

МОЖНО ЛИ В РОССИИ ОСТАНОВИТЬ ПРОТИВНИКОВ ХЛОРА?



Петросян О.П.

Кожевников А.Б.,

канд. техн. наук, генеральный директор ФСП «КРАВТ» (г. Калуга)

Петросян О.П.,

канд. физ.-матем. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Калуга)

Баранов А.А.,

зам. генерального директора ФСП «КРАВТ» (г. Калуга)



Для централизованного питьевого водоснабжения населения России используются преимущественно поверхностные источники — реки, водохранилища, озера. Заражение этих вод постоянно возрастает за счет увеличения удельного веса сброса неочищенных стоков, в связи с чем существенно возросло микробное заражение поверхностных водоемов. Неспособность обеспечить безопасность питьевой воды подвергает население риску вспышек кишечных и других инфекционных болезней, которые могут привести к одновременному заражению потенциально большой части населения, в том числе и детей.

Серьезное положение в области водоснабжения сложилось с техническим состоянием водоочистных комплексов централизованных водозаборов, которые во многих случаях были спроектированы и построены 70–80 лет назад. Их износ с каждым годом нарастает, а более 40% оборудования требует полной замены [1]. Анализ аварийных ситуаций показывает, что 57% аварий на объектах ВХЗ происходят из-за ветхости оборудования, поэтому дальнейшая его эксплуатация будет приводить к резкому возрастанию аварий, ущерб от которых значительно превысит затраты на их предотвращение. Положение усугубляется тем, что из-за изношенностей сетей вода в них подвергается вторичному заражению, и требует дополнительной очистки и обеззараживания. Еще хуже положение с централизованным водоснабжением населения в сельской местности.

В результате, если в 80-е годы прошлого столетия в России в среднем только 7% исследованных проб не отвечали гигиеническим требованиям по бактериологическим показателям, то в настоящее время эта величина возросла до 11–12%. С 1991 года в стране отмечается стойкая тенденция к повышению кишечной инфекционной заболеваемости бактериальной и вирусной этиологии как сезонной, так и вспышечной, обусловленной водным фактором. С 2002 г. стала резко возрастать заболеваемость вирусными гепатитами. Прирост гепатита А в 2002 году по сравнению с предыдущим годом составил 91%. Вспышки гепатита А, связанные с употреблением населением некачественной воды, имели место в Саратове, Иркутской, Челябинской, Новгородской областях и в ряде городов Подмосковья.

Летом в 2005 году по России прокатилась волна заболеваний серозным менингитом. Масштабы этого заболевания оказались непредсказуемы — Новосибирская, Екатеринбургская, Свердловская, Архангельская области, Краснодарский и Ставропольский края, Бурятия, Удмуртия... И это не весь список регионов, охваченных



Рис.1.
Объем потребления хлора для дезинфекции воды в США и
России (тыс. т/год)

ным путем либо при употреблении зараженной воды, либо при контакте с ней. Врачи не исключают продолжения локальных вспышек этой болезни из-за плохого состояния технологических систем водоподготовки ЖКХ России. 2006–2007 годы сопровождались локальными вспышками кишечных заболеваний и гепатитом А в Дагестане, на Сахалине, Карелии, Ставропольском крае Новгородской, Волгоградской и других областях. В 2007 году в некоторых регионