

Обеззараживание воды низкоконцентрированным гипохлоритом натрия

Я. Гао¹, Е. Д. Нефедова², А. К. Кинебас³, Ф. И. Лобанов⁴



Я. Гао



Е. Д. Нефедова



А. К. Кинебас



Ф. И. Лобанов

¹ Гао Ян, генеральный директор компании Newtec Umwelttechnik GmbH

10 Breitenbachstr., D-13509, Berlin, Germany, tel.: + 49 (0) 30 6953 780, e-mail: mail@newtec-berlin.de

² Нефедова Елена Дмитриевна, кандидат технических наук, директор по развитию, ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» 191015, Россия, Санкт-Петербург, Кавалергардская ул., 4, тел.: +7 (812) 305-09-09, e-mail: Nefedova_ED@vodokanal.spb.ru

³ Кинебас Анатолий Кириллович, кандидат технических наук, председатель совета ассоциации «Балтвод», руководитель секции Экспертно-технологического совета Российской ассоциации водоснабжения и водоотведения 191015, Россия, Санкт-Петербург, Кавалергардская ул., 4, тел.: +7 (812) 117-26-03, e-mail: kinebasak@yandex.ru

⁴ Лобанов Федор Иванович, доктор химических наук, профессор, президент компании ООО «КНТП» 117403, Россия, Москва, Востряковский проезд, 10Б, стр. 2, тел.: +7 (499) 372-14-12, e-mail: f.lobanov@kntp-pro.ru

Для цитирования: Гао Я., Нефедова Е. Д., Кинебас А. К., Лобанов Ф. И. Обеззараживание воды низкоконцентрированным гипохлоритом натрия // Водоснабжение и санитарная техника. 2023. № 9. С. 39–44. DOI: 10.35776/VST.2023.09.06.

Рассмотрена современная безопасная технология производства низкоконцентрированного гипохлорита натрия из растворов поваренной соли. Подробно описаны основные стадии технологического процесса. Особое внимание уделено вопросам промышленной безопасности и надежной эксплуатации электролизеров – установок приготовления гипохлорита натрия, произведенного на Южной и Северной водопроводных станциях ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». Использование низкоконцентрированных растворов гипохлорита натрия позволяет повысить безопасность технологических процессов очистки воды. Сырьем для производства гипохлорита натрия слу-

жит поваренная соль. Поскольку реагент используется непосредственно на месте получения, отпадает необходимость транспортировки. Сочетание обеззараживания обрабатываемой воды низкоконцентрированным гипохлоритом натрия (первая ступень) с ультрафиолетовым облучением (вторая ступень) перед подачей в городскую водопроводную сеть гарантирует полное соответствие качества воды по микробиологическим показателям действующим нормативам и ее высокую эпидемиологическую безопасность.

Ключевые слова: водоподготовка, обеззараживание, гипохлорит натрия, эпидемиологическая безопасность.

Disinfection of water with low-concentration sodium hypochlorite

Yu. Gao¹, E. D. Nefedova², A. K. Kinebas³, F. I. Lobanov⁴

¹ Gao Yuan, General Director, Newtec Umwelttechnik GmbH

10 Breitenbachstr., D-13509, Berlin, Germany, tel.: + 49 (0) 30 6953 780, e-mail: mail@newtec-berlin.de

² Nefedova Elena, Ph. D. (Engineering), Director of Development, SUE «Vodokanal of St. Petersburg» 4 Kavalergardskaia St., Saint-Petersburg, 191015, Russian Federation, tel.: +7 (812) 305-09-09, e-mail: Nefedova_ED@vodokanal.spb.ru

³ Kinebas Anatolii, Ph. D. (Engineering), Chairman of the Council of the Baltvod Association, Head of the Expert and Technological Council of the Russian Water and Wastewater Association

4 Kavalergardskaia St., Saint-Petersburg, 191015, Russian Federation, tel.: +7 (812) 117-26-03, e-mail: kinebasak@yandex.ru

⁴ Lobanov Fedor, Doctor of Chemical Sciences, Professor, President, KNTP LLC

Block 2, 10B Vostriakovskii Passway, Moscow, 117403, Russian Federation, tel.: +7 (499) 372-14-12, e-mail: f.lobanov@kntp-pro.ru

For citation: Gao Yu., Nefedova E. D., Kinebas A. K., Lobanov F. I. Disinfection of water with low-concentration sodium hypochlorite. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaiia Tekhnika*, 2023, no. 9, pp. 39–44. DOI: 10.35776/VST.2023.09.06. (In Russian).

