



МАТЕРИАЛЫ
V МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ»,
посвященной 120-летию ОАО «АУРАТ»



Кисловодск
2009

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	6
С.В. Гетманцев. ОАО «АУРАТ»: 120 лет на службе России.....	9
В.А. Лысов, В.А. Михайлов. Кафедре «Водоснабжение и водоотведение» РГСУ – 50 лет.....	14
І. КОАГУЛЯНТЫ, ФЛОКУЛЯНТЫ. ОПТИМИЗАЦИЯ КОАГУЛЯЦИОННОЙ ВОДООБРАБОТКИ	16
С.В. Гетманцев, А.В. Сычев, Л.В. Гандурина. Эффективность сульфата и полиоксихлоридов алюминия «АКВА-АУРАТ™» при очистке речных маломутных вод с разной цветностью.....	16
В.А. Михайлов, А.А. Лоскутов, А.А. Велигурина. Экономический аспект реагентной обработки донской воды.....	22
Ю.А. Егорова, В.Н. Ерчев, С.В. Гетманцев, В.П. Овчинников. Экономическое обоснование применения современных коагулянтов при очистке поверхностных вод.....	25
С.В. Гетманцев, С.Н. Линевич, Г.В. Шишло. Разработка мер по повышению эффективности технологии водообработки с применением метода контактной коагуляции и коагулянта «АКВА-АУРАТ™30».....	32
С.Н. Линевич, С.В. Гетманцев, Г.Н. Трусов. Дезактивация радиоактивных вод методом контактной коагуляции.....	39
Ю.Ю. Смирнов, Т.В. Кирсанова, И.В. Хлебникова. Подбор флокулянтов для интенсификации процесса осаждения шлама на станции нейтрализации сточных вод горнообогатительного комбината.....	44
Н.Н. Полякова, Г.Н. Земченко. Использование гальванокоагуляционного метода для очистки промышленных сточных вод.....	48
И.П. Турянский, Г.А. Казарьян, Н.П. Рачкова, Т.В. Подлужная. Исследование эффективности применения «АКВА-АУРАТ™30» на воде р. Кубань в условиях работы Анапского водопровода.....	53
С.В. Гетманцев, А.В. Сычев, Г.Б. Рашковский. Очистка волжской воды полиоксихлоридами алюминия.....	57
А.А. Рученин, В.П. Овчинников, С.Ф. Осипов. Отработка режимов смешения промывной и волжской воды с добавлением замутнителя.....	64
Н.С. Серпокрьлов, Е.В. Вильсон. Дефосфотизация сточных вод кальцийсодержащим отходом производства ацетилена.....	69
Т.Г. Мурзабекова. Флокулянты марки ПРАЕСТОЛ, используемые при водоподготовке, очистке стоков и обезвоживании.....	76
ІІ. ЭФФЕКТИВНЫЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИ-БЕЗОПАСНЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ	82
Л.Н. Фесенко, А.Ю. Скрябин, С.И. Игнатенко. Внедрение	

экологически безопасных технологий обеззараживания питьевой воды в г. Ростове-на-Дону.....	82
<i>А.Б. Кожеевников, О.П. Петросян, А.А. Баранов.</i> Хлор и гипохлорит: проблема или дилемма?.....	92
<i>Д.Д. Педашенко, Л.Н. Божско, А.Ю. Скрябин, Г.В. Поповьян, Л.В. Пелипенко.</i> Сравнительная оценка хлорсодержащих дезифектантов на донской воде.....	98
<i>В.Ю. Яковлев.</i> Экспериментально-производственные исследования эффективности обеззараживания воды хлорированием с аммонизацией.....	105
III. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПО ОЧИСТКЕ ПРИРОДНЫХ ВОД.....	108
<i>С.В. Гетманцев, С.Н. Линевич, Ю.И. Кирсанов.</i> Разработка и исследование высокоэффективной компактной технологии по кондиционированию донской воды.....	108
<i>Л.Н. Фесенко, С.И. Игнатенко, А.Л. Фесенко, Р.В. Федотов.</i> К выбору метода деаммонизации подземных вод Северо-Левомукомского месторождения для хозяйственно-питьевых целей.....	115
<i>Л.П. Алексеева, Г.В. Дружинина.</i> Основные методы повышения эффективности очистки воды на водопроводных станциях.....	121
<i>Л.Н. Фесенко, С.И. Игнатенко, А.Л. Фесенко, А.А. Громов.</i> Сравнительная экономическая оценка методов деаммонизации питьевой воды ионообменом и окислением гипохлоритом натрия.....	127
<i>Г.Б. Абуова, Л.В. Боронина.</i> Использование ОБР-1 с целью получения воды хозяйственно-питьевого назначения.....	134
<i>Л.П. Алексеева.</i> Снижение концентрации хлорорганических соединений, образующихся в процессе подготовки питьевой воды.....	138
<i>А.В. Кузнецов.</i> Применение мембранных технологий в производстве обессоленной воды.....	144
<i>А.В. Бутко, В.А. Лысов, Дар.А. Бутко.</i> Полупроизводственные испытания технологии обесцвечивания высокоцветных вод г. Приморско-Ахтарска.....	150
<i>Л.А. Жаджимба, М.Ю. Баринов.</i> Состояние и перспективы системы водоснабжения города Сухума.....	153
<i>Д.В. Кашарин.</i> Определение оптимальных параметров подпорно- аэрационных регулирующих сооружений на грунтонаполняемом флютбете.....	157
<i>Е.Д. Хецуриани.</i> Некоторые соображения по устройству искусственных водоемов (прудов) комплексного использования.....	162
IV. ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ	

ПО ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД	166
Н.С. Серпокрылов, Е.Н. Калининкова. Оперативно-менеджерская оценка работы очистных сооружений водоснабжения и канализации Ханты-Мансийского автономного округа на примере г. Бероярского.....	166
Д.А. Бутко, В.А. Лысов, Л.И. Нечаева, А.Б. Родионова. Закономерности безреагентного осветления промывных вод скорых фильтров.....	170
Н.С. Серпокрылов, А.С. Смоляниченко, Н.И. Лесников, А.В. Подгорный. Технологические параметры аэрационной системы RAUBIOXON как резерв энергосбережения.....	172
К.Г. Гиль. Опыт использования осадка сточных вод в качестве удобрения.....	175
Я.Ю. Каменев, Ю.И. Каменев, Л.П. Сергиенко. Модель глубокой биологической очистки сточных вод.....	180
Л.Г. Спиридонова, Н.И. Лесников, Е.С. Симонова, Ю.А. Куликова. Очистка жиросодержащих сточных вод с использованием отходов производства.....	182
А.В. Механич, Ю.А. Попова. Минимизация токсичности водопроводных осадков и отходов угледобычи.....	186
А.Н. Ножевникова, Н.И. Куликов, М.Г. Зубов. Процесс АНАММОКС как вероятный механизм удаления азота из сточных вод в технологии с применением «ершей Куликова».....	188
Н.И. Куликов, Е.Н. Куликова, Д.Н. Куликов, Л.Н. Приходько. Эколого-экономическая система канализования, очистки сточных вод и подготовки к утилизации выделенных осадков в центральной части г. Сочи.....	191
Д.В. Кашарин, К.С. Тер-Матюсова. Применение мобильных сооружений для локализации и ликвидации нефтяных загрязнений в малых водотоках.....	194
Л.Н. Фесенко, Н.И. Куликов, Д.В. Попов. Специфика сбора, регулирования расходов и очистки дождевых вод в условиях промплощадки в г. Сочи.....	197
VI. ИНФОРМАЦИОННО-РЕКЛАМНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	202
Н. Охрименко. Новый уровень эффективности обезвоживания осадков.....	202
И.В. Иванова. Оборудование для контроля показателей безопасности питьевой, природной и сточной вод.....	207
М.Ю. Соловьев, А.В. Конченко, И.В. Михеева. Гигиеническая оценка состояния водоснабжения и водоотведения населенных мест субъектов Южного Федерального округа.....	210
Реклама	218

II. ЭФФЕКТИВНЫЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИ-БЕЗОПАСНЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ

УДК 628.166:628.1.033(470.61-25)

ВНЕДРЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В Г. РОСТОВЕ-НА-ДОНУ

Л.Н. Фесенко

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ),
г. Новочеркасск, Россия

А.Ю. Скрыбин

ОАО «ПО Водоканал г. Ростова-на-Дону», г. Ростов-на-Дону, Россия

С.И. Игнатенко

ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия

Изложен опыт перевода хлорного хозяйства водопроводных очистных сооружений мегаполиса на безопасную технологию получения дезинфектанта — низкоконцентрированного гипохлорита натрия из раствора поваренной соли любого сорта. Рассмотрен метод предотвращения образования отложений карбоната кальция на катодах электролизера путем кислотной декарбонизации используемой воды. Проводятся данные по изменению состава и pH исходной и подаваемой в сеть воды при её обработке гипохлоритом натрия, а также технологические показатели насыщенного и рабочего солевых растворов.

Непрекращающееся негативное воздействие промышленных производств на окружающую среду привело к росту обеспокоенности в правительственных кругах, научном сообществе и природоохранных органах многих стран, в том числе и России.

Решение экологических проблем мегаполиса, в числе которых и обеспечение гарантированного водоснабжения, связано с чрезмерной сосредоточенностью населения, промышленности и транспорта на относительно небольших территориях. Дискуссии о проблемах, связанных с обеспечением экологической безопасности производства питьевой воды при обеззараживании её газообразным хлором, уже перешли в стадию

принятия неотложных решений во многих Водоканалах. Именно желание отказаться от опасного реагента побуждает руководителей Водоканалов переходить на использование гипохлорита натрия, наиболее безопасного (четвертый класс опасности), малотоксичного и простого в эксплуатации реагента, получаемого на месте потребления путем электролиза раствора поваренной соли.

Первым в мире мегаполисом, полностью отказавшимся от использования жидкого хлора для обеззараживания воды, стал Санкт-Петербург. Последний баллон с ядовитым веществом был вывезен с территории Северной водопроводной станции 27 июля 2009 г.

Разумеется, переоборудование хлораторных потребует некоторых затрат. С другой стороны, хранение огромных запасов жидкого хлора в городской черте может привести к чрезвычайным ситуациям и затраты на ликвидацию их последствий могут оказаться значительно больше.

