

ВСТ



ВОДОСНАБЖЕНИЕ И САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

Приглашаем посетить стенд С1
на выставке «ЭКВАТЭК-2018»:
МВЦ «КРОКУС ЭКСПО»,
павильон 1, зал 3
25–27 сентября 2018 г.



KSB: Комплексные решения
из «одних рук»

➤ www.ksb.ru

Насосы • Арматура • Сервис



На правах рекламы

Исследование влияния концентрации хлоридов на образование активного хлора при прямом электролизе

Л. Н. ФЕСЕНКО¹, И. В. ПЧЕЛЬНИКОВ², А. С. ТЕРИКОВ³, НГУЕН ТХИ ТУАН ЗЬЕП⁴

¹ Фесенко Лев Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды», Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова 346428, Россия, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, тел.: (8635) 25-53-34, e-mail: 65613@mail.ru

² Пчельников Игорь Викторович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Водное хозяйство, инженерные сети и защита окружающей среды», Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова

346428, Россия, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, тел.: (8635) 25-53-34, e-mail: pchelnikov.igor@mail.ru

³ Териков Алексей Сергеевич, магистр, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова

346428, Россия, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, тел.: (8635) 26-56-13, e-mail: 65613@mail.ru

⁴ Нгуен Тхи Туан Зьеп, аспирант, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова

346428, Россия, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, тел.: (8635) 26-56-13, e-mail: 65613@mail.ru

Электрохимический гипохлорит натрия все чаще используется в процессах водоподготовки на объектах водоснабжения и водоотведения. В качестве сырья для его получения можно использовать природные воды, содержащие хлориды. Приведены результаты исследования электролиза низкоминерализованной воды с концентрацией хлоридов 25, 50 и 100 мг/дм³. Модельный раствор получен путем растворения в дистиллированной воде поваренной соли марки «Экстра». Опыт проводили в интервале значений плотности тока от 10 до 500 А/м². С увеличением продолжительности электролиза концентрация активного хлора возрастает. Установлено, что при заданных значениях анодной плотности тока можно получить активный хлор различной концентрации, например до 220 мг/дм³, при плотности тока

100 А/м² и содержании хлоридов 100 мг/дм³. Особенностью процесса является превышение количества образовавшегося активного хлора над стехиометрическим содержанием хлоридов в обрабатываемой воде до 1,7–1,9 раза, что, вероятно, вызвано образованием других окислителей, например перекиси водорода. При плотности тока до 500 А/м² с увеличением продолжительности электролиза выход активного хлора уменьшается. По результатам проведенных исследований предложена номограмма для определения выхода активного хлора по току в зависимости от концентрации хлоридов в растворе и рекомендуемой плотности тока.

Ключевые слова: подземные и поверхностные воды, прямой электролиз воды, гипохлорит натрия, хлориды, окислители, плотность тока.

В настоящее время широкое применение в практике водоподготовки находит гипохлорит натрия. Преимущество обеззараживания воды электрохимическим гипохлоритом натрия в сравнении с газообразным хлором установлено многолетним опытом его практического использования [1–4].

Перспективным направлением является обеззараживание воды окислителем, образующимся в процессе прямого электролиза. Сущность метода заключается в непосредственном хлорировании воды за счет разряда на аноде присутствующих в ней хлорид-ионов. При этом также

происходит электроокисление примесей воды, насыщение ее кислородом, умягчение и ряд других положительных для водоподготовки процессов [5].

Результаты исследований прямого электролиза природных подземных и поверхностных вод представлены в работах [6; 7]. Получение гипохлорита натрия прямым электролизом воды достаточно подробно изложено в работе [6]. Прямой электролиз рекомендован для обработки воды, содержащей более 20 мг/дм³ хлоридов. При этом в литературе отсутствуют конкретные рекомендуемые технологические параметры

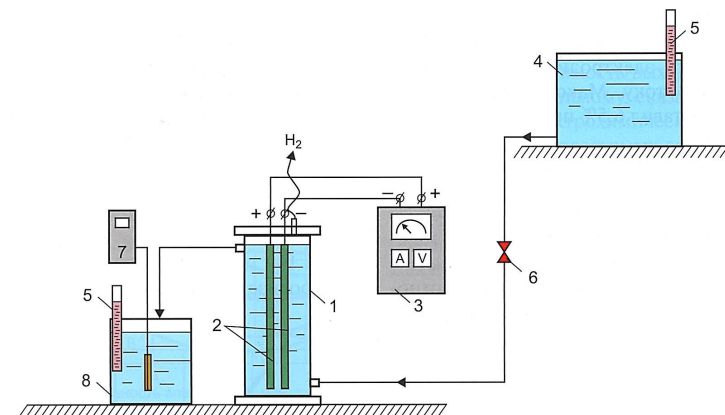


Рис. 1. Схема экспериментальной установки проточного типа

1 – электролизная ячейка; 2 – электроды; 3 – блок питания; 4 – емкость исходной морской воды; 5 – термометр; 6 – кран регулирования расхода; 7 – pH-метр; 8 – накопитель гипохлорита натрия

проведения электролиза природных низкоминерализованных вод с различной концентрацией хлоридов.

Целью настоящей работы являлось определение оптимальной плотности тока для прямого электролиза низкоминерализованной воды с различным содержанием хлоридов.

Исследования получения гипохлорита натрия прямым электролизом проводили на низкоминерализованных водах с концентрацией хлоридов 25, 50 и 100 мг/дм³. Объектом изучения служила модельная вода, которую готовили путем растворения навесок поваренной соли марки «Экстра» в дистиллированной воде.

Эксперименты проводили на лабораторной проточной установке (рис. 1), которая включала бездиафрагменную электрохимическую ячейку (объем 18 мл), изготовленную из прозрачного винипласта и состоящую из крышки, входного и выходного штуцеров и электродов. В качестве электродов использовали оксидный иридиево-рутениеово-титановый анод (ОИРТА). Рабочие площади анода и катода составляли по 33,32 см².

В процессе эксперимента измеряли температуру, концентрацию активного хлора, pH и напряжение. Суммарную концентрацию генерируемых при электролизе окислителей определяли йодометрическим методом по ГОСТ 18190-72 «Методы определения содержания остаточного активного хлора» эквивалентно активному хлору (концентрация по эквиваленту активного хлора).

Динамика образования эквивалента активного хлора при прямом электролизе воды с концентрацией хлоридов 25 мг/дм³ представлена

на рис. 2. Максимальное содержание активного хлора наблюдалось при плотности тока 100 и 300 А/м². При этом были получены концентрации активного хлора (37,6 и 39,1 мг/дм³), превышающие концентрацию хлоридов в исходном растворе (25 мг/дм³), что предположительно можно объяснить образованием дополнительных окислителей, таких как перекись водорода, озон, атомарный кислород [8; 9]. Так, авторами [9] было установлено, что при электролизе воды с концентрацией хлоридов 0,1–20 мг/дм³ происходит образование соединений хлора (хлорноватистая кислота HClO и гипохлорит-ион ClO⁻), а также перекись водорода. При плотности тока 30 А/м²

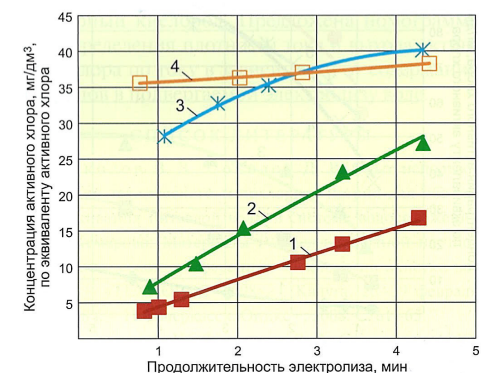


Рис. 2. Зависимость концентрации активного хлора от продолжительности электролиза с содержанием хлоридов в растворе 25 мг/дм³ плотность тока, А/м²: 1 – 20; 2 – 30; 3 – 100; 4 – 300

была получена максимальная концентрация активного хлора 27 мг/дм^3 , при 20 А/м^2 – 17 мг/дм^3 .

Эффективность электролиза оценивали по выходу хлора по току. Максимальный выход хлора по току составил 6,5% при плотности тока 30 А/м^2 (рис. 3).

Динамика образования активного хлора при электролизе воды с концентрацией хлоридов 50 мг/дм^3 представлена на рис. 4, из которого следует, что максимальная концентрация генерируемого окислителя (90 мг/дм^3) по эквиваленту активного хлора была получена при плотно-

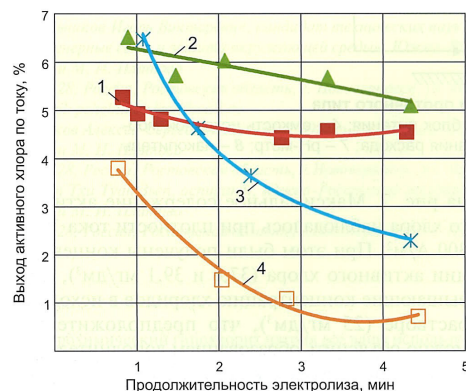


Рис. 3. Зависимость выхода активного хлора по току от продолжительности электролиза с содержанием хлоридов в растворе 25 мг/дм^3 плотность тока, А/м^2 : 1 – 10; 2 – 20; 3 – 30; 4 – 100

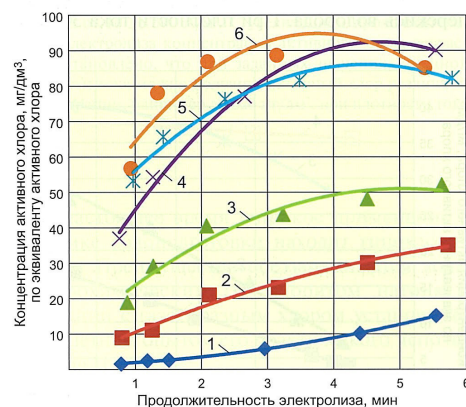


Рис. 4. Зависимость концентрации активного хлора от продолжительности электролиза с содержанием хлоридов в растворе 50 мг/дм^3 плотность тока, А/м^2 : 1 – 10; 2 – 20; 3 – 30; 4 – 50; 5 – 100; 6 – 150

сти тока 150 А/м^2 . Так же, как и при исследовании электролиза воды с содержанием хлоридов 25 мг/дм^3 , были получены суммарные концентрации окислителей, превышающие исходное содержание хлоридов в растворе.

Максимальный выход активного хлора 24% был достигнут при плотности тока 50 А/м^2 (рис. 5).

Динамика образования окислителей при электролизе раствора с концентрацией хлоридов 100 мг/дм^3 представлена на рис. 6. При электролизе с плотностью тока 500 А/м^2 макси-

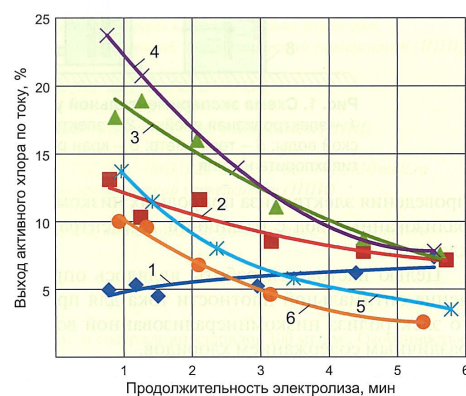


Рис. 5. Зависимость выхода активного хлора по току от продолжительности электролиза с содержанием хлоридов в растворе 50 мг/дм^3 плотность тока, А/м^2 : 1 – 10; 2 – 20; 3 – 30; 4 – 50; 5 – 100; 6 – 150; 7 – 300; 8 – 500

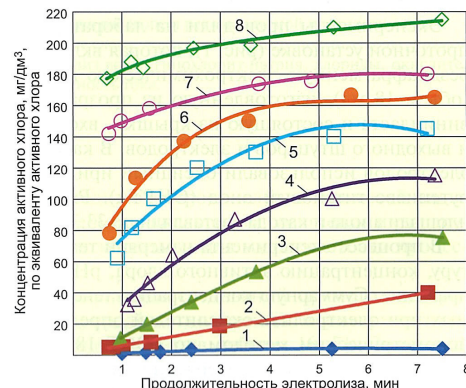


Рис. 6. Зависимость концентрации активного хлора от продолжительности электролиза с содержанием хлоридов в растворе 100 мг/дм^3 плотность тока, А/м^2 : 1 – 10; 2 – 20; 3 – 30; 4 – 50; 5 – 100; 6 – 150; 7 – 300; 8 – 500

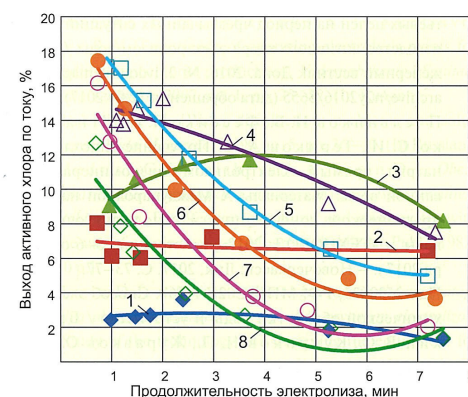


Рис. 7. Выход активного хлора по току от продолжительности электролиза модельной воды с содержанием хлоридов 100 мг/дм^3 плотность тока, А/м^2 : 1 – 10; 2 – 20; 3 – 30; 4 – 50; 5 – 100; 6 – 150; 7 – 300; 8 – 500

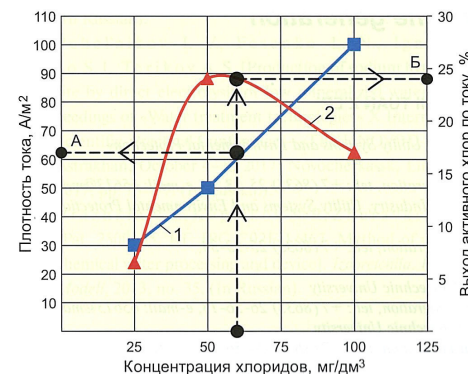


Рис. 8. Номограмма для определения плотности тока (1) и выхода активного хлора по току (2) в зависимости от концентрации хлоридов

мальная концентрация окислителей составляла 215 мг/дм^3 , при 50 А/м^2 – 115 мг/дм^3 . Эффективность процесса электролиза при плотности тока 100 А/м^2 составила 17%, при 50 А/м^2 – 15%.

По результатам исследований (рис. 3, 5, 7) был определен выход активного хлора по току в зависимости от его анодной плотности при электролизе воды в течение одной минуты с концентрацией хлоридов 50 и 100 мг/дм^3 . Полученная номограмма (рис. 8) позволяет определить выход активного хлора по току и назначить его оптимальную анодную плотность в зависимости от исходной концентрации хлоридов в воде. Например, при концентрации хлоридов в растворе 60 мг/дм^3 рекомендуемая анодная плотность то-

ка составит 61 А/м^2 (точка А), при которой выход активного хлора будет равным 24% (точка В).

Сложная зависимость выхода активного хлора по току, по-видимому, связана с различными механизмами электрохимических реакций, протекающих при исследуемых значениях плотности тока. Очевидно, что при больших значениях доля электричества, идущего на образование кислорода, будет преобладать над реакциями окисления хлоридов, ресурс которых ограничен. Как видно из рис. 2, 4, 6, с увеличением концентрации хлоридов в растворе увеличивается и концентрация окислителей, получаемых прямым электролизом. Для концентрации 25 и 50 мг/дм^3 хлоридов электролиз целесообразно проводить при плотности тока 30 и 50 А/м^2 , выход хлора по току при этом составит 6,5 и 24% соответственно. При содержании хлоридов в растворе 100 мг/дм^3 электролиз следует проводить при плотности тока 100 А/м^2 , выход хлора по току при этом составит 17% (рис. 8).

Выводы

Результаты проведенных исследований продемонстрировали реальную возможность получения окислителей с концентрацией до 220 мг/дм^3 по эквиваленту активного хлора при анодной плотности тока 500 А/м^2 и содержании хлоридов до 100 мг/дм^3 . Выход активного хлора по току достигал 17% при продолжительности электролиза одна минута. Превышение суммарной концентрации окислителей по эквиваленту активного хлора после электролиза над концентрацией хлоридов в исходном растворе предположительно обусловлено попутным образованием дополнительных окислителей, таких как перекись водорода, озон, атомарный кислород. Предложена номограмма для определения плотности тока и выхода активного хлора по току в зависимости от содержания хлоридов в подвергаемой электролизу воде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Соколов В. Д., Соколов Д. В. Опыт использования технического гипохлорита натрия для обеззараживания питьевой воды в системе водоснабжения г. Кемерово: Материалы IV Международной научно-практической конференции «Технологии очистки воды – «ТЕХНОВОД-2008», г. Калуга, 26–29 февраля 2008 г. – Новочеркасск: Оникс+, 2008. С. 61–65.
- Фесенко Л. Н., Денисов В. В., Скрыбин А. Ю. Дезинфектант воды – гипохлорит натрия: производство, применение, экономика и экология. – Ростов-на-Дону: Издательство Северо-Кавказского научного центра высшей школы Южного федерального университета, 2012. С. 9–66.

3. Фесенко Л. Н., Игнатенко С. И., Кудрявцев С. В. Опыт эксплуатации электролизных установок для получения гипохлорита натрия // Водоснабжение и санитарная техника. 2007. № 1. С. 25–32.
4. Бахир В. М. Обеззараживание воды: проблемы и решения // Вода Magazine. 2008. № 5. С. 36–40.
5. Медриш Г. Л., Тейшева А. А., Басин Д. Л. Обеззараживание природных и сточных вод с использованием электролизера. — М.: Стройиздат, 1982. 80 с.
6. Басин Д. Л. Исследование технологии и разработка аппаратуры для обеззараживания питьевой воды прямым электролизом: Дисс. ... канд. техн. наук. — М., 1978. 140 с.
7. Бреус С. А., Скрыбин А. Ю., Фесенко Л. Н. Разработка технологии очистки природной воды для питьевых целей на период чрезвычайных ситуаций: производство активного хлора электролизом воды // Инженерный вестник Дона. 2016. № 2. ivdon.ru/magazine/archive/n2y2016/3655 (дата обращения 12.04.2017).
8. Пчельников И. В., Фесенко Л. Н., Игнатенко С. И., Териков А. С. Получение гипохлорита натрия прямым электролизом низкоминерализованной воды: Материалы X Международной научно-практической конференции «Технологии очистки воды — «ТЕХНОВОД—2017», г. Астрахань, 5–6 октября 2017 г. — Новочеркасск: Лик, 2017. С. 73–77.
9. Пат. 2500625, РФ. МПК C02F 1/467. Способ электрохимической обработки воды и устройство / Бражкин В. С., Куприков Н. П., Журавков О. А. // Изобретения. Полезные модели. 2013. № 35.

Study of chloride concentration effect on the generation of active chlorine in direct electrolysis

L. N. FESENKO¹, I. V. PCHEL'NIKOV², A. S. TERIKOV³, NGUEN TKHI TUAN Z'EP⁴

¹ Fesenko Lev Nikolaevich, Doctor of Engineering, Professor, «Water Industry, Utility Systems and Environmental Protection» Department, Platov South-Russian State Polytechnic University
132 Prosveshcheniia St., 346428, Novochoerkassk, Rostov Area, Russian Federation, tel.: +7 (8635) 25-53-34, e-mail: 65613@mail.ru

² Pchel'nikov Igor Viktorovich, Ph. D. (Engineering), Senior Lecturer, «Water Industry, Utility Systems and Environmental Protection» Department, Platov South-Russian State Polytechnic University
132 Prosveshcheniia St., 346428, Novochoerkassk, Rostov Area, Russian Federation, tel.: +7 (8635) 25-53-34, e-mail: pchel'nikov.igor@mail.ru

³ Terikov Aleksei Sergeevich, Master Degree, Platov South-Russian State Polytechnic University
132 Prosveshcheniia St., 346428, Novochoerkassk, Rostov Area, Russian Federation, tel.: +7 (8635) 26-56-13, e-mail: 65613@mail.ru

⁴ Nguen Tkhi Tuan Z'ep, Ph. D. Candidate, Platov South-Russian State Polytechnic University
132 Prosveshcheniia St., 346428, Novochoerkassk, Rostov Area, Russian Federation, tel.: +7 (8635) 26-56-13, e-mail: 65613@mail.ru

Electrochemical sodium hypochlorite has been most often used in water treatment at the water and wastewater treatment facilities. Natural water containing chlorides can be used as raw material for its production. The results of studies of electrolysis of low mineralized water with 25, 50 and 100 mg/dm³ chloride concentration are presented. The simulated solution was prepared by «Ekstra» table salt dilution in distilled water. The tests were carried out within 10–500 A/m² current density range. The concentration of active chlorine is increasing alongside with the electrolysis time. It is stated that at the preset values of anodic current density active chlorine of different concentrations can be obtained, e. g. up to 220 mg/dm³ at 100 A/m² current density and 100 mg/dm³ chloride concentration. The process is notable for the amount of generated active chlorine exceeding the stoichiometric chloride concentration in water in process up to 1.7–1.9 times; this can be caused by the formation of other oxidants, e. g. hydrogen peroxide. At the current density less than 500 A/m² the output of active chlorine decreases. According to the experimental results a nomogram for determining the active chlorine current yield depending on the chlorine concentration in the solution and current density is proposed.