An advanced safe technology for the production of low-concentration sodium hypochlorite from salt brine is considered. The main stages of the technological process are described in detail. Particular attention is paid to the issues of industrial safety and reliable operation of electrolyzers – units for the preparation of sodium hypochlorite at the Southern and Northern water treatment facilities of SUE «Vodokanal of St. Petersburg». The use of low-concentration solutions of sodium hypochlorite provides for improving the safety of water purification processes. Salt is the raw material for the production of sodium hypochlorite. Since the chemical is used directly at the place of production, there is no need for transportation. The combination of disinfection of treated water with low-concentration sodium hypochlorite (first stage) with ultraviolet irradiation (second stage) before supplying it to the city water supply network guarantees full compliance of water quality in terms of microbiological indicators with current standards and its high epidemiological safety.

Key words: water treatment, disinfection, sodium hypochlorite, epidemiological safety.

Обеззараживание воды, полностью отвечающего требованиям промышленной безопасности, достигается хлорированием с применением низкоконцентрированного гипохлорита натрия, получаемого путем электролиза раствора хлорида. Использование низкоконцентрированного раствора гипохлорита натрия позволяет исключить основные трудности, возникающие при транспортировке и хранении хлора [1; 2].

Получение низкоконцентрированных растворов гипохлорита натрия путем электролиза водного раствора хлорида натрия (NaCl) в электролизере является наиболее эффективным, простым и безопасным способом. Применение низкоконцентрированного раствора гипохлорита натрия позволяет повысить безопасность производственного процесса обеззараживания воды на водопроводных станциях по сравнению с использованием высококонцентрированного раствора гипохлорита натрия и жидкого хлора [1; 3]. Был проведен сравнительный анализ использования высоко- и низкоконцентрированных растворов гипохлорита натрия для обеззараживания воды с учетом риска и затрат при эксплуатации.

Руководством ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» было принято решение о создании производства низкоконцентрированного гипохлорита электролизным способом на двух крупнейших водопроводных станциях Санкт-Петербурга – Южной и Северной. На Южной (2006 г.) и Северной (2008 г.) водопроводных станциях были построены и введены в эксплуатацию цеха по производству низкоконцентрированного гипохлорита натрия [4; 5]. Технология производства на обеих водопроводных станциях принципиально одинаковая.

Реализованные проекты позволили разработать универсальную технологическую схему производства низкоконцентрированного гипохлорита натрия. Технологическая схема в процессе проектирования разбивается на модули, оснащение каждого модуля подбирается индивидуально в соответствии с потребностями и пожеланиями заказчика:

- 1) подготовка производственной воды;
- 2) производство концентрированного раствора NaCl;
- 3) приготовление рабочего раствора NaCl;
- 4) производство низкоконцентрированного NaOCl;
- 5) хранение низкоконцентрированного NaOCl;
- 6) контроль и управление оборудованием;
- 7) система дозирования.

1. Подготовка производственной воды для технологического процесса включает в себя систему ионообменников для умягчения технологической воды. Система оснащена автоматическими клапанами и программируемыми контроллерами. Ионообменники наполнены катионитовой смолой и для ее регенерации используется солевой раствор. В стандартный состав поставки входят две независимые линии ионообменников, обеспечивающие 100%-ный резерв оборудования. При расширении мощности имеется возможность подключения дополнительных агрегатов. Промежуточные емкости хранения умягченной воды оборудованы устройствами для поддержания и контроля уровня воды. Материал (эмалированная сталь, пластмассы – HDPE, PE или стекловолокно) выбирает заказчик. Необходимый комплект сенсорной техники и арматуры

ры для подачи воды обеспечивает оптимальный режим работы технологического оборудования. Объем поставки оборудования для этого модуля может быть расширен в соответствии с дополнительными требованиями или пожеланиями заказчика.

Для улучшения качества воды технологического процесса могут быть применены фильтры с автоматической или ручной промывкой (при отсутствии подключения к канализации). Все системы фильтрации оснащены датчиками для мониторинга разницы давления с оповещением на программируемый логический контроллер и звуковым аварийным сигналом. При недостаточном давлении воды в трубопроводе могут быть использованы насосы повышения давления, при частых перебоях подачи воды – датчики потока. Кроме того, для дополнительного контроля предусмотрены датчики контроля мутности воды, датчики разницы давления и другая сенсорная техника и оборудование.

2. Производство концентрированного раствора NaCl. Сатуратор предназначен для подготовки концентрированного солевого раствора. Материал емкостей: РЕ или стекловолокно. Возможно использование имеющихся в наличии емкостей заказчика при соответствии их технологическим требованиям. Объем емкости рассчитывается из запаса хранения соли во влажном виде и частоты засыпки соли. Сатуратор оборудован смотровым окном для визуального контроля уровня соли, технологическим люком для сервисных работ и системой автоматической подачи воды. Для отвода концентрированного раствора соли на дне сатуратора размещается коллекторный трубопровод. Для фильтрации от механических примесей соли и защиты трубопровода засыпается два слоя гравия различной фракции. При большой степени загрязненности соли возможно использование фильтросолевого раствора. При отсутствии разгрузочно-погрузочной техники используются механизмы разгрузки соли (системы разгрузки биг-бэгов, шнековые конвейеры, приспособления для засыпки вручную, подъемные механизмы и т. д.). При отсутствии возможности закупки соли высшего сорта предусмотрены системы декарбонизации, удаления железа и марганца из рабочего солевого раствора.

3. Приготовление рабочего раствора NaCl. Система подготовки рабочего раствора представляет собой смеситель концентрированного раствора соли и умягченной воды. В состав входят:

насосы 30%-ного солевого раствора;

насосы подачи воды из промежуточной емкости хранения умягченной воды;

датчики электропроводности с системой управления насосами для поддержания установленной концентрации рабочего раствора ~3% (около 30 г/л);

частотный преобразователь, который по значениям датчика электропроводности регулирует частоту вращения вала электродвигателя.

Таким образом, регулируется реальная концентрация рабочего раствора в соответствии с электропроводностью раствора, а не с объемом подачи солевого раствора (как в случае подачи солевого раствора пропорционально потоку воды с помощью дозирующего оборудования). Регулирование концентрации рабочего раствора по электропроводности является оптимальным для получения стабильной концентрации готового продукта.

4. Производство низкоконцентрированного (0,8%) раствора NaOCl. Электролизеры оснащены рядом реакторов с расположенными в них биполярными электродами, в которых происходит электролитическая реакция, теплообменником, сенсорной техникой и шкафом управления. Расположение реакторов горизонтальное, что повышает КПД оборудования и безопасность производства. Теплообменник позволяет обеспечить заданные температурные параметры без затрат электроэнергии на подогрев или охлаждение рабочего раствора. Сенсорная техника, передающая сигналы в локальную и центральную системы управления, обеспечивает безопасность производства и стабильно высокое качество готового продукта.

Гипохлорит натрия получают электролизом рабочего раствора поваренной соли в электролизерах. Суммарная реакция при электролизе раствора хлорида натрия может быть представлена в виде:



Готовый продукт NaOCl после электролиза поступает в сепараторы, в которых происходит «отдувка» водорода и отвод воздушной смеси с концентрацией, не превышающей 1/100, в атмосферу. Отвод обеспечивают воздухоудовки, поставляемые с резервным (100%) оборудованием с автоматическим переключением и оповещением оператора. Для мониторинга работы устанавливаются датчики давления воздуха. Для контроля концентрации водорода в помещении устанавливаются газоанализаторы, которые включают сигнал тревоги при превышении заданного значения.

Для производства гипохлорита натрия требуется постоянный ток. Функцию преобразо-

вания переменного тока в постоянный выполняют тиристорные выпрямители. Выпрямители имеют индикацию силы тока и напряжения, переключение на ручной и автоматический режим, оснащены системой плавного запуска и дистанционным управлением с места оператора. Для промывки электродов 5%-ным кислотным раствором используется передвижная установка. Мобильная установка дает ряд значительных преимуществ по сравнению со стационарными, например:

контроль за кислотным раствором с возможностью хранения в отдельном специальном помещении (требование законодательства ряда стран);

исключение опасных ситуаций, связанных с возможностью контакта соляной кислоты и раствора NaOCl;

простота промывки и безопасность обслуживания.

