующих устройств из нержавеющей стали, хранение в прохладном месте в отсутствие легко воспламеняющихся веществ и источников энергии) разложение не превышает 1 %.

Рабочим раствором пероксида водорода, позволяющим проявить свои окислительные свойства, необходимые для обработки воды, является его 3%-й раствор. Приведенные ниже результаты исследования подтверждают стойкость 3%-го водного раствора пероксида водорода.

Для проведения исследований были приготовлены четыре пробы равного объема рабочего 3%-го раствора  $H_2O_2$ . Для проб образцов были созданы разные условия хранения: два образца (пробы № 1 и № 2) были плотно закрыты крышками, а для двух других (пробы № 3 и № 4) был обеспечен доступ воздуха через просверленные в крышках отверстия для имитации воздействия воздуха на рабочий раствор  $H_2O_2$ . Для исключения влияния иных катализаторов разложения пероксида водорода в приготовленном растворе пробы были помещены в емкости из темного стекла и хранились при комнатной температуре.

Контроль содержания  $H_2O_2$  в исследуемых пробах рабочего раствора производился в соответствии с ГОСТ 32460-2013 «Пероксид водорода. Определение содержания в воде» в соответствии с установленным графиком контроля через 6 часов и далее каждые 24 часа на протяжении 3 суток.

Проводимые исследования позволили установить динамику изменения концентрации  $H_2O_2$  в рабочем растворе в зависимости от времени хранения. Результаты лабораторных измерений показали, что содержание (концентрация)



пероксида водорода во всех четырех пробах приготовленного раствора на протяжении всего времени проведения эксперимента (3 суток) находились в стабильно одинаковом диапазоне концентраций: проба № 1 – концентрация  $\text{H}_2\text{O}_2$  3,36 – 3,44 мг/дм<sup>3</sup>; проба № 2 – концентрация  $\text{H}_2\text{O}_2$  3,30 – 3,44 мг/дм<sup>3</sup>; проба № 3 – концентрация  $\text{H}_2\text{O}_2$  – 3,40 мг/дм<sup>3</sup>; проба № 4 – концентрация  $\text{H}_2\text{O}_2$  3,23 – 3,44 мг/дм<sup>3</sup>.

После получения результатов первой серии опыт был продолжен с целью оценки стойкости водного 3%-го раствора пероксида водорода на протяжении 10 суток. Результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1

### Динамика изменения концентрации $\text{H}_2\text{O}_2$ в рабочем растворе

Номер пробы	Ед. изм.	Результат измерений									
		Исходный раствор (определен аналитически)	6 ч	24 ч	48 ч	72 ч	144 ч	168 ч	192 ч	216 ч	240 ч
1	мг/дм <sup>3</sup>	3,36	3,40	3,40	3,44	3,40	3,30	3,30	3,4	3,32	3,36
2	мг/дм <sup>3</sup>	3,44	3,44	3,30	3,44	3,44	3,30	3,27	3,37	3,27	3,32
3	мг/дм <sup>3</sup>	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,27	3,27	3,3	3,35	3,22
4	мг/дм <sup>3</sup>	3,44	3,40	3,23	3,44	3,40	3,30	3,30	3,40	3,20	3,2

В ходе эксперимента были подтверждены данные, что рабочий раствор пероксида водорода является стойким соединением, сохраняет свои свойства на протяжении всего времени проведения эксперимента (10 суток) (отклонения концентрации находятся в пределах погрешности измерений); атмосферный воздух на стойкость раствора перекиси водорода и его свойства воздействие не оказывает.

В водных растворах (природные воды) до 50 % пероксида водорода распадается с образованием свободных радикалов  $\text{OH}^-$  и других активных форм кислорода (АФК), являющихся очень сильными окислителями (оксидантами), высокая реакционная способность которых обусловлена наличием свободной валентности кислорода. АФК и свободные радикалы представляют собой опасность для живых клеток ввиду возможных повреждений, которые они наносят биомолекулам [4, 5]. Данная способность перекиси водорода обеспечивает бактерицидный эффект, что позволяет применять ее в качестве реагента для обеззараживания воды [6].

Приведенные ниже результаты исследований подтверждают не только бактерицидные свойства пероксида водорода, но и эффект пролонгированного действия.

В качестве исходного образца была использована вода после водоподготовки на водопроводных очистных сооружениях (далее ВОС), отобранная до процесса вторичного обеззараживания: пробы 1.1. и 1.2. – колодец ВОС подземных вод; пробы 1.3. и 1.4. – колодец ВОС поверхностных вод.

Для эксперимента в отобранные пробы воды вводится приготовленный рабочий 3%-й раствор пероксида водорода дозой 0,08–0,1 мг  $\text{H}_2\text{O}_2$  на 1 л обрабатываемой воды. Результаты проведенных лабораторных измерений приведены в табл. 2.



Таблица 2

Динамика изменений концентрации  $\text{H}_2\text{O}_2$ , показателей качества воды по времени

Номер	Показатель (определяемое вещество)	Номер пробы	Результат											
			Исходная проба Дата 11.10.2023	Дата 11.10.2023 Время 13-30	Дата 11.10.2023 Время 16-00	Дата 12.10.2023 Время 9-00	Дата 12.10.2023 Время 15-45	Дата 13.10.2023 Время 9-00	Дата 13.10.2023 Время 15-00	Дата 14.10.2023 Время 9-30	Дата 14.10.2023 Время 15-30			
1	Содержание перекиси водорода, мг/дм <sup>3</sup>	1.1	-	0,110	0,108	0,083	0,075	0,057	0,051	0,039	0,033			
		1.2	-	0,114	0,113	0,086	0,079	0,061	0,056	0,046	0,04			
		1.3	-	0,056	0,054	0,033	0,022	0,016	0,006	0,004	0			
		1.4	-	0,057	0,056	0,031	0,023	0,010	0,005	0,0027	0			
2	Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	1.1	0,30	0,35	-	0,31	-	0,29	-	0,27	-			
		1.2	0,30	0,29	-	0,30	-	0,28	-	0,27	-			
		1.3	0,27	0,23	-	0,24	-	0,27	-	0,25	-			
		1.4	0,27	0,21	-	0,22	-	0,21	-	0,21	-			
3	Окисляемость перманганатная, мг/дм <sup>3</sup>	1.1	1,84	1,80	-	1,76	-	1,76	-	1,76	-			
		1.2	1,87	1,85	-	1,76	-	1,84	-	1,76	-			
		1.3	1,44	1,40	-	1,29	-	1,29	-	1,29	-			
		1.4	1,65	1,65	-	1,29	-	1,22	-	1,21	-			
4	рН	1.1	6,88	6,7	-	7,0	-	6,98	-	7,06	-			
		1.2	6,87	6,9	-	7,0	-	7,06	-	7,11	-			
		1.3	7,37	7,4	-	7,69	-	7,56	-	7,5	-			
		1.4	7,35	7,4	-	7,72	-	7,65	-	7,65	-			
3	ОКБ (КОЕ/100 см <sup>3</sup> )	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	
Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.		
1.3	25	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.		
1.4	19	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.		
4	ТКБ (КОЕ/100 см <sup>3</sup> )	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.		
Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.		
1.3	25	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.		
1.4	19	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.	Отсут.		



При введении рабочей дозы 0,08–0,1 мг H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> на 1 л обрабатываемой воды в течение короткого времени происходит снижение концентрации перекиси водорода в питьевой воде на 0,01–0,02 мг/дм<sup>3</sup> по сравнению с исходной (определена аналитически), и в дальнейшем содержание перекиси водорода в питьевой воде снижается на 0,01–0,02 мг/дм<sup>3</sup> каждые 24 часа. Как показал эксперимент, перекись водорода практически не оказывает влияние на свойства и качественный состав исходной воды, а именно: изменения показателей (окисляемость перманганатная, рН, содержание железа) находятся в диапазоне погрешности измерений.

В это время показатели, характеризующие наличие бактериального загрязнения воды (ОКБ и ТКБ), присутствующие в отобранных образцах, после взаимодействия с перекисью водорода были нейтрализованы, что подтверждает бактерицидные свойства H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Данные показатели не обнаруживались в течение всего срока проведения эксперимента, что свидетельствует об эффекте пролонгированного действия перекиси водорода в течение не менее 3 суток при введении рабочей дозы 0,08–0,1 мг H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> на 1 л обрабатываемой воды.

В заключение можно отметить, 3-процентные водные растворы пероксида водорода оказываются довольно стойкими соединениями, сохраняют свои свойства до 10 суток.

Экспериментально установлено, что рабочая доза 3%-го водного раствора пероксида водорода дозой 0,08–0,1 мг на 1 л обрабатываемой питьевой воды является относительно стабильной, обладает достаточной бактериальной активностью, которая сохраняется на протяжении 3 суток и не влияет на качественные характеристики обрабатываемой воды.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скурлатов, Ю. И. Определяющая роль окислительно-восстановительных процессов в формировании качества природной водной среды. – Текст : непосредственный // Успехи химии. – 1991. – Том 60, № 3. – С. 140–142.
2. Химия и технология пероксида водорода / Л. И. Мухортова, Ю. Т. Ефимов, И. В. Глушков, Т. Г. Константинова ; под редакцией А. А. Сазанова. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 2020. – 104 с. – Текст : непосредственный.
3. Химия и технология перекиси водорода / В. М. Беренблит, В. В. Бурдин, В. М. Вишняков [и др.] ; под редакцией Г. А. Серышева. – Ленинград : Химия, 1984. – 200 с. – Текст : непосредственный.
4. Логинова, А. Ю. Роль активных форм кислорода в процессах самоочищения природных водных экосистем / А. Ю. Логинова, Н. А. Силаева. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – № 4-1. – С. 46–51.
5. Шамб, У. Перекись водорода : перевод с английского / У. Шамб, Ч. Сеттерфилд, Р. Вентворс ; под редакцией А. И. Горбанева. – Москва : Иностранная литература, 1958. – 578 с. – Текст : непосредственный.
6. Пероксид водорода в технологиях обеззараживания воды: эколого-экономический аспект : монография / И. А. Денисова, Т. И. Дровозова, Н. В. Ляшенко [и др.] ; под редакцией В. В. Денисова. – Новочеркасск : Набла, 2011. – 150 с. – ISBN 978-5-88998-864-9. – Текст : непосредственный.



**VASILEV** Aleksey Livovich<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of water supply and disposal, environmental engineering and chemistry; **SMELTSOVA** Irina Leonidovna<sup>1</sup>, candidate of chemical sciences, associate professor of the chair of water supply and disposal, environmental engineering and chemistry; **TARASOV** Aleksander Sergeevich<sup>2</sup>, leading process engineer, **GUSEVA** Lubov Demyanovna<sup>3</sup>, environmental engineer (ecologist)

## PROSPECTS FOR THE USE OF HYDROGEN PEROXIDE AS A REAGENT IN WATER TREATMENT

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: + 7 (831) 430-54-92;  
e-mail: k\_viv@nngasu.ru.

<sup>2</sup>JSC “Dzerzhinsky vodokanal”  
43, Dzerzhinsky Prospect., Dzerzhinsk, 606019, Russia. Tel.: +7 (8313) 25-96-17;  
e-mail: sekretar@istok.sinn.ru .

<sup>3</sup>LLC “ENVI-CONSULTING”  
21, New Arbat St., Moscow, 119019, Russia. Tel.: +7 (495)118-37-59;  
e-mail: info@b2b-enviroment.ru.

*Key words:* water quality, disinfection of drinking water, hydrogen peroxide.

---

*The article describes the redox properties of hydrogen peroxide, which have practical application and allow it to be used as a reagent in water treatment.*

---

## REFERENCES

1. Skurlatov Ju. I. Opredelyayushhaya rol okislitelno-vosstanovitelnykh processov v formirovaniy kachestva prirodnoy vodnoy sredy [The determining role of redox processes in shaping the quality of the natural aquatic environment]. Uspekhi khimii [Russian Chemical Reviews]. 1991, Vol. 60, № 3. P. 140-142.
2. Mukhortova L. I., Efimov Yu. T., Glushkov I. V., Konstantinova T. G. Khimiya i tekhnologiya peroksida vodoroda [Chemistry and technology of hydrogen peroxide]; pod redaktsiyey A. A. Sazanova, Cheboksary, Izd-vo Chuvash. un-ta, 2020, 104 p.
3. Berenblit V. M., Burdin V. V., Vishnyakov V. M., Gribel V. I., Guskov V. A., Derbenzov D. Yu., Kasatkin E. V., Pneva E. Ya., Seryshev G. A., Trokhova L. S., Filimonov P. I. Khimiya i tekhnologiya perekisi vodoroda [Chemistry and the technology of hydrogen peroxide], pod redaktsiyey Serysheva G. A. Leningrad, Khimiya, 1984, 200 p.
4. Loginova A. Yu., Silaeva N. A. Rol aktivnykh form kisloroda v protsessakh samoochishcheniya prirodnykh vodnykh ekosistem [The role of reactive oxygen species in the processes of self-purification of natural aquatic ecosystems] Aktualnye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk [Actual problems of humanities and natural sciences]. 2015, № 4-1. P. 46-51.
5. Shamb U., Setterfield Ch., Wentworth R. Perekis vodoroda [Hydrogen peroxide]: perevod s angliyskogo; pod redaktsiyey A. I. Gorbaneva, Moscow, ill., 1958, 578 p.
6. Denisova I.A., Drovovozova T.I., Lyashenko N.V. et al. Peroksid vodoroda v tekhnologiyakh obezrazzhivaniya vody: ekologo-ekonomicheskij aspekt [Hydrogen peroxide in water disinfection technologies: ecological and economic aspect] : monografiya; pod redaktsiyey V. V. Denisova, Novocherkassk, Nabla, 2011. 150 p.

© А. Л. Васильев, И. Л. Смелцова, А. С. Тарасов, Л. Д. Гусева, 2024  
Получено: 24.09.2024 г.