На гипохлоритные технологии обеззараживания воды уже перешли (или переходят) крупнейшие в России водопроводные станции в Москве, Санкт-Петербурге, Уфе и других городах. С декабря 2008 г. этот метод стали применять на очистных сооружениях Центрального водопровода г. Ростова-на-Дону. Для этого была построена вторая в России по мощности после Санкт-Петербурга электролизная станция производительностью 1000 кг эквивалентного хлора в сутки. Московский, петербургский и уфимский Водоканалы заказывали технологию, строительство и монтаж установок известным иностранным фирмам «Newtec Umweitech GmbH», «Wallase and Tiernan». Ростовский водоканал, предварительно ознакомившись с работой установок зарубежных и российских производителей, принял решение обратиться с заказом к отечественному исполнителю – ООО НПП «ЭКОФЕС» (г. Новочеркасск, Ростовской области).

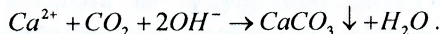
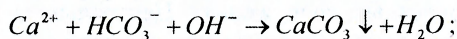
Зарубежные установки значительно дороже отечественных. При этом удельный расход соли и электроэнергии на получение 1 кг эквивалентного хлора соизмеримы. Комплектация насосным, дозирующим и емкостным оборудованием, трубопроводами и запорно-регулирующей арматурой, средствами автоматического управления и контроля технологическим процессом и др. у установок «Newtec», «Osec» и «Хлорэфс» (ООО НПП «ЭКОФЕС») производства известных, зарекомендовавших себя иностранных фирм («Grundfos», «Etatron D.S.», «FLUX», «F.P.Z. effepizeta S.r.L.», «Van De Lande BV», «FIP», «Danfoss Water Controls», «Siemens» и др.); дизайн, качество изготовления и монтажа этих установок также на равном и высоком уровне.

Таким образом, качество изготовления, сроки выполнения работ, уровень автоматизации, контроля и надежности защиты от аварийных ситуаций, по мнению специалистов Ростовского водоканала, в общем-то, сопоставимы.

А выбор НПП «ЭКОФЕС» был обусловлен не только значительно меньшими финансовыми затратами на реализацию проекта, но и технологическими решениями, позволяющими использовать при производстве гипохлорита натрия поваренную соль любой марки (даже самой низкосортной и, соответственно, наиболее дешевой) без каких-либо осложнений и трудностей.

Более чем 18-летний опыт эксплуатации установок «Хлорэфс» на 250 объектах Южного Федерального округа показал, что основная проблема надежности их работы связана с образованием отложений карбоната кальция на поверхности катодов электролизера. Это приводит к нештатному режиму электролиза, перегреву и деформации электродной системы, разрушению оксидно-рутениевого покрытия анодов.

Образование осадка CaCO_3 , как известно, связано с наличием ионов кальция и гидрокарбоната в воде, используемой для приготовления солевых растворов. В щелочном прикатодном пространстве свободная углекислота и ионы гидрокарбоната переходят в карбонат с последующим образованием CaCO_3 по реакциям:



Применяемый на практике метод ликвидации карбонатных отложений путем периодической промывки электродной системы 3–5 % раствором соляной кислоты не всегда экономически оправдан, особенно для водных объектов Южного Федерального округа, водоисточники которого, в отличие от рек Северного региона России, характеризуются повышенной карбонатной жесткостью (до 4–5 и более ммоль/л). Кислотная промывка требует частых остановок электролизера и значительного расхода кислоты (0,15 – 0,2 л 3 %-ной HCl на 1 кг вырабатываемого хлора).

Так, для электролизных установок «Санер» (г. Подольск) инструкция по эксплуатации предусматривает кислотную очистку катодов через каждые 9–18 часов работы (в зависимости от жесткости воды).

Практика эксплуатации установок «Хлорэфс» показала, что помимо узла кислотной промывки электродов необходимо включать в состав установки и блок кондиционирования воды, используемой для приготовления солевых растворов (отечественные производители этот этап не предусматривают).

Интенсивность образования карбонатных отложений зависит не только от химического состава воды (концентрации кальция гидрокарбоната), но и в значительной степени от качества поваренной соли, из которой готовят электролит. Как правило, в природной воде присутствует кальций. Значительные количества хлорида кальция содержит поваренная соль астраханских и украинских месторождений.

Экспериментально установлено, что приращение концентрации ионов кальция в насыщенном (280 г/л) растворе хлорида натрия («Артемсоль», первый сорт, ГОСТ Р 51574-2000) составляет от 30 до 45 ммоль/л. При этом концентрация гидрокарбоната практически не менялась: в исходной воде – 4,1 ммоль/л, в насыщенном солевом растворе – 4,15 ммоль/л.

На очистных сооружениях Центрального водопровода г. Ростова-на-Дону используется соль первого сорта (производство ГПО «Артемсоль»). При этом концентрация иона кальция в насыщенном растворе хлорида натрия возрастает с 3,1 ммоль/л (водопроводная вода) до 21 ммоль/л.

Для предотвращения катодных отложений необходимо удалить из воды ионы кальция и (или) гидрокарбоната. Известные компании «Newtec» и «Wallase and Tiernan» для удаления катионов жесткости из воды, идущей на приготовление насыщенного (30 %) и рабочего (3 %) растворов соли, комплектуют электролизные установки *Na*-катионитовыми фильтрами.

Первые установки «Хлорэфс» также предусматривали умягчение воды *Na*-катионированием, однако выяснилось, что этот прием теряет всякий смысл из-за вторичного насыщения воды кальцием вследствие низкого качества используемой поваренной соли. Именно поэтому иностранные фирмы считают обязательным не только применение глубоко умягченной воды (содержание ионов кальция не более 0,3 ммоль/л), но и использование соли марки «экстра» – или, в крайнем случае, высшего качества. Растворы таких солей не содержат вообще (соль «Полесье» производства ОАО «Мозырьсоль» марки «экстра»), или содержат в минимальном количестве (соль производства ОАО «ИЛЕЦКСОЛЬ» высшего сорта) ионы кальция и магния, что, в свою очередь удорожает стоимость солепотребления в 2,5 – 3,5 раза. Поэтому отечественные производители, использующие, в основном соль первого или даже второго сортов применяют кислотную промывку катодов по мере их зарастания. Для малых Водоканалов это еще приемлемо, а для средних и больших – сомнительно, так как электроды зарастают в считанные часы.

Это обстоятельство и предопределило использование отечественных электролизных установок для сравнительно малых объектов, в то же время как опасность использования жидкого хлора характерна для наиболее крупных водоочистных станций.

На Северной и Южной водопроводных станциях Санкт-Петербурга, где используются установки «Newtec», применяют илецкую соль высшего качества (массовая доля кальция не более 0,35 % или 1,75 ммоль/л). При этом проводится *Na*-катионирование невиской воды. Однако технология *Na*-катионирования требует дополнительного потребления воды и соли на регенерацию *Na*-фильтров. Возникает проблема сброса (или утилизации) отработанных высококонцентрированных хлоридно-кальциевых регенерационных растворов, а также необходимость дополнительного

использования (и последующего сброса) водопроводной воды на взрыхление и отмывку катионита.

Специалисты НПП «ЭКОФЕС» предлагают решать проблему использования низкокачественной (и дешевой) соли методом декарбонизации растворов, т.е. удалением осадкообразующего иона гидрокарбоната путем подкисления воды до $\text{pH} = 3,8 - 4,2$ с переводом иона HCO_3^- в свободную двуокись углерода и последующей отдувкой её в барботажном дегазаторе.

Такая технология подготовки солевых растворов была реализована на электролизной станции очистных сооружений Центрального водопровода (ОСВ-1) г. Ростова-на-Дону и подтвердила свою эффективность и надежность.

Приготовление рабочего 3 % раствора соли осуществляется по следующей схеме: насыщенный солевой раствор готовится на водопроводной воде (концентрация ионов Ca^{2+} при этом достигает 19 – 22 ммоль/л), затем насосом-дозатором подается в трубопровод водопроводной воды с доведением концентрации NaCl до 3 % (контролируется концентратометром марки «КВАРЦ -2» с подачей сигнала на дозатор для регулирования его расхода). В тот же трубопровод дозируется 5 % соляная кислота для доведения величины pH до значений 4,0 – 4,5 (контролируется промышленным pH -метром «КВАРЦ- $\text{pH}/2$ » с подачей токового выхода на частотный преобразователь дозатора для установки расхода кислоты, соответствующего заданной величине pH). Подкисленный рабочий 3 % солевой раствор подается в декарбонизатор (барботажный дегазатор), где свободная двуокись углерода отдувается воздухом с удельным расходом $15 \text{ м}^3/\text{м}^3$ дегазируемой воды. Концентрация свободной двуокиси углерода в течение 10 – 15 мин дегазации снижается со 150 – 170 мг/л до 8 – 12 мг/л. Содержание гидрокарбоната на выходе из дегазатора составляет от 0 до 0,15 – 0,20 ммоль/л. Дегазированный и декарбонизированный солевой раствор направляется на электролизные установки.

В электролизных установках ОСВ-1 (три рабочих по 250 кг/сут эквивалентного хлора и одна резервная) предусмотрена и периодическая промывка 5 % соляной кислотой (1 раз через каждые 100 ч работы в автоматическом режиме). О надежности кислотной декарбонизации воды свидетельствует тот факт, что за 10 мес. работы электролизера (с сентября 2008 г. – пуско-наладка, в декабре – сдача и пуск объекта в эксплуатацию всего 2100 ч) концентрация соляной кислоты в промывной емкости снизилась с 6,8 до 5,1 %, т.е. всего на 1,7 %. При этом общая жесткость в растворе соляной кислоты была равна (на начало июля 2009 г.) 280 ммоль/л, из которых 110 ммоль/л составлял Ca^{2+} и 170 ммоль/л – Mg^{2+} . Понятно, что полная нейтрализация соляной кислоты

последующей её заменой в промывной емкости будет проводиться один раз в 2,0 – 2,5 года. В настоящее время принято решение производить кислотную промывку через каждые 250 ч работы электролизера.

К преимуществам кислотной декарбонизации в сравнении с *Na*-катионированием следует отнести и отсутствие каких-либо отходов и сбросов.