5. Хранение низкоконцентрированного раствора NaOCl. Емкости хранения гипохлорита натрия обеспечивают запас готового продукта на определенный заказчиком промежуток времени. Рекомендуются ограничить запас готового продукта объемом, достаточным для 24-часового непрерывного дозирования по максимальному объему, так как резервное оборудование и возможность производить раствор гипохлорита натрия более высокой концентрации (до 1%) обеспечивают непрерывность производства и возможность производства больших объемов реагента за счет увеличения концентрации выпускаемого продукта. Материал емкостей: HDPE, стекловолокно или бетон со специальным покрытием.

Для отвода остаточного водорода из емкостей предусмотрены воздуходувки, работающие по принципу принудительной вентиляции.

Емкости оснащаются датчиками уровня. Центральная система управления различает четыре задаваемых уровня: самый низкий, низкий, высокий и самый высокий. Это позволяет рационально управлять процессом выработки гипохлорита натрия. Точность определения уровня – до 1 см. Для удобства на мониторе указывается информация о запасе готового продукта в кубических метрах.

6. Контроль и управление оборудованием условно разделены на две группы:

локальная система управления, при помощи которой управление соответствующим блоком оборудования может производиться непосредственно на сенсорном дисплее шкафа управления электролизера или дозирующей системы. Все уз-

лы оборудования и сенсорная техника, задействованные в работе управляемого оборудования, отображены на дисплее графически;

центральное управление всем процессом с места оператора на компьютере из центральной диспетчерской. Вся система управления процессом отображается на мониторе графически при помощи программы визуального отображения WinCC.

Все рабочие параметры фиксируются и могут быть статистически обработаны. В объем поставки входит также русскоязычное меню программы и поясняющая документация.

7. Система дозирования обеспечивает дозирование гипохлорита натрия в водоводы или в резервуар чистой воды с возможностью изменения объема дозирования вручную или автоматически по сигналу от станции – анализатора остаточного хлора или прямо пропорционально объему потока. Системы дозирования гипохлорита можно условно разделить на два типа управления объемом дозирования:

управлением насосами (регулировка длины хода плунжера и частоты вращения вала электродвигателя через частотный преобразователь);

константный объем подачи и регулирование клапана впрыска.

Система дозирования подбирается индивидуально в соответствии с заданными параметрами, с учетом расстояния от насосов до точек дозирования, обратного давления и индивидуальных пожеланий заказчика.

Станции – анализаторы остаточного хлора включают в себя датчик хлора, фильтр, насос, арматуру и контроллер управления, который подключается к управлению насосами и центральному управлению. Система дозирования также оснащается системой промывки.

Примеры завершенных проектов в странах СНГ:

ГУП «Водоканал Санкт Петербург», РФ, Южная водопроводная станция: производительность 1,3 млн м³/сут воды, завод мощностью 320 кг/ч активного хлора (рис. 1); Северная водопроводная станция: производительность 850 тыс. м³/сут воды, завод мощностью 200 кг/ч активного хлора (рис. 2);

ГУП «Душанбеводоканал», Таджикистан, самотечная станция: производительность 320 тыс. м³/сут воды, завод мощностью 60 кг/ч активного хлора (рис. 3);

ГУП «Водоканал г. Курган-Тюбе», Таджикистан, водозабор: производительность 39 тыс. м³/сут воды, завод мощностью 3 кг/ч активного хлора (рис. 4).



Рис. 1. Южная водопроводная станция ГУП «Водоканал Санкт Петербург»



Рис. 2. Северная водопроводная станция ГУП «Водоканал Санкт Петербург»



Рис. 3. Самотечная станция ГУП «Душанбеводоканал»



Рис. 4. Водозабор ГУП «Водоканал г. Курган-Тюбе»

Выводы

Использование низкоконцентрированных растворов гипохлорита натрия позволяет повысить безопасность технологических процессов очистки воды на водопроводных станциях Санкт-Петербурга. Сырьем для производства гипохлорита натрия служит поваренная соль. Поскольку реагент используется непосредственно на месте получения, отпадает необходимость транспортировки. Сочетание обеззараживания обрабатываемой воды низкоконцентрированным гипохлоритом натрия (первая ступень) с ультрафиолетовым облучением перед подачей в городскую водопроводную сеть (вторая ступень) гарантирует полное соответствие качества воды по микробиологическим показателям действующим нормативам и ее высокую эпидемиологическую безопасность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селезнев Г. М., Лыков С. М., Буракова Ю. В., Кармазин Ф. В., Лобанов Ф. И. Новые технологии и оборудо-

вание для дезинфекции воды – альтернатива хлору // Безопасность труда в промышленности. 2007. № 2. С. 64–66.