Key words: underground and surface water, direct water electrolysis, sodium hypochlorite, chlorides, oxidants, current density.

REFERENCES

1. Sokolov V. D., Sokolov D. V. [The experience of using commercial sodium hypochlorite for drinking water disinfection in the Kemerovo water supply system]. Proceedings of «Water treatment technologies» IV International Scientific-Practical Conference — «ТЕХНОВОД—2008», Kaluga, February 26–29, 2008. Novochoerkassk, Oniks+ Publ., 2008, pp. 61–65. (In Russian).
2. Fesenko L. N., Denisov V. V., Skriabin A. Iu. *Dezinfektant vody — gipokhlorit natriya: proizvodstvo, primeneniye, ekonomika i ekologiya* [Disinfectant for water — sodium hypochlorite: production, application, economics and ecology. Rostov-on-Don, Publishing House of the North Caucasian Scientific Centre of the Higher School of the Southern Federal University, 2012, pp. 9–66].

3. Fesenko L. N., Ignatenko S. I., Kudriavtsev S. V. [Experience of operating electrolysis plants for sodium hypochlorite production]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika*, 2007, no. 1, pp. 25–32. (In Russian).
4. Bakhir V. M. [Water disinfection: problems and solutions]. *Voda Magazine*, 2008, no. 5, pp. 36–40. (In Russian).
5. Medrish G. L., Teisheva A. A., Basin D. L. *Obez-zharazhivaniye prirodnykh i stochnykh vod s ispol'zovaniem elektrolizera* [Disinfection of natural and waste water with the use of an electrolyzer. Moscow, Stroizdat Publ., 1982, 80 p.].
6. Basin D. L. *Issledovanie tekhnologii i razrabotka apparatury dlya obez-zharazhivaniya pit'evoy vody pryamym elektrolizom* [Study of the technology and designing the equipment for drinking water disinfection with direct electrolysis. Ph. D. thesis in Engineering Science. Moscow, 1978, 140 p.].
7. Breus S. A., Skriabin A. Iu., Fesenko L. N. [Developing the technology of natural water purification in emergency situations: production of active chlorine by water electrolysis]. *Inzhenernyy Vestnik Dona*, 2016, no. 2. ivdon.ru/magazine/archive/n2y2016/3655 (accessed 12.04.2017). (In Russian).
8. Pchel'nikov I. V., Fesenko L. N., Ignatenko S. I., Terikov A. S. [Production of sodium hypochlorite by direct electrolysis of low mineralized water]. Proceedings of «Water treatment technologies» X International Scientific-Practical Conference — «ТЕХНОВОД—2017». Astrakhan, October 4–6, 2017. Novochoerkassk, Lik Publ., 2017, pp. 73–77. (In Russian).
9. Brazhkin V. S., Kuprikov N. P., Zhuravkov O. A. [Pat. 2500625, RF. IPC C02F 1/467. Method of electrochemical water processing and device]. *Izobreteniya. Poleznye Modeli*, 2013, no. 35. (In Russian).

**12 августа –
День строителя!**



ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА

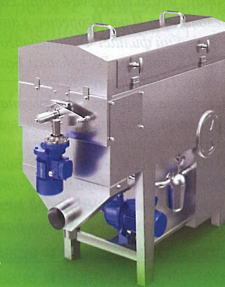
Комбинированные
установки объединяют
два модуля:
механическую решетку и
аэрируемую песколовку

Производительность
от 5 до 185 л/с

ДООЧИСТКА

Барабанные фильтры
обеспечивают
снижение
концентрации взвеси
твёрдых частиц

Производительность
от 15 до 60 м³/ч



ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ОСАДКА

Комбинированная
система обезвоживания
объединяет
предварительный
динамический
сгуститель и ленточный
фильтр-пресс

Производительность
от 1 до 40 м³/ч



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«345 МЕХАНИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

(495) 521-73-96
voda@345mz.ru
www.345mz.ru



На правах рекламы