

ISSN 2072-2710
2016/5 (101)

Производственно-технический
и научно-практический журнал



ВОДОЧИСТКА
ВОДОПОДГОТОВКА
ВОДОСНАБЖЕНИЕ



ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗНЫХ УСТАНОВОК ПРОИЗВОДСТВА НИЗКОКОНЦЕНТРИРОВАННОГО ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ

Фесенко Л.Н.¹
д-р техн. наук,
проф.

Игнатенко С.И.²
канд. техн. наук,
заместитель директора
по научной работе

Пчельников И.В.¹
канд. техн. наук,
ассистент

Чернесов А.Ю.²
канд. техн. наук,
главный инженер

Федотов Р.В.¹
канд. техн. наук,
доцент

Бессарабов С.Ю.¹
аспирант

1 - Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск
2 - ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск

Показан опыт эксплуатации современных электролизных установок производства низкоконцентрированного гипохлорита натрия. Рассмотрены недостатки, возникающие в процессе их эксплуатации. Приведены примеры решения основных проблем, возникающих при работе электролизных станций. Рассмотрены зарубежные и отечественные технологии и электролизные установки.

Ключевые слова: электролиз, гипохлорит натрия, обеззараживание, поваренная соль, хлор, импортозамещение.



Рисунок 1

Четыре электролизных установки «Хлорэкс» УГ-25МК-250 производительностью 250 кг/сут. по активному хлору каждая для обеззараживания питьевой воды (г. Ростов-на-Дону).

Практика обеззараживания питьевой воды хлорированием, получившая в России начало и развитие в Петербурге в начале 20-х годов прошлого столетия (ГВС СПб, 1912 г.), практически решила проблему эффективного санитарного обеспечения водоснабжения населенных мест. Однако, в свете современных требований обеззараживания воды газообразным хлором, завозимым на водоочистные станции в сжиженном виде, имеет ряд недостатков, среди которых самым существенным является способность хлора в случае его утечки поражать не только обслуживающий персонал, но и население прилегающей к водоочистной станции территории. Транспортирование емкостей с хлором и хранение его многоотонных запасов на складах представляет реальную опасность для городов и населенных пунктов. Это обстоятельство дало развитие тенденции отказа от традиционного хлорирования при подготовке питьевой воды в пользу электролитического гипохлорита натрия (ГХН), получаемого на месте потребления путем электролиза раствора поваренной соли.

Метод электролитического получения раствора гипохлорита известен с конца XIX века и хорошо изучен, но в силу ряда преимуществ он по-прежнему остается перспективным и в последнее время находит все более широкое практическое применение, постоянно совершенствуясь и модернизируясь в направлении повышения эколого-экономических показателей технологического процесса.

В Ростовской области, одной из первых в России, также начался и продолжается сейчас процесс постепенного перевода водоочистных станций с жидкого хлора на ГХН. В декабре 2008 г. на очистных сооружениях Центрального водопровода г. Ростова-на-Дону (ОСВ-1) была пущена в эксплуатацию первая крупная отечественная электролизная станция производительностью 1 т/сут. по эквивалентному хлору с электролизным оборудованием производства ООО НПП «ЭКОФЕС». На момент пуска эта станция по мощности стала второй в России после Санкт-Петербурга (рис. 1) [1].

Почти восьмилетний положительный опыт эксплуатации крупнейшей отечественной электролизной станции на ОСВ-1 открыл реальную перспективу полного импортозамещения российским электролизным оборудованием при крупнотоннажном производстве ГХН.

До некоторого времени сдерживающим фактором развития отечественных установок по получению низкоконцентрированного ГХН являлась их невысокая производительность по вырабатываемому активному хлору, вследствие чего водоочистные станции столкнулись с дилеммой: либо установка пакета, состоящего из десятков параллельно работающих мелких электролизеров, либо приобретение более производительных единичных импортных дорогостоящих аппаратов. В России самые мощные электролизные установки работают в Санкт-Петербурге (Водопроводные станции «Северная» – 3,5 т и «Южная» – 4,5 т по эквиваленту хлора в сутки производства фирмы «NEWTES») [2]; г. Иваново (две установки по 680 кг/сут., фирма «GRUNDFOS/ALLDOS»); г. Набережные Челны (два электролизера НСТ-1500 по 680 кг эквивалентного хлора в сутки производства