Декарбонизацию можно осуществлять известкованием или *Cl*-анионированием водопроводной воды, что и было опробовано и описано в [1]. Максимальное снижение щелочности воды известкованием составляет 0,8 ммоль/л. Однако применение извести требует соответствующего хозяйства (емкости для гашения или извести-гасилку, расходные баки, дозатор типа ДИМБА или аналогичные для дозирования суспензий и др.). В декарбонизаторах постоянно образуется осадок с высокой концентрацией нерастворимых примесей и др. Помимо этого, как показала практика эксплуатации установок «Хлорэфс», известковая декарбонизация воды более сложна из-за высокой запыленности рабочей зоны при работе с известью.

Снизить щелочность можно фильтрованием воды через слой высокоосновного анионита, регенерация которого осуществляется раствором поваренной соли. При этом *Cl*-анионит поглощает ионы SO_4^{2-} и HCO_3^- , отдавая эквивалентное количество ионов хлора. Этот метод целесообразен для воды с низкой (менее 50 – 80 мг/л) концентрацией сульфатов. Установлено, что для донской воды с концентрацией сульфатов 192 мг/л (на момент эксперимента) рабочая обменная способность анионита марки Cybber AX-400 (производство компании «Cybber Prosper Industrial Limited», КНР) по HCO_3^- составляет всего 160 – 180 г-экв/м³. Т.е. основная часть обменного иона приходилась на ионы SO_4^{2-} . Кроме того, как и в случае с *Na*-катионированием, необходимо решать проблемы отработанных регенерационных растворов, взрыхляющей и отмывочной воды и др.

Некоторые исследователи в качестве недостатка при применении низкоконцентрированного гипохлорита натрия (по сравнению с жидким хлором) отмечают, что часть раствора соли не подвергается электролизу и попадает в питьевую воду, что приводит к увеличению содержания хлоридов в воде. В частности, указывается, что «производители гипохлорита не стремятся афишировать излишнее подсаливание воды с одновременным излишним её подщелачиванием, что обязательно сопровождает применение растворов гипохлорита натрия для обеззараживания воды» [2]. Однако, такой вывод сформулирован без достаточных оснований. Так, например, можно подсчитать, что при суммарной дозе эквивалентного хлора 5 мг/л (5 г/м³) количество дозируемого 0,6 % (6 г/л) гипохлорита натрия на 1 м³ воды составит: 5г/м³

$\times 1 \text{ м}^3 : 6 \text{ г/л} = 0,83 \text{ л.}$

При концентрации хлорида натрия в дозируемом растворе 2,8 % (28 г/л) и солесодержании обеззараживаемой воды 500 мг/л (500 г/м^3), минерализация 1 м^3 воды по хлориду натрия повысится на: $0,83 \text{ л} \times 28 \text{ г/л}$; $1 \text{ л} = 23,2 \text{ г/м}^3$ (23,2 мг/л), т.е. всего на 4,6 %.

Выводы об «излишнем подщелачивании» воды также не подвержены никаким фактическим материалом. Величина рН низкоконцентрированного гипохлорита натрия находится в пределах 9 – 9,5 ед. рН (в отличие от технического гипохлорита марки А, у которого рН 12 и более). В этом случае гидратная щелочность равна [3]:

$$\text{ОН}^- = K_w \cdot 10^{\text{рН}} \cdot \frac{1}{f_1} = 10^{-14} \cdot 10^9 \cdot \frac{1}{0,9} = 1,11 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

или 0,17 мг/л,

где $K_w = 1 \cdot 10^{-14}$ – ионное произведение воды при температуре 25 °С;

$f_1 = 0,9$ – коэффициент активности ОН^- при солесодержании 500 мг/л.

Т.е., возвращаясь к приведенному выше примеру, в 1 м^3 воды с гипохлоритом натрия вносится всего $0,17 \text{ мг/л} \times 0,83 \text{ л} = 0,14 \text{ мг}$ ионов ОН^- , что практически никак не отразится на величине рН обрабатываемой воды (увеличится всего на 0,00007 ед.рН).

На ОСВ-1 постоянно проводится контроль технологического процесса электролиза (несмотря на его полную автоматизацию) с целью поиска наиболее эффективных параметров его проведения, в том числе и за показателями, которые «производители гипохлорита не стремятся афишировать».

В таблице представлены значения концентраций отдельных ионов и величин рН, которые изменяются при обработке донской воды гипохлоритом натрия (данные на 13–14 июля 2009 г.), а также технологические показатели солевых растворов (насыщенного и рабочего) и получаемого гипохлорита натрия.

Таблица. Концентрация ионов в исходной и обработанной воде, солевых растворов и гипохлорита натрия

Показатели	Места отбора проб					
	донская вода	водопроводная вода	декарбонизированная вода	насыщенный раствор NaCl	рабочий раствор NaCl	гипохлорит натрия
1	2	3	4	5	6	7
рН	8,17	7,93	4,37	8,01	4,37	9,15
Общая жесткость, ммоль/л	5,55	5,60	11,0	31,50	11,00	11,20

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
Ca^{2+} , ммоль/л	2,95	3,00	8,50	21,00	8,50	8,50
Mg^{2+} , ммоль/л	2,60	2,60	2,50	10,50	2,50	2,70
HCO_3^- , ммоль/л	3,45	3,40	0,15	2,70	0,15	0,00
Cl^- , мг/л	127,50	135,00	19000,0	125000	19000,0	15300,0
$NaCl$, г/л	0,210	0,222	31,31	206,00	31,31	25,20
$Cl_{акт}$, г/л	-	0,00095	-	-	-	7,46
CO_3^{2-} , мг/л	-	-	-	-	-	0,25

Из таблицы следует, что после добавления гипохлорита натрия на первичное и вторичное хлорирование величина pH и, соответственно, щелочность не увеличиваются, как это предполагалось в [2], но несколько снижаются, причем, безусловно, не из-за внесенного гипохлорита, а в результате обработки воды полиоксихлоридом алюминия «АКВА-АУРАТ™10». Минерализация воды, как и следовало, ожидать, повысилась, но прирост концентрации $NaCl$ в донской воде с 210 до 222 мг/л (5,7 %) «излишним подсаливанием воды» назвать затруднительно.

В публикации [4] отмечается, что «Применение низкоконтцентрированного раствора гипохлорита натрия, получаемого электрохимическим методом на месте потребления в 1,5 раза дешевле хлора и в 5–7 раз концентрированного гипохлорита натрия». Это обстоятельство еще раз говорит в пользу применения гипохлорита. В той же статье [4] говорится: «установки по производству низкоконтцентрированного раствора гипохлорита натрия на месте его потребления с помощью бездиафрагменных и мембранных электролизеров также небезопасны: при их эксплуатации образуется взрывоопасный газ – водород».

При производстве гипохлорита натрия специалисты НПП «ЭКОФЕС» уделяют особое внимание безопасности эксплуатации установленных на ОСВ-1 электролизных установок «Хлорэфс». Безопасность при работе электролизера обеспечивается путем смешения выделяющегося при электролизе водорода с воздухом и отвода газовой смеси в атмосферу за пределы помещения.

Для исключения возможности образования взрывоопасной среды в помещении электролизеров предусмотрены следующие мероприятия:

– поступающие с раствором гипохлорита натрия электролизные газы отсасываются принудительной вентиляцией (расход воздуха 2000 м³/час) и отводятся из накопителей через герметичные трубопроводы в атмосферу

выше крыши здания;

- на каждом накопителе установлено два вентилятора (рабочий и резервный). Включение резервного вентилятора производится автоматически;

- работа вентиляторов контролируется с помощью протока воздуха;

- электролизеры заблокированы с вентиляцией системой автоматики

- включение электролизера возможно только после включения вентилятора;

- при аварийном отключении вентилятора электролизер автоматически выключается;

- если газоанализатор показал наличие водорода в районе бака-накопителя, установка автоматически отключается;

- выделяющийся из накопителя водород смешивается с воздухом в соотношении 1 : 500 и отсасывается;

- помещение электролизной оборудовано шестикратной приточно-вытяжной вентиляцией.

Таким образом, принятая схема удаления водорода не допускает его попадания в производственное помещение не только при нормальной эксплуатации, но и в случае аварии.

Общий вид основного технологического оборудования электролизной станции на ОСВ-1 г. Ростова-на-Дону представлен на рис. 1 и 2.



Рисунок 1. Общий вид водно-солевого хозяйства



Рисунок 2. Электролизные установки цеха по производству гипохлорита натрия.

Полный переход на использование гипохлорита натрия исключит опасность, в том числе и террористическую, исходящую от применения жидкого хлора. Безопасность применения гипохлорита натрия и является основной причиной того, что в последние годы на станциях водоподготовки появляются новые отечественные и зарубежные конструкции электролизеров в широком диапазоне производительности. Однако при этом не всегда учитывается весь спектр проблем, возникающих при их эксплуатации. Это, прежде всего, обусловлено не только разнообразными требованиями к таким установкам, но и повышением конкурентоспособности предлагаемых разработок, расширением круга специалистов, компаний и предприятий, занятых в этой области. Тем не менее, эксплуатация электролизных установок, выбор конструкции электролизера и технологии кондиционирования воды для приготовления солевых растворов имеют свои особенности, знание и соблюдение которых в значительной степени определяют надежность работы установок и срок их службы.

ВЫВОДЫ

В состав электролизной установки для получения низкоконцентрированного гипохлорита натрия, помимо узла кислотной промывки электродов, необходимо включать и блок кондиционирования

воды, идущей на приготовление солевых растворов. Удаление осадкообразующих катионов кальция Na -катионированием применимо только при использовании соли высшего сорта (наилучший вариант – соль «Полесье» сорта «экстра» производства ОАО «Мозырь-соль», Республика Беларусь). Для возможности использования более дешевой соли первого и второго сортов гипохлоритная технология должна предусматривать кислотную декарбонизацию воды с удалением осадкообразующего иона HCO_3^- до остаточных концентраций 0,0 – 0,2 ммоль/л. При этом срок годности 5 % соляной кислоты, используемой для разовой промывки электродов, составляет 2–2,5 года. Периодичность промывок электролизера составляет 1 раз за 250 – 350 часов работы (1 раз в 10 – 15 суток).

Кислотная декарбонизация воды значительно дешевле Na -катионирования и исключает образование каких-либо сточных вод. Этот процесс легко поддается автоматизации.

Показатели pH и общей минерализации воды после добавления гипохлорита натрия (первичное и вторичное хлорирование) практически не изменяются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фесенко Л.Н., Игнатенко С.И., Кудрявцев С.В. Опыт эксплуатации электролизных установок для получения гипохлорита натрия//Водоснабжение и сан. техника. 2007. № 1.
2. Бахир В.М. Обеззараживание воды: проблемы и решения//Вода Magazine. 2008. № 5.
3. Клячко В.А., Апелъцин И.Э. Очистка природных вод.- М.: Стройиздат, 1971.
4. Головачев А.В., Абросимова Е.М. Применение гипохлорита натрия для обеззараживания воды // Водоснабжение и сан. техника. 2009. № 4.

УДК 628.16.094.413.094.3

ХЛОР И ГИПОХЛОРИТ: ПРОБЛЕМА ИЛИ ДИЛЕММА?

А.Б. Кожевников, А.А. Баранов

ООО «Фирменное специализированное предприятие «КРАВТ», г. Калуга, Россия

О.П. Петросян

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Калуга, Россия

Рассмотрена в форме теоретического анализа сущность и эффективность процесса обеззараживания природных вод хлорсодержащими реагентами (Cl_2 , $HOCl$, ClO^-), установлена их эффективность и область рационального применения.

Хлорирование сегодня остается единственным способом

обеспечивающим микробиологическую безопасность воды в любой точке распределительной сети благодаря эффекту последействия. Этот эффект заключается в том, что молекулы хлора сохраняют свою активность по отношению к микробам и угнетают их ферментные системы на всем пути следования воды по водопроводным сетям — от объекта водоподготовки до каждого потребителя.

Таким образом хлор, гипохлорит и другие хлорреагенты незаменимы в настоящее время в тех случаях, когда эффект последействия должен обязательно присутствовать. И это, в первую очередь, относится к тем объектам водоподготовки, которые работают на водопроводную распределительную сеть, даже если есть возможность дополнительного обеззараживания воды в конечных точках этой сети тем или иным способом.

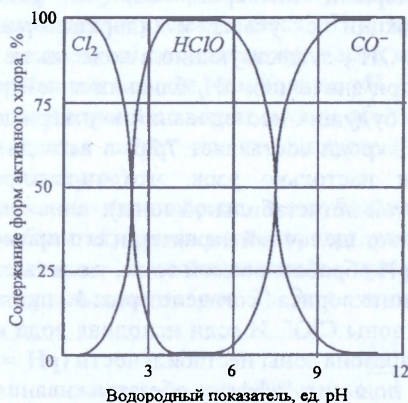


Рисунок 1. Соотношение содержания форм соединений хлора в воде в зависимости от значения pH

Качество обеззараживания воды хлорсодержащими реагентами зависит от значения водородного показателя pH, так как именно значение pH воды определяет формы соединений хлора в воде и их активность (рис. 1). При низких значениях pH (от 0 до 3) преобладают молекулярный хлор Cl_2 и в верхней половине этого диапазона начинает образовываться, хлорноватистая кислота HClO , возрастая количественно так, что уже в диапазоне значений pH от 3 до 6 в воде присутствует только хлорноватистая кислота HClO . А далее ($\text{pH} > 6$) хлорноватистая кислота распадается на ионы H^+ и ClO^- . А при $\text{pH} > 9$ HClO переходит полностью в гипохлорит-ион ClO^- .

Таким образом из диаграммы на рис. 1 следует, что в зависимости от значения pH воды существуют зоны стабильности хлорреагентов в воде: зона Cl_2 зона HClO , зона ClO^- , в которых не проявляется их активность, и зоны нестабильности: зона $\text{Cl}_2 - \text{HClO}$ ($\text{pH} = 1,5 - 3,5$), зона $\text{HClO} - \text{ClO}^-$ ($\text{pH} = 6 - 9$). Так как pH воды поверхностных источников составляет 6,5 –

УДК 628.161.2:546.39:628.1.036

К ВЫБОРУ МЕТОДА ДЕАММОНИЗАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СЕВЕРО-ЛЕВОКУМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВЫХ ЦЕЛЕЙ

Л.Н. Фесенко

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ),
г. Новочеркасск, Россия

С.И. Игнатенко, А.Л. Фесенко, Р.В. Федотов

ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия

Рассмотрена возможность применения ряда методов очистки подземных вод от соединений азота для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Показано, что озонирование и окисление кислородом, а также отдувка аммиака воздухом вряд ли могут рассматриваться как конкурентоспособные методы очистки природных вод от аммонийных соединений. Для обоснования возможности применения биологических методов и выбора технологических схем водоочистки с целью удаления соединений неорганического азота необходимо проводить опытные испытания в каждом конкретном случае.

Водоснабжение г. Элисты и ряда населенных пунктов Калмыкии и Ставрополя предполагается осуществлять из подземных вод Северо-Левокумского месторождения (Ставропольский край) с общим расходом подаваемой воды 45000 м³/сут. По данным ОАО «Кавказгидрогеология» проникновение в продуктивный водоносный горизонт нижерасположенных высоконапорных рассолов с высокой концентрацией соединений азота и органики вызывает повышение содержания ионов аммония в Северо-Левокумской воде (в отдельных скважинах концентрация NH_4^+ до 6 – 7 мг/л).

Наличие азотсодержащих веществ в питьевой воде нежелательно, поскольку вызывает такие отрицательные воздействия как: уменьшение содержания растворенного кислорода в результате нитрификации аммонийного азота; увеличение биообрастаний, способствующих усиленной коррозии металла в водопроводных трубах; возникновение привкусов, запахов и цветности воды; отрицательное влияние на организм человека.

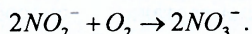
В связи с превышением концентрации аммония нормативов СанПиН 2.1.4.1074-01 заинтересованными в деаммонизации подземных Северо-Левокумских вод организациями: ОАО ПИ «Пятигорский Севкавгипроводхоз», ФГУ «Управление «Калмелиоводхоз», ОАО «Проектный институт Калмыкии», ОАО «Кавказгидрогеология», Буденновский центр Роспотребнадзора на совместном техническом совещании было принято решение поручить ООО НПП «ЭКОФЕС»

(г. Новочеркасск) и Южно-Российскому государственному техническому университету (Новочеркасскому политехническому институту) применительно к Северо-Левому водохранилищу и суточному расходу потребляемой воды (45000 м³/сут) выбрать и экономически обосновать метод удаления азотсодержащих соединений из питьевой воды Северо-Левового месторождения.

Соединения азота в подземной воде могут находиться в виде органического азота, ионов аммония NH_4^+ , нитритов NO_2^- и нитратов NO_3^- . Органический азот обычно трансформируется до аммонийного азота. Концентрация аммония в Северо-Левом месторождении подземных вод составляет около 4,0 мг/л (среднее значение по данным анализа ЦИЛ ФГУП «КАВКАЗГЕОЛСЪЕМКА» химического состава воды по девяти скважинам).

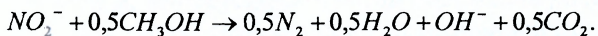
Минеральный азот может быть удален из воды физико-химическими (отдувка воздухом; ионный обмен; адсорбция активным углем с предварительным хлорированием; окисление хлором, озоном, кислородом; обратный осмос; электродиализ) и биологическими (нитриденитрификация) методами. В данной статье рассматривается возможность применения некоторых из них для удаления минеральных азотсодержащих веществ из подземных вод в условиях деаммонизации 45000 м³/сут воды Северо-Левового месторождения.

Биологический метод. По мнению многих исследователей [1, 2], перспективным направлением удаления азотсодержащих соединений из питьевой воды является использование биологической нитрификацииденитрификации. Суть метода, как известно, заключается в биоокислении азота нитрифицирующими микроорганизмами до нитратов и последующем их восстановлении до азота. На первой стадии процесса нитрификации аммоний окисляется до нитритов, на второй стадии нитриты окисляются до нитратов:



Биологическая денитрификация может быть реализована при наличии в воде определенного количества органического субстрата, окисляемого сапрофитными микроорганизмами до CO_2 и H_2O за счет кислорода азотсодержащих соединений. Причем в качестве источника углерода используют уксусную кислоту, природный газ (метан), этиловый спирт, метанол и т.д. [3]. При денитрификации обеспечивается очистка воды одновременно от биологически окисляемых органических соединений и соединений азота (NO_2^- и NO_3^-). Восстановление происходит в анаэробных условиях по реакциям:





Применение иммобилизованных (закрепленных на поверхности зернистой загрузки) микроорганизмов повышает скорости реакций на порядок. Биологический метод очистки воды реализуется фильтрованием через аэрируемые биореакторы, биофильтры и биосорберы специальных конструкций, что усложняет технологию удаления из воды аммонийного азота. Развиваемая на зернах биореактора (гранитный щебень крупностью 10 – 30 мм) биопленка, состоящая из активного ила, частично выносятся из реактора, содержание взвешенных веществ также превышает допустимые концентрации для хозяйственно-питьевого водоснабжения [4]. Т.е. биотехнология деаммонизации должна предусматривать и последующую глубокую доочистку воды, осуществляемую, как правило, на стандартных скорых фильтрах. Технологическая схема очистки воды с применением денитрификации помимо фильтрования воды предусматривает также её аэрацию и обеззараживание. Необходимость аэрации обуславливается насыщенностью денитрифицированной воды газообразным азотом и отсутствием растворенного кислорода.

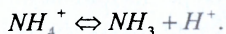
Исследования возможности применения метода биологической нитрификации-денитрификации для очистки питьевой воды указывают на наиболее распространенные причины неэффективного протекания процесса: ингибирование продуктами метаболизма; дефицит кислорода, углекислоты и микроэлементов; избыточная кислотность среды, вынос бактерий из загрузки [3].

В настоящее время метод нитри-денитрификации применяется в практике локальной очистки и доочистки сточных вод путем устройства аэротенка продленной аэрации и отдельно расположенного денитрификатора. При очистке подземной воды установки по денитрификации в нашей стране пока не применяются [4].