2. Тимофеев А. Ф., Ягуд Б. Ю. Техника безопасности при хранении, транспортировании и применении хлора. – М.: Принтер, 1996. 519 с.
3. Григорьев А. Б., Расс Р. Сравнительная оценка высоко- и низкоконцентрированного гипохлорита натрия для дезинфекции питьевых вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. № 10. С. 42–47.
4. Кинебас А. К. Внедрение обеззараживания воды гипохлоритом натрия и ультрафиолетовым облучением в системах водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга // Водоснабжение и санитарная техника. 2005. № 12, ч. 1. С. 16–20.
5. Кинебас А. К., Нефедова Е. Д., Бекренев А. В., Лобанов Ф. И., Яковлев В. Ю. Обеззараживание воды низкоконцентрированным гипохлоритом натрия на водопроводных станциях Санкт-Петербурга // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 3. С. 24–29.

REFERENCES

1. Seleznev G. M., Lykov S. M., Burakova Iu. V., Karmazinov F. V., Lobanov F. I. [New technologies and equipment for water disinfection – an alternative to chlorine]. *Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti*, 2007, no. 2, pp. 64–66. (In Russian).
2. Timofeev A. F., Iagud B. Iu. *Tekhnika bezopasnosti pri khranении, transportirovaniі i primenении khлora* [Safety precautions for storage, transportation and use of chlorine. Moscow, Printer Publ., 1996, 519 p.].
3. Grigor'ev A. B., Russ R. [Comparative evaluation of high- and low-concentration sodium hypochlorite for drinking water disinfection]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*, 2006, no. 10, pp. 42–47. (In Russian).
4. Kinebas A. K. [Introduction of water disinfection with sodium hypochlorite and ultraviolet irradiation in the water supply and wastewater disposal systems of St. Petersburg]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*, 2005, no. 12, part 1, pp. 16–20. (In Russian).
5. Kinebas A. K., Nefedova E. D., Bekrenev A. V., Lobanov F. I., Iakovlev V. Iu. [Water disinfection with low-concentrated sodium hypochlorite at the water treatment plants of Saint-Petersburg]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*, 2010, no. 3, pp. 24–29. (In Russian).

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

ВСТ

ВОДОСНАБЖЕНИЕ
И САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА



Напоминаем, что все статьи, полученные редакцией журнала «Водоснабжение и санитарная техника», обязательно подвергаются рецензированию, по результатам которого решается вопрос о целесообразности публикации.

Требования к статьям:

- Статьи должны соответствовать тематике журнала. Объем статьи – примерно 10–12 страниц (размер шрифта 12, полуторный интервал).
- Статьи должны включать реферат (примерно 100–150 слов) и ключевые слова (от 5 до 10).
- В каждой статье должны быть указаны данные об авторах: фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, должность, место работы, контактная информация (служебный адрес, телефон, e-mail).
- Рисунки (графики, схемы) должны быть представлены в отдельных файлах в программах Corel Draw, Adobe Illustrator, MS Excel, AutoCAD (в тех программах, в которых они были изначально подготовлены).
- Фотографии должны быть выполнены в форматах TIF или JPG с разрешением не менее 300 ppi.

Для опубликования статьи в открытой печати вам необходимо предоставить редакции следующие документы:

- Согласие на обработку персональных данных каждого автора.
- Лицензионный договор, подписанный всеми авторами.
- Рецензия, полученная от кого-либо из коллег, однако эта рецензия рассматривается лишь как дополнительная информация, не отменяющая обязательного внутреннего рецензирования. Наличие ученой степени у рецензента строго обязательно.

Редакция ждет Ваши статьи. Высылать материалы можно по электронной почте: vst-msk@list.ru или post@vstnews.ru.