Severn Trent De Nora); г. Уфа (Северный инфильтрационный водозабор, три установки по 113 кг/сут., фирма «Wolles & Tiernan»). С другой стороны, потребители иностранных технологий попадают в неизбежную зависимость от зарубежного сервиса и ремонта, а также от поставок импортных комплектующих и расходных материалов (прежде всего крайне дорогих окисно-иридиевых титановых анодов с гарантийным сроком эксплуатации металлооксидного покрытия 2-3 года), что вызывает серьезные финансовые проблемы и некоторую неуверенность у импортоприобретателей, особенно обострившуюся в сегодняшних условиях нарастающих санкций со стороны стран Евросоюза.

Именно с такой ситуацией пришлось столкнуться одному из крупнейших российских водоканалов, на водоочистных станциях которого в течение 3-х лет эксплуатируется 6 электролизных установок «GRUNDFOS/ALLDOS» производительностью 156 кг/сут. по эквиваленту хлора каждая. Выработка срока службы анодного покрытия ОПТА и связанное с этим резкое снижение концентрации вырабатываемого

гипохлорита натрия потребовало срочной замены пакета электродных пластин особой конструкции, приобретение и монтаж которых в электролизные аппараты фирма-производитель оценила в десятки миллионов рублей. В итоге монопольную ситуацию на рынке комплектующих материалов к импортным электролизерам приходится исправлять отечественным производителям, среди которых далеко не каждый способен обеспечить адекватную замену.

Кроме того, все иностранные компании, а вслед за ними и Российские фирмы («Невский Кристалл», «Юпитер», «РутТех», «Аквахим» и др.) при производстве гипохлорита используют глубокоумягченную воду и специальную соль (таблетированную или марки «Экстра», в крайнем случае высшего сорта), не содержащую кальция и магния, что удорожает процесс на 30-40%. И если воду не трудно умягчать на месте ее использования (как правило, электролизные станции зарубежного образца поставляются только в комплекте с *Na*-катионитовыми фильтрами), то соль марки «Экстра» в России не производится (ближайший поставщик – Белорусская «Мозырь-соль») и ее цена в 3-5 раз выше Астраханской, Илецкой и др.

В результате для продвижения своей продукции на рынке некоторые отечественные производители широко заявляют о возможности

использования на их установках поваренной соли любой сортности забывая при этом, что в глубоко умягченной *Na*-катионированной воде при растворении такой соли происходит вторичное насыщение воды ионами жесткости, присутствующими в низкосортной соли. В итоге в течение весьма короткого времени их электролизные аппараты практически полностью обрастают карбонатными отложениями с закупоркой межэлектродного пространства (рис. 2) и нарушением гидравлики протока. Отсутствие автоматической кислотной промывки электролизеров, регулярность и периодичность которой не зависит от «человеческого» фактора, и неработающая при этом в нормальном режиме водоподготовка только усугубляют процесс.

При сравнительной схожести в мировой практике технологий электролитического получения гипохлорита натрия, тем не менее, конкурентоспособность электролизной установки, а, следовательно, перспективы её широкомасштабного применения определяются в основном:

- возможностью применения соли любого качества;
- энергосбережением;
- расходами на подготовку воды для рабочего солевого раствора;



Рисунок 2
Пакет электродов спустя 5 месяцев эксплуатации на неподготовленной воде и отсутствии автоматической регулярной кислотной промывки.



Рисунок 3
Электролизная станция на Александровских ОСВ с семью установками «Хлорэкс» производительностью 7 т/сут. по эквиваленту хлора для обеззараживания питьевой воды (г. Ростов-на-Дону).

- безотходностью технологического цикла, не требующего проведения дополнительных природоохранных мероприятий;
- безопасностью и надежностью производства гипохлорита.

возможно меньшего числа отдельных аппаратов, что значительно облегчает монтаж, техническое обслуживание, автоматизацию и управление установкой. Также повышается надежность работы установок и сокращается регламент ликвидации нештатных или аварийных ситуаций.

Исходя из этих положений основные научно-технические решения, принятые при разработке технологии производства гипохлорита натрия крупнейшей на Юге России станции очистки питьевой воды на Александровских ОСВ [3, 4] заключались в следующем. При разработке электролизных систем реализуется модульный принцип: имеется модельный ряд электролизеров различной мощности, с помощью которого масштабируется производительность всей установки путем подбора необходимого количества электролитических аппаратов определенной модели. Экономически целесообразно использование

За основу электролизного узла на Александровских ОСВ в установке принят специально разработанный новый проточный электролизер «Хлорэкс» УГ-25МК-1000 производительностью 1 т эквивалентного хлора в сутки (всего на станции 5 рабочих и 2 резервных электролизных модуля), который состоит из двух параллельно работающих автономных модулей (по 500 кг/сут.) с индивидуальными блоками питания (рис. 3).

Производство ГПХН осуществляется по непрерывной схеме. В электролизном модуле применяется каскад из проточных последовательно

расположенных электролитических аппаратов с биполярными электродами в виде пластин, помещенных в общий непроводящий цилиндрический корпус из полихлорвинила, что обеспечивает однородность потока электролита и равномерность скорости его прохождения через каждый аппарат и, соответственно, высокую эффективность электрохимических процессов на катоде и аноде. Аппараты этой конструкции зарекомендовали себя исключительно с позитивной стороны в промышленном производстве ГПХН на ОСВ-1 Центрального водопровода. По аналогичной схеме работают проточные электролитные аппараты фирмы «NEWTEC» (Санкт-Петербург), «GRUNDFOS/ALLDOS» (Иваново) и «Wallace and Tiernan» (Уфа).

Как известно, выход хлора по току на катодное восстановление и анодное окисление гипохлорита натрия снижается приблизительно на 2% с понижением температуры на 1°. Поэтому, для снижения энергозатрат между третьей и четвертой секциями электролизера последовательно по ходу движения солевого раствора расположен теплообменник, который в жаркое время года охлаждает раствор полученного гипохлорита натрия, а в холодный период - подогревает поступающий в первую секцию электролитного модуля солевой раствор.

Немаловажным достоинством новой отечественной электролитной станции перед зарубежными аналогами, помимо меньшей стоимости, является возможность использования относительно низкосортной поваренной соли и, соответственно, в несколько раз более дешевой. Как отмечалось, что все предлагаемые на Российском рынке импортные электролитные установки известных иностранных фирм работают только на глубоко умягченной воде и соли марки «Экстра», в противном случае они снимают с себя все гарантийные обязательства. Применение же соли пониженной сортности в установках отечественного образца вызывает вторичное насыщение солями жесткости уже умягченной воды и, как следствие, обрастание электродов карбонатными отложениями происходит в считанные часы. Также отметим, что применяемая как в отечественных, так и в импортных установках «NEWTEC», «GRUNDFOS/ALLDOS», «OSEC» и др. система умягчения воды *Na*-катионированием требует дополнительного потребления воды и соли на регенерацию катионита и, что наиболее проблематично, этими установками не решается

проблема очистки (или утилизации) отработанных высококонцентрированных хлоридно-магниево-кальциевых регенерационных растворов, а также взрывающей и отмывочной воды. В технологических схемах такие сбросы производители электролитных установок обозначают обтекаемым выражением «в дренаж», а по сути – в хозяйственно-бытовую канализацию, что категорически неприемлемо и запрещено.

На электролитной установке Александровских ОСВ проблема использования низкоккачественной (и дешевой) соли решается методом декарбонизации рабочего солевого раствора, приготовленного на неумягченной водопроводной воде. При этом реализуется наиболее простая, значительно менее затратная и безотходная (какие-либо сбросы отсутствуют) технология удаления осадкообразующего иона гидрокарбоната путем подкисления воды до $\text{pH}=4,0-4,2$ с переводом HCO_3^- в свободную углекислоту и последующей отдувкой её в пленочном дегазаторе.

Такая технология подготовки солевых растворов впервые была реализована на электролитной станции ОСВ Центрального водопровода Ростова-на-Дону и в течение восьми лет эксплуатации демонстрирует свою высокую эффективность и надежность.

Приготовление рабочего 3%-ного раствора соли осуществляется по следующей схеме: насыщенный солевой раствор готовится на водопроводной воде, затем насосом-дозатором подается в трубопровод водопроводной воды с доведением концентрации *NaCl* до 3%. В тот же трубопровод дозируется 5%-ная соляная кислота для доведения величины pH до значения 4,0-4,5. Подкисленный рабочий 3%-ный солевой раствор подается в декарбонизатор (пленочный дегазатор), где свободная двуокись углерода отдувается воздухом с удельным расходом $15 \text{ м}^3/\text{м}^3$ дегазируемой воды. Концентрация свободной двуокиси углерода в солевом растворе снижается со 150-170 мг/л до 3-5 мг/л. Содержание гидрокарбоната на выходе из дегазатора практически отсутствует. Дегазированный и декарбонизированный солевой раствор направляется на электролитную установку.

Приготовление насыщенного раствора соли производится в сатураторе путем растворения хлорида натрия в неподвижном слое соли

в режиме естественной конвекции и фильтрации. Проходя через слой поваренной соли, получаемый рассол собирается дренажным коллектором и далее насосом подается на напорный механический фильтр, загруженный кварцевым песком, для глубокой очистки рассола от нерастворимых примесей. Объем сатуратора рассчитан на разовую загрузку в него 10 т поваренной соли с получением раствора 26%-ной концентрации.

В зарубежных технологиях промывка сатуратора от осевших в нем нерастворимых примесей не предусмотрена, поскольку технология предполагает использование только высокосортной соли, квалифицируемой как химически чистая и свободной от каких-либо посторонних включений. В нашем случае, при использовании соли первого сорта, содержание примесей может составлять от 1 до 2%. Поэтому технология включает и периодическую промывку сатуратора обратным током воды (снизу вверх по типу водопроводных фильтров), подаваемой в дренаж из хозяйственно-питьевого водопровода, что выгодно отличает такую схему от тех, где отсутствие промывки сатуратора создает проблемы кольматации нижнего дренажного слоя или щелевых фильтров.

Сооружения повторного использования промывных вод сатуратора разработаны в виде последовательно расположенных вертикальной песколовки и отстойника промывных вод периодического действия. Удаление песка из приемка песколовки производится по мере его заполнения песковым насосом с подачей пульпы на пескоотмывочную машину со шнековой выгрузкой отмытого песка в сменный контейнер.

Отстойник промывных вод конструктивно представляет собой горизонтально расположенную цилиндрическую емкость с уклоном днища к грязевому приемку. Отбор осадка из приемка осуществляется периодически по мере накопления путем взмучивания его системой гидросмыва и перекачки погружным насосом в производственную канализацию водоочистных сооружений (сооружения обработки и повторного использования промывных вод скорых фильтров). Отбор отстоянной воды производится с верхнего уровня при помощи гибкого рукава, закрепленного на поплавке. Вода из отстойника направляется на напорный песчаный фильтр (установлены два попеременно работающих фильтра с автома-

тической промывкой) и далее возвращается в сатуратор. Промывка фильтров производится водопроводной водой с последующим сбросом в сооружения повторного использования водочистой станции.

Разработанная технология позволяет возвращать в схему солерастворения практически всю воду, используемую для промывки сатуратора. Отметим, что сброс промывной воды от сатуратора не в специально предназначенные для этой цели сооружения, например, в сооружения по обработке и возврату воды от промывки фильтров БОС, не приемлем по причине высокой минерализации таких стоков по хлориду натрия.

Наконец, имеется, еще один вид стоков, подлежащих переводу их в состояние, отвечающее требованиям, предъявляемым к приему в промканализацию БОС, либо возврату в схему электролиза. Это стоки от промывки электролизеров раствором соляной кислоты. В технологии «Newtec» (Водопроводные станции г. Санкт-Петербурга «Северная» – 3,5 т и «Южная» – 4,5 т по эквиваленту хлора в сутки) по мере образования на катодных пластинах отложений карбоната кальция проводится периодическая промывка электролизеров в закрытом контуре 4%-ным раствором соляной кислоты. Промывку осуществляют подключением к очередному электролизеру передвижной мобильной установки с размещенной на ней емкостью с кислотой и циркуляционным насосом. В литературе нет информации о месте выпуска отработанной кислоты (также, как и отработанных солевых регенерационных растворов от *Na*-катионирования). Очевидно сброс осуществляется по схеме «в дренаж».

В технологии электролитной станции, разработанной, спроектированной и смонтированной ООО НПП «ЭКОФЕС», предусмотрено стационарно установленное кислотное хозяйство с подачей 5-7% раствора *HCl* отдельно на каждый из семи установленных электролизеров. Соляная кислота многократно используется до полной её нейтрализации, и уже нейтральный раствор насосом возвращается в сатуратор небольшим расходом (по проекту 48 л/час).

Таким образом, технологии приготовления солевых растворов, подготовки воды для электролиза с целью минимизации катодных отложений, кислотной промывки катодов на уже эксплуатируемой



Рисунок 4

Монтаж трех электролизных установок «Хлорэфс» по 500 кг/сут. каждая на Левенцовских ВОС производительностью 150 тыс. м³/сут. питьевой воды для нужд (г. Ростов-на-Дону).

с 1 июня 2015 г. и в настоящее время крупнейшей в России и второй в мире станции по получению электролитического гипохлорита натрия на ВОС г. Ростова-на-Дону в отличие от импортных технологий являются экологически чистыми и полностью безотходными со 100%-ным использованием или оборотом всех применяемых в технологии реагентов (воды, поваренной соли, соляной кислоты).

В числе крупных отечественных объектов смонтированы и подготовлены к пусконаладочным работам еще пять установок производства «ЭКОФЕС» по 500 кг/сут. каждая на водозаборе из р. Дон и Левенцовских ВОС (вновь построенных с подачей 150 тыс. м³/сут. питьевой воды для нужд г. Ростова-на-Дону, рисунок 4).

Вывод

Налаженное в России производство электролизеров для получения ГХН большой мощности, не уступающих по своим технико-экономическим показателям иностранным аналогам, а в технологическом плане их превосходящим, позволит полностью отказаться от импортных поставок и реализовать импортозамещение данного рода оборудования отечественным производителем.

Литература:

1. Фесенко Л.Н., Скрябин А.Ю., Игнатенко С.И. Опыт применения гипохлорита натрия при обеззараживании воды на очистных сооружениях Центрального водопровода г. Ростова-на-Дону // Водоснабжение и сан. техника. 2009. №9. С. 46-51.
2. Кинебас А.К., Нефедова Е.Д., Бекренев А.В. Обеззараживание воды низкоконцентрированным гипохлоритом натрия на водопроводных станциях Санкт-Петербурга // Водоснабжение и сан. техника. 2010. №3. С. 24-29.
3. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Скрябин А.Ю., Пчельников И.В. Пути решения экологичности и безотходности производства электролитического гипохлорита натрия для обеззараживания питьевых вод // Водоочистка. 2014. №3. С. 9-16.
4. Фесенко Л.Н., Скрябин А.Ю., Игнатенко С.И., Федотов Р.В. Обеспечение безотходности и экологичности технологии производства гипохлорита натрия на установках «Хлорэфс» // Водоснабжение и сан. техника. 2011. №8. С. 25-29.

НОВОСТИ

Оборудование на 7 миллионов евро поставят в Петрозаводск в рамках проекта по реконструкции канализационных сооружений

В декабре 2016 года завершится первый этап реконструкции и модернизации канализационных очистных сооружений Петрозаводска. На одном из следующих этапов планируется внедрение новых технологий утилизации осадка сточных вод. Проект реконструкции и модернизации канализационных очистных сооружений Петрозаводска реализует ООО «Петрозаводские коммунальные системы» с привлечением средств международных кредитов. Его стоимость составляет 700 млн. рублей. Все работы идут по плану, и сегодня объект находится в высокой степени готовности. Оборудование для очистных сооружений предусмотрено в рамках гранта на сумму 7 млн. евро: часть его уже поступила (на 1,3 млн. евро). До завершения реализации проекта будет поставлено оборудования еще на 5,7 млн. евро.

Источник: Официальный сервер органов государственной власти Республики Карелия.