Иными словами биологический метод деаммонизации потребует строительства целой фабрики водоочистки и соответствующего эксплуатационного и обслуживающего персонала, причем эта технология, как правило, применяется при очистке хозяйственно-бытовых или производственных сточных вод.

Метод отдувки аммиака – основан на подавлении диссоциации гидроксида аммония в сильнощелочной среде с образованием газообразного аммиака, который можно отдувать воздухом при многократном разбрызгивании воды.

Ионы аммония находятся в воде в равновесном состоянии с аммиаком:



При $\text{pH} > 7$ равновесие сдвигается вправо, при этом образуется гидроокись аммония, которая диссоциирует с образованием аммиака и

воды:



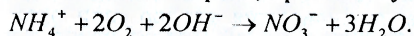
Наибольшее количество растворившегося в воде аммиака извлекается при $pH = 10,5 - 11,5$. При пропуске воздуха через раствор гидроокиси аммония NH_3 удаляется вместе с воздухом. Растворимость аммиака увеличивается с понижением температуры, поэтому при температуре $10 - 15^\circ C$ (температура Лево-Кумской воды составляет $13 - 14^\circ C$) эффективность его удаления составляет всего $30 - 50\%$ [5] (при $20 - 25^\circ C$ повышается до $95 - 98\%$). Основной недостаток метода заключается в необходимости обработки воды известью или любой другой щелочью до $pH = 11 - 11,5$, что, в свою очередь, потребует последующего подкисления воды, а также устройство сооружений типа градирен или пленочных дегазаторов с насадкой из колец Рашига, в которых будет также происходить и процесс известкового (или едко-натрового) водоумягчения со всеми вытекающими последствиями. Кроме того, средний расход воздуха весьма значителен и составляет $2500 - 4000\text{ м}^3$ на 1 м^3 обрабатываемой воды [5], что делает данный метод неприемлемым особенно при значительных расходах воды. Наконец, для предотвращения загрязнения атмосферы воздух, содержащий аммиак, необходимо пропускать через раствор серной кислоты с получением 10% -ного раствора сульфата аммония и который может быть использован как удобрение.

Удаление из воды аммонийного азота озоном и кислородом. Традиционный метод удаления ионов аммония из воды – хлорирование, которое можно осуществлять в зависимости от качества воды как до, так и за точкой перелома. В зависимости от условий хлорирования воды могут образовываться хлорамины, а также молекулы азота. Практически для удаления обработкой хлором удельный расход хлора составляет от 6 до $15\text{ мг/мг } NH_4^+$ [6].

Что касается вариантов деаммонизации воды озонированием или обработкой кислородом, то они требуют особого рассмотрения.

Обработка воды кислородом. Использование для окисления NH_4^+ кислорода воздуха путем подачи его в трубопровод транспортируемой воды или закачки в горизонт подземных вод без применения катализаторов малоэффективно ввиду малой скорости протекания реакций химической нитрификации, помимо того в подающем из скважин водопроводе могут появляться воздушные пробки, тем самым, затрудняя водоток.

Теоретически, для окисления аммония до нитрат-ионов возможно использование чистого кислорода, при этом будет иметь место реакция:

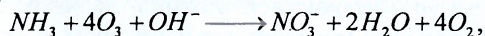


Как следует из реакции, для её протекания необходимо

подщелачивать воду и, соответственно, потом подкислять до нейтральных значений pH , при этом теоретический (стехиометрический) расход подаваемого кислорода составит 3,6 мг на 1 мг NH_4^+ . Т.е., при концентрации NH_4^+ в воде 4 мг/л и расходе подаваемой воды 45000 м³/сут суточный расход кислорода составит 648 кг, а практически он будет в 1,5 – 2 раза выше теоретического значения. Иными словами суточное потребление чистого кислорода для деаммонизации воды Северо-Левомукомского месторождения составит минимум 1 тонну, при этом также необходимы щелочь (едкий натр) и катализаторы (платиновой группы) для протекания реакций, а также кислота для последующей нейтрализации воды (стабилизационной обработки для восстановления равновесия между ионами Ca^{2+} и CO_3^{2-}).

Исходя из изложенного, деаммонизация Северо-Левомукомской воды воздухом или чистым кислородом не рекомендуется нами для практического применения.

Обработка воды озоном. Для очистки воды от аммонийных солей некоторый интерес представляет возможность окисления аммонийного азота в воде озоном, который все чаще находит применение в технологических схемах обработки воды, в том числе и при её деаммонизации [7]. В работе Рогожкина Г.И. [8] излагаются данные экспериментальных исследований, цель которых заключалась в уточнении количественных характеристик озонирования аммонийных соединений, присутствующих в воде. В частности, в статье отмечается следующее: «Установлено, что кислые ($pH = 5,1$) и нейтральные ($pH = 7,2$) растворы NH_4Cl (2 ммоль/л) озон практически не абсорбируют. Степень абсорбции озона щелочными растворами постоянна в течение всего периода озонирования, возрастает с увеличением pH и не зависит от концентрации NH_4^+Cl . В дальнейшем изучали превращение NH_4Cl под действием озона в щелочных водных средах ($pH = 11,2$). Анализ полученных данных показывает, что NH_4Cl количественно окисляется озоном в щелочных растворах до нитратов: при снижении его концентрации от 2,0 до 0,15 ммоль/л, выход нитратов составил 1,84 ммоль/л. Стехиометрическое уравнение реакции окисления:



согласно которому стехиометрическое соотношение составляет 4 моля O_3 на 1 моль NH_3 или 13,7 мг O_3 на 1 мг азота».

В конце статьи автор делает следующий вывод: «В целом, учитывая необходимость глубокого подщелачивания воды перед озонированием и, как следствие, последующей нейтрализации, большое стехиометрическое соотношение, сравнительно низкую селективность и степень абсорбции

озона, применение озонирования для очистки природных и сточных вод от аммонийных соединений вряд ли может оказаться конкурентоспособным по сравнению с другими методами».

И действительно, для окисления аммония Северо-Левокумской воды озона потребуется:

$$O_3 = \frac{13,7 \cdot 4 \cdot 45000}{1000} = 2466 \text{ кг/сут,}$$

и это только по стехиометрии. Практически расход озона будет еще выше. При расходе электроэнергии 30 кВт на получение 1 кг озона, суточная потребность в электричестве составит $30 \times 2466 = 73\,980$ кВт, или при стоимости 3 руб./кВт одни только суточные затраты на электроэнергию будут равными 221,9 тыс. руб. И это, не считая затрат на подщелачивание и последующее, после озонирования, подкисление воды. Таким образом, вариант озонирования Северо-Левокумской воды в целях ее деаммонизации абсолютно не приемлем в виду высоких эксплуатационных расходов.

Метод обратного осмоса. Степень удаления соединений азота из воды данным методом зависит, в основном, от приложенного давления, типа мембран, концентрации азотсодержащих соединений, расхода очищаемой воды и др. [3]. Основные недостатки обратноосмотического метода деаммонизации – существенное изменение исходного качества воды (в сторону глубокого обессоливания), необходимость предварительной обработки воды с целью предотвращения засорения модулей и обрастания мембран, образование концентрированных солевых стоков, требующих затрат на их переработку или ликвидацию, наконец, высокая стоимость установок (как правило, мембраны, фильтры предочистки, высоконапорные насосы и т.д. иностранного производства, хотя и собираемые в готовые установки отечественными НПК «МЕДИАНА-ФИЛЬТР», ООО «НоваТерра», НПК «АРГЕНТУМ-ЭКО» и др.). Эти недостатки являются причиной того, что данный метод не получил распространения для очистки воды от соединений азота [3, 6].

ВЫВОДЫ

Для реализации метода биологической денитрификации необходимо строительство водоочистной станции, включающей помимо биореакторов с закрепленными микроорганизмами также сооружения для последующей обработки воды аэрированием (для устранения дефицита кислорода), фильтрованием (для удаления остаточного количества углеродсодержащего субстрата и биопленки) и обеззараживания, т.е. значительных капиталовложений.

Большое стехиометрическое соотношение кислорода и озона на окисление аммонийного азота, необходимость предварительного глубокого подщелачивания воды и, как следствие, последующей

нейтрализации рекомендовать эти окислительные методы для широкого внедрения нецелесообразно.

Сопутствующее образование концентрированных стоков при деаммонизации методом обратного осмоса, необходимость использования щелочи, кислоты и значительного расхода воздуха при отдувке аммиака ограничивают возможность применения данных методов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слипченко В.А., Малицкая Т.Н. Очистка питьевой воды от аммонийного азота методом биологической нитрификации. Химия и технология воды, 1990. т. 12, № 3.
2. Bouwer E.I., Crowe P.B. Biologicall process in drincing water treatment. J. Amer. Water Works Assoc., 1988. № 9.
3. Слипченко В.А., Малицкая Т.Н. Удаление минеральных азотсодержащих веществ из питьевой воды. Химия и технология воды, 1992. т. 14, № 1.
4. Асс Г.Ю., Шеер Н.Г. Очистка воды от соединений азота для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Химия и технология воды, 1990. т. 12, № 11.
5. Канализация населенных мест и промышленных предприятий/Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин и др.; Под общ. ред. В.Н. Самохина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1981.
6. Новиков В.К., Михайлова Э.М. Методы удаления нитратов и нитритов из природных вод. – М., 1988. (Обзор. информ. ЦБНТИ Минжилкомхоза РСФСР).
7. Папко С.И. Окисление водных растворов аммиака озонированным кислородом. Журн. прикл. химии, 1949. т. 22, № 7.
8. Рогожкин Г.И. Озонирование аммонийных соединений в водных растворах. Химия и технология воды, 1985, т. 7, № 6

УДК 628.16:628.1(1-2)

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА ВОДОПРОВОДНЫХ СТАНЦИЯХ

Л.П. Алексеева, Г.В.Дружинина

ОАО «Научно-исследовательский институт коммунального водоснабжения и очистки воды», г. Москва, Россия

Рассмотрены причины снижения эффективности водообрабатывающих сооружений водоочистных станций, установлены причины и намечены пути интенсификации и повышения эффективности работы водоочистных сооружений.

Более жесткие требования, предъявляемые к питьевой воде по

УДК 628.16.08/09:546.39:628.1.033

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ ДЕАММОНИЗАЦИИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ИОНООБМЕНОМ И ОКИСЛЕНИЕМ ГИПОХЛОРИТОМ НАТРИЯ

Л.Н. Фесенко

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ),
г. Новочеркасск, Россия

С.И. Игнатенко, А.Л. Фесенко, А.А. Громов

ООО НПП «ЭКОФЕС», г. Новочеркасск, Россия

Рассмотрена проблема очистки подземной воды от соединений азота. Приведены результаты технико-экономической оценки деаммонизации питьевой воды методами ионного обмена на клиноптилолите и окислением гипохлоритом натрия

В проектируемой в настоящее время новой системе хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Элисты водоисточником принято Северо-Левомукомское месторождение подземных вод (Буденновский район Ставропольского края) с транспортированием воды из скважин в Республику Калмыкия по Ики-Бурульскому групповому водопроводу в количестве 30000 м³/сут. Из этого же водозабора 15000 м³/сут воды предполагается использовать и для хозяйственно-питьевого водоснабжения ряда близлежащих к скважинам сельских населенных пунктов Ставрополя. Т.е. суммарная промышленная добыча подземных вод составит 45000 м³/сут.

При строительных испытаниях эксплуатационных скважин в 2007 г. в большинстве из них (всего 15 скважин) была выявлена повышенная концентрация ионов аммония, превышающая нормативы СанПиН 2.1.4.1074-01 (не более 2 мг/л) в 2 – 3 раза.

Присутствие азотсодержащих веществ в воде, предназначенной для хозяйственно-питьевого использования нежелательно, поскольку они отрицательно влияют на организм человека, являются причиной развития микробиологических образований в водопроводных трубах и резко интенсифицируют процессы коррозии металла в распределительных системах водоснабжения.

По данным ОАО «Кавказгидрогеология» вероятной причиной повышенной концентрации аммония является наличие в более глубоких горизонтах-коллекторах минерализованных подземных вод (рассолов) с высокой концентрацией аммония и органики. Проникновение высоконапорных рассолов в продуктивные водоносные горизонты Северо-Левомукомского месторождения возможно по локальным тектоническим нарушениям вертикальной направленности. Настоящие эндогенные процессы вызывают повышение содержания аммония и минерализации

(последней в пределах ПДК) в локальной северной части Северо-Левокумского месторождения. Т.е. повышенное содержание ионов NH_4^+ (в отдельных скважинах до 7,2 и 6,0 мг/л) является исключительно природным фактором (снижение качества подземных вод в результате проникновения азотсодержащих сельхоз- и промбытовых стоков в данном случае невозможно).

Соединения азота в подземной воде могут находиться в виде органического азота, ионов аммония NH_4^+ , нитритов NO_2^- и нитратов NO_3^- . Общее содержание азота в подземной воде обычно не превышает 3 – 5 мг/л. Концентрация аммония в Северо-Левокумском месторождении подземных вод составляет 3,8 – 4,2 мг/л (среднее значение по данным анализа ЦИЛ ФГУП «КАВКАЗГЕОЛСЪЕМКА» химического состава воды по девяти скважинам).

Для очистки воды от соединений азота могут быть использованы физико-химические (отдувка аммиака; ионный обмен; адсорбция активным углем с предварительным хлорированием; окисление хлором, озоном, кислородом; химическое восстановление; обратный осмос; электродиализ) и биологические (нитри-денитрификация) методы.

В статье приводится экономический анализ ионообменного и окислительного (гипохлоритом натрия) методов удаления минеральных азотсодержащих веществ из подземных вод в условиях деаммонизации 45000 м³/сут воды Северо-Левокумского месторождения.

Метод ионного обмена. Для удаления аммонийного азота возможно применение фильтрования воды через природный ионообменный материал – клиноптилолит $Na_5[(AlO_2)_6 \cdot (SiO_2)_{30}] \cdot 24H_2O$, который относится к классу цеолитов [1]. Этот метод был принят ФГУ «Управление «Калмелиоводхоз» (г. Элиста) для деаммонизации подземных вод Северо-Левокумского месторождения, однако при этом не был сделан сравнительный анализ существующих технологий удаления из воды NH_4^+ с технико-экономическими расчетами конкурирующих вариантов.

То, что ионообменный метод вполне осуществим и эффективен, безусловно, не вызывает никаких сомнений (эффект удаления NH_4^+ составляет 90 – 97 % [2]), однако весь вопрос в стоимости его практической реализации (капитальных и особенно эксплуатационных затратах). По мнению эксперта «МОСВОДОКАНАЛИИПРОЕКТ» инженера Браславского Ю.Д. (письмо от 11.07.2007 г. в ОАО «Кавказгидрогеология»), такое удаление соединений аммония «Достаточно дорого ввиду необходимости химической регенерации сорбента, его восполнения, обработки и утилизации регенерационных стоков».

Ионообменная способность цеолитов по NH_4^+ невелика и составля...

7 г NH_4^+ на 1 кг или 300 г-экв NH_4^+ на 1 м³ цеолита [2] (по другим источникам [1] у качественных природных цеолитов доходит всего до 3 мг NH_4^+ /г). Высота загрузки не менее 2 м, скорость фильтрования 5 – 7 м/ч. Недостатком ионообменного метода является необходимость регенерации этих фильтров 5 – 10 %-ным раствором хлорида натрия каждые 5 – 7 суток, при этом удельный расход соли составляет 880 г/г-экв обменной емкости [2] (15-кратный избыток), или 40 частей на 1 часть по объему цеолита. Продолжительность регенерации 1,5 – 2,0 ч, после чего загрузка отмывается водой в течение 1 – 2 часа, удельный расход воды 4 – 5 м³/м³ загрузки [2]. Отработанный регенерационный раствор для его обезвреживания и повторного использования (сбрасывать его в канализацию не допускается) необходимо восстанавливать отдувкой аммиака воздухом в щелочной среде. При этом расход щелочи для доведения pH до 10,7 – 11,0 составляет 8 г/г-экв обменной емкости, а расход воздуха для отдувки – 4000 м³/м³ раствора [2]. Кроме того, выделяющийся из раствора аммиак с целью предотвращения загрязнения атмосферы следует поглощать раствором серной кислоты для получения сульфата аммония, что также существенно ограничивает (и даже исключает для больших расходов воды) возможность применения данной технологии.

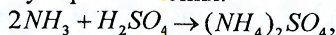
Для окончательной оценки возможности применения метода ионного обмена для очистки 45000 м³/сут Северо-Левомуковской воды с концентрацией NH_4^+ 4 мг/л приведем результаты расчета эксплуатационных затрат, ожидаемых при реализации метода (в ценах апреля 2009 г.).

При расходе воды $Q_{сут} = 45000$ м³/сут и скорости фильтрования $q_{час} = 5$ м/ч, высоте слоя загрузки $H_3 = 2,0$ м объем в фильтрах клиноптилолита составит $W_k = 750$ м³, число фильтров (рабочих) $N = 10$ шт. размерами в плане каждого $B \times L = 6 \times 6$ м. При обменной емкости загрузки $E = 7$ г NH_4^+ /кг продолжительность фильтроцикла будет равной $T = 28$ сут или ≈ 1 регенерация в месяц.

Объем 10 %-ного раствора $NaCl$ на одну регенерацию одного фильтра при её продолжительности $t = 1,5$ ч составит $W_p = 300$ м³, количество соли – $G = 30$ т (300 т в месяц на 10 работающих фильтров). Стоимость соли в месяц при её цене $C_{NaCl} = 1600$ руб./т (АРТЕМСОЛЬ, I сорт, ГОСТ Р 51574-2000) $C_{NaCl} = 480000$ руб./мес.

Расход 100 %-ной $NaOH$ на отработанный регенерационный раствор одной регенерации $G_{NaOH} = 4000$ кг. Месячный расход $NaOH = 40000$ кг. Месячная стоимость щелочи при цене $NaOH$ $C_{NaOH} = 25$ руб./кг составит $C_{NaOH} = 1000000$ руб./мес. В соответствии с реакцией

$NH_4^+ + OH^- \rightarrow NH_3 + H_2O$ с 1 кг NH_4^+ выдувается $\approx$ 1 кг аммиака. Выдуваемый аммиак поглощается раствором серной кислоты с получением сульфата аммония:



или, по реакции, на 1 кг NH_3 расходуется 3,2 кг H_2SO_4 .

Количество кислоты для получения $(NH_4)_2SO_4$ с одной регенерации $G_{SO_4}^{мес} = 1616$ кг или с десяти регенераций $G_{SO_4}^{мес} = 16160$ кг. При цене 1 кг H_2SO_4 $C_k = 8,4$ руб. цена кислоты за месяц: $C_{H_2SO_4} = 135744$ руб.

Месячная цена всех реагентов:

$$C_p = 480000 + 1000000 + 135744 = 1615744 \text{ руб./мес. или } 67323 \text{ руб./сут}$$

и это не считая затрат на электроэнергию, заработанную плату, капитальный ремонт, а также амортизационные отчисления, которые составят, очевидно, значительную ежегодную сумму от затрат, вложенных на строительство ионообменной станции.

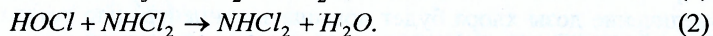
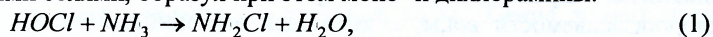
Также необходимо отметить, что в данном расчете, учитывая ограниченность объема публикуемого материала, учтено далеко не все. Например: концентрация гидрокарбоната в Северо-Левомуковской воде составляет (по различным скважинам) от 6 до 7 мг-экв/л. Поскольку при подщелачивании воды (т.е. отработанного регенерационного хлоридно-аммонийно-кальциево-магниевого раствора) до pH = 10,7 – 11,0 из 1 мг-эквивалента HCO_3^- образуется 2 мг-эквивалента CO_3^{2-} или (при $HCO_3^- = 6,5$ мг-экв/л) 13 мг-экв/л CO_3^{2-} , то на насадке градири будет отлагаться 650 мг $CaCO_3$ из каждого литра (650 г из 1 м³) отдуваемой воды или $300 \times 0,65 = 195$ кг после каждой регенерации. Спустя полгода работы кольматация деревянной хордовой насадки (или колец Рашига) превысит 10 т, что создаст серьезную проблему для эксплуатационщиков, если при проектировании не будет учтено это обстоятельство (например, дозирование ингибитора).

И, наконец, «Управление «Калмелиоводхоз» планирует деаммонизацию 30000 м³/сут воды, подаваемой в Калмыкию, осуществлять на компактных водоочистных установках типа «Исток-Д», выпускаемых НПО «ЮГЭКОПРОМ» (дочернее предприятие ООО «Электромеханический завод», г. Лермонтов, Ставропольского края) производительностью от 25 до 1000 м³/сут (максимальная) и работающих по схеме: блок аэрации-дегазации воды – механический скоростной фильтр с загрузкой из кварцевого песка – УФ обеззараживание воды. По-видимому, загрузка из песка будет заменена клиноптилолитом, а сама установка должна быть доукомплектована блоком солевой регенерации, щелочным и кислотным хозяйствами, градирной с деревянной хордовой

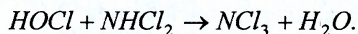
насадкой или кольцами Рашига, установкой дохлорирования воды (ввиду большой протяженности водоводов), системой автоматики и др. Однако, даже не сама сложность технологии и необходимость ее квалифицированного обслуживания, а относительно невысокая производительность одной установки (всего 1000 м³/сут и это при так называемом «скоростном» фильтровании, которое недопустимо при ионообменной деаммонизации) вызывает сомнение в возможности реализации этого направления, поскольку для удаления NH_4^+ из 30000 м³/сут воды, подаваемой в Калмыкию должно быть установлено, по крайней мере, не менее тридцати (!) таких установок (с соответствующим персоналом), что совершенно не реально только по одним лишь экономическим соображениям.

Деаммонизация воды хлорированием. Удаление аммонийного азота хлорированием воды – широко известный прием [3, 4]. В качестве хлорсодержащего реагента, с точки зрения экологической, производственной, террористической и т.д. безопасности, целесообразно применение не сжиженного хлора, а низкоконцентрированного гипохлорита натрия, получаемого на месте потребления электролизом 3 % раствора поваренной соли.

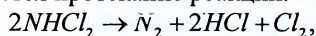
Гипохлорит взаимодействует с присутствующим в воде аммиаком и аммонийными солями, образуя при этом моно- и дихлорамины:



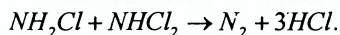
При относительно высоком содержании активного хлора в растворе возможно образование трихлорида азота путем дальнейшего окисления дихлорамина:



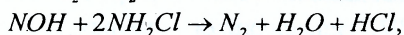
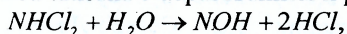
Кинетика образования NCl_3 из $NHCl_2$ и $HOCl$ не была исследована, однако принято считать, что реакция протекает медленнее, чем (1) и (2) [3]. Для растворов, которые содержат преимущественно дихлорамина, предполагается протекание реакции:

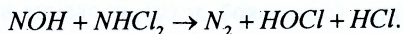


поскольку с уменьшением $NHCl_2$ отмечено некоторое увеличение концентрации свободного хлора. И, наконец, при одновременном присутствии моно- и дихлорамина возможно их разложение по уравнению [3]:



На основании кинетических исследований [5] предположено, что точка перегиба связана с образованием и разложением дихлорамина:

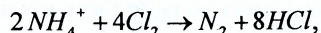




Несмотря на изученность процесса образования хлораминов и их достаточно легкое разложение в присутствии избытка хлора, единого мнения о механизме этих реакций не существует. Согласно [4] предполагается и прямое разложение монохлорамина хлорноватистой кислотой с образованием элементарного азота:



или, в общем виде, окисление иона аммония хлором протекает по реакции



при этом стехиометрический расход хлора на окисление 1 мг аммония составит 7,9 мг.

Окончательно возможно заключить, что протекание реакций окисления азотсодержащих соединений приводит к тому, что содержание в воде остаточного, связанного в хлорамины хлора начнет снижаться по мере увеличения количества введенного в воду хлора, окисляющего всё большую часть находящихся в воде хлораминов. При доведении молярного отношения введенного в воду хлора к содержащимся в ней аммонийным солям до 2 (10 мг Cl_2 на 1 мг N в виде NH_4^+) все хлорамины оказываются окисленными и содержание остаточного хлора в воде снижается практически до нуля (точка перегиба на графике хлорпоглощаемости воды, содержащей аммонийные соли). Дальнейшее увеличение дозы хлора будет повышать концентрацию остаточного хлора и он станет свободным хлором высокой бактерицидности.

В результате лабораторных исследований окисления ионов аммония гипохлоритом натрия на модельной воде (аналог воды Северо-Левокумского месторождения с концентрацией ионов $NH_4^+ = 6,2$ мг/л), проведенных в химической лаборатории НПП «ЭКОФЕС», установлено, что доза эквивалентного хлора для полного удаления из воды аммония составляет $D = 6,8 - 7,0$ мг на 1 мг иона NH_4^+ .

Ожидаемые основные суточные эксплуатационные затраты (электроэнергия и поваренная соль) при деаммонизации $Q = 45000$ м³/сут Северо-Левокумской воды со средней концентрацией ионов аммония $C = 4,0$ мг/л, расходе соли $G_{NaCl} = 5,0$ кг (стоимость $NaCl$ $C_r = 1,6$ руб./кг) и электроэнергии $G_{эл} = 5,0$ кВт·ч (стоимость $C_{эл} = 3,0$ руб./кВт) на получение 1 кг эквивалентного хлора в растворе гипохлорита натрия составят:

$$C = C \cdot D \cdot Q (G_{NaCl} \cdot C_{NaCl} + G_{эл} \cdot C_{эл}) = \\ = 4,0 \cdot 7,0 \cdot 45,0 (5,0 \cdot 1,6 + 5,0 \cdot 3) = 28980 \text{ руб./сут.}$$

Себестоимость деаммонизации 1 м³ Северо-Левокумской воды методом окисления NH_4^+ гипохлоритом натрия будет равной

$28980/45000 = 0,64$ руб./м³ (при ионообменном методе – $67323/45000 = 1,5$ руб./м³).

Если же удалять аммонийный азот не полностью, а до концентрации ПДК, т.е. с 4 мг/л до 2 мг/л путем полной деаммонизации 50 % подаваемой воды и последующего её смешения с остальными 50 % исходной, то все затраты, соответственно, снизятся в два раза.

ВЫВОДЫ

При деаммонизации подземных вод для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения метод ионного обмена требует втрое больших эксплуатационных затрат в сравнении с методом удаления аммонийного азота гипохлоритом натрия, получаемого электролизом раствора поваренной соли на месте потребления. Относительно высокая стоимость ионообменного метода в сравнении с гипохлоритной технологией связана с необходимостью восстановления обменной способности загрузки фильтров, устройством сооружений обработки и утилизации регенерационных стоков и затратами на используемые при этом реагенты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слипченко В.А., Малицкая Т.Н. Удаление минеральных азотсодержащих веществ из питьевой воды. Химия и технология воды, 1992. т. 14, № 1.
2. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин и др.; Под общ. ред. В.Н. Самохина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1981
3. Шевченко М.А., Таран П.Н. Возможности использования хлора для очистки природных и сточных вод. Химия и технология воды, 1984. т.6, № 6.
4. Кульский Л.А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды. – Киев: Наук. думка, 1980.
5. Well D., Quentin K. Bildung und Wirtungsweise der chloramine bei der Trink Wasseraufbereitung. – Z. Wasser und Abwasser Forschung. 1975, 8, N 1.

N – поперечное натяжение в водоподпорной оболочке при $(h_{\varepsilon} - H_p) \leq 0$

$$N = \frac{\rho g (H_{\text{вб}} - H_p)^2}{2(\cos \varphi_{\text{кр}} - \cos \varphi_{\text{гр}})}, \text{ при } (h_{\varepsilon} - H_p) > 0 \quad N = \frac{\rho g [H_{\text{вб}}^2 - (H_{\text{вб}} - z)]}{2(\cos \varphi_{\text{кр}} - \cos \varphi_{\text{гр}})}; \quad \psi_1 = \frac{\varphi_1}{2};$$

$$\Psi_{\text{гр(кр)}} = \frac{\varphi_{\text{гр(кр)}}}{2}; \quad \bar{\Psi}_{\text{кр(1)}} = \arcsin \frac{\sin \Psi_{\text{кр(1)}}}{\sin \Psi_{\text{гр}}}; \quad \bar{\Psi} = \frac{1}{2} \left[\arccos \left(-\frac{\rho g z^2}{2N} - \cos \Psi_{\text{гр}} \right) \right];$$

$$F(k, \psi) = \int_0^{\psi} \frac{d\psi}{\Delta(k, \psi)} - \text{эллиптический интеграл I-ого рода};$$

$$E(k, \psi) = \int_0^{\psi} \Delta(k, \psi) d\psi - \text{эллиптический интеграл II-ого рода};$$

δ – приращение стоящей за ней функции.

Расчет осуществляют методом подбора задавая рядом значений координат закрепления оболочки X_a, Y_a и радиуса R_a , на ЭВМ.

Предполагается провести в дальнейшем экспериментальные исследования данной конструкции, в ходе которых должны быть определены оптимальные параметры сооружения, высоту установки катриджей с подбором сорбентов для удаления НП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фесенко Л.Н., Кашарин Д.В., Тер-Матисова. Технология очистки воды «Техновод – 2008»: материалы IV Междунар. практ. конф.; г. Калуга, 26 – 29 фев. 2008 г./Юж.-Рос. гос. техн. ун.-т (НПИ).- Новочеркасск: ООО «Оникс+», 2008.- С.75-80
2. Пат. РФ на полезную модель № 85916. Мобильное сооружение для локализации и ликвидации нефтяных загрязнений в малых водотоках.

УДК 628.1.037(470.620-21):628.16

СПЕЦИФИКА СБОРА, РЕГУЛИРОВАНИЯ РАСХОДОВ И ОЧИСТКИ ДОЖДЕВЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ ПРОМПЛОЩАДКИ В Г. СОЧИ

Л.Н. Фесенко

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ),
г. Новочеркасск, Россия

Н.И. Куликов, Д.В. Попов

ООО «Учебно-научный производственный центр», г. Сочи, Россия

Рассмотрен и описан технологический процесс сбора и очистки поверхностных ливневых сточных вод. Ждя повышения эффективности этого процесса предлагается добавление в обрабатываемые сточные воды минерального сорбента «С-верад».

Приведены результаты исследований, проведенных в производственных условиях.

Субтропический климат г. Сочи, особенности рельефа и почвенного покрова определяют специфику сбора, регулирования расходов и технологию очистки дождевых вод в г. Сочи. Безусловно, сказывается и специфика самих промплощадок, на которых реализуется локальная система сбора и очистки дождевых сточных вод.

Нами запроектирована на основании специальных исследований система сбора, регулирования расходов и очистки стоков очистная станция автотранспортного предприятия Сочистройтранс, дочернего предприятия тоннельного отряда ТО-44.

Территория Сочистройтранс площадью 7 га расположена на правом берегу р. Сочи, до водозаборов питьевого водоснабжения по направлению течения воды в реке. В связи с таким расположением промплощадки, требования к системе дождевой канализации на площадке очень жёсткие. Вся дождевая вода, собираемая на территории предприятия, подлежит сбору и глубокой очистке. Так, в условиях промплощадки г. Сочи принята следующая технологическая схема сбора и обработки дождевых, ливневых вод: по самотечным коллекторам, все стоки сводятся к решёткам и песколовкам, после чего направляются в регулирующий резервуар, выполняющий одновременно функцию отстойника. В коридорах отстойника размещены кассеты с ершовой насадкой, обеспечивающие повышение эффективности выделения осадков сточных вод при отстаивании. Далее сточные воды распределяются по секциям сорбционных фильтров загруженных минеральным сорбентом «С-верад», обладающего способностью удерживать нефтепродукты и одновременно фильтровать очищаемую воду для дополнительного задержания взвешенных веществ.

Размеры регулирующего резервуара-отстойника обоснованы данными по интенсивности, частоте выпадения дождей для региона Сочи [1], нормативными данными [2, 3], а также на основании экспериментальных измерений по составу и свойствам примесей сточных вод с использованием приборов: концентромера нефтепродуктов (КН-2м), мутномера (ИКО-14), рН-метра и прибора для измерения зарядов частиц взвесей.

Предусмотрено дозирование реагентов для управления свойствами примесей сточных вод.

Объём регулирующего резервуара-отстойника ($W_{рез}$) принят на основании сведений о расчётном слое суточного количества выпадающих осадков – 182 мм/сут, размеров площадки предприятия 70000 м² и характеристик каналов отстойника регулирующего резервуара при условии опорожнения его в течение суток:

$$Q_{\text{расч}}^{\text{час}} = 70000 \text{ м}^2 \cdot \frac{0,182 \text{ м}}{24 \text{ ч}} = 531 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Резервуар разделён на 3 камеры-отстойники, поэтому расчётный часовой расход одного канала (Q_1) равен:

$$Q_1 = \frac{531 \text{ м}^3/\text{ч}}{3} = 180 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Сечение камеры выбрано исходя из расчётной скорости движения воды по камерам отстойника равным $10 \text{ мм/с} = 36 \text{ м/ч}$. Длина коридоров – 18 м.

Учитывая объём воды 20-минутного дождя при его интенсивности $250 \text{ л/с} \cdot \text{га}$, объём резервуара при его заполнении должен быть не менее:

$$W_{\text{рез}} = 250 \text{ л/с} \cdot \text{га} \cdot 20 \text{ мин} \cdot 60 \text{ с/мин} \cdot 7 \text{ га} = 250 \cdot 1200 \cdot 7 / 1000 = 2100 \text{ м}^3$$

$$F_1 = \frac{180 \text{ м}^3/\text{ч}}{36 \text{ м/ч}} = 5 \text{ м}^2.$$

Приняв ширину камеры равной 3 м, глубина слоя воды не более 2 м, объём каждой камеры отстойника (W_k) будет равен:

$$W_k^{\text{общ}} = 18 \text{ м} \cdot 6 \text{ м}^2 \cdot 3 = 108 \text{ м}^3 \cdot 3 = 324 \text{ м}^3.$$

Кроме того, в резервуаре отстойнике предусмотрено устройство аванкамеры с песковыми бункерами. Поскольку в течение часа проходит через отстойник около 500 м^3 , то объём аванкамеры ($W_{\text{ак}}$) должен быть не менее:

$$W_{\text{ак}} = 2100 \text{ м}^3 - 500 \text{ м}^3 - 324 \text{ м}^3 = 1300 \text{ м}^3.$$

При ширине аванкамеры 9 м и глубине 4,5 м длина аванкамеры (L) равна:

$$L = \frac{1300 \text{ м}^3}{40,5} = 32 \text{ м}.$$

Поскольку территория промпредприятия состоит из водонепроницаемых поверхностей (кровли и асфальтобетонные покрытия) и с учётом особенностей субтропического климата (минимальное испарение, максимальные показатели влажности) коэффициент стока был принят равным единице. За расчётные сутки будет очищено воды: $70000 \text{ м}^2 \cdot 0,182 \text{ м} = 12740 \text{ м}^3/\text{сут}$, с расчётной средней концентрацией взвешенных веществ – 80 мг/л , концентрацией нефтепродуктов – 7 мг/л . Должно быть задержано за сутки $12740 \text{ м}^3/\text{сут} \cdot 80 \text{ г/м}^3 = 1 \text{ т/сут}$ взвесей и $12740 \cdot 7 = 90 \text{ кг/сут}$ нефтепродуктов. В коридорах отстойника, в том числе на ершовой насадке, задерживается 90 % взвешенных веществ, т.е. около 900 кг/сут и до 70 % нефтепродуктов, т.е. около 60 кг/сут .

На сорбционной загрузке фильтров из «С-верад» по существующим данным должно задерживаться не менее 70 кг/сут взвесей и около 25 кг/сут нефтепродуктов. В очищенной воде обнаружено не более $1,5 \text{ мг/л}$

взвесей и не более 0,05 мг/л нефтепродуктов. Для интенсификации и повышения эффективности работы отстойников в первые часы дождя вводится смесь коагулянта и флокулянта «Скиф» дозой не более 5 г/м³ сточных вод на объем 2100 м³, т.е. в количестве 10 кг внутрь аванкамеры в виде 5 %-ного водного раствора.

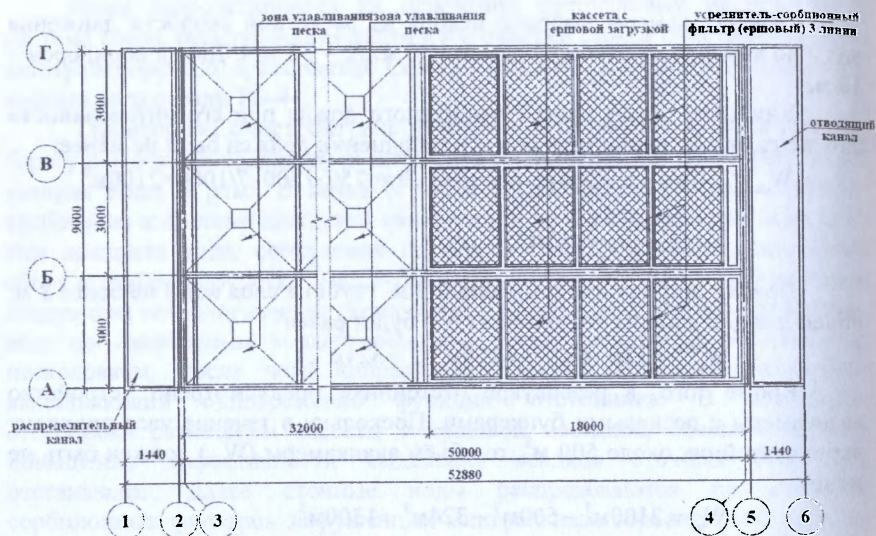


Рисунок 1. Конструкция ёмкостного сооружения очистной станции предприятия Сочистройтранс

Поскольку годовой слой осадков не превышает 1,8 м/год, то в резервуаре накапливается не более 10 т осадка по сухому веществу и чистка резервуара предусмотрена 1 раз в год в летнее время. Как правило, в июле не бывает дождей. За год на сорбенте из «С-верад» накопится не более 250 кг нефтепродуктов при общем весе загрузки «С-веред» не менее 1500 кг. Поэтому регенерация или замена сорбента планируется не чаще 1 раз в 3 года.

На рис. 1 приведена конструкция ёмкостного сооружения очистной станции предприятия Сочистройтранс, на рис.2 показана графическая зависимость сорбционной ёмкости сорбента «С-верад» при разных концентрациях нефтепродуктов в очищенной воде.

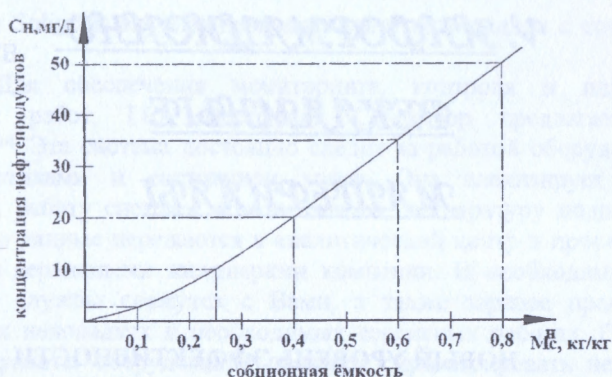


Рисунок 2. Зависимость сорбционной ёмкости сорбента «С-верад» при разных концентрациях нефтепродуктов в очищенной воде

ЛИТЕРАТУРА

1. Секурова З.А. Характеристики дождевого стока с поверхности Черноморской территории Северо-Западного Кавказа: Дис ... канд. тех. наук: 05.23.04 / З.А. Секурова - СПб., 2004. - 106 с.
2. СНиП 2.04. 03. – 85 Канализация. Наружные сети и сооружения.
3. ФГУП "НИИ ВОДГЕО" Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты, 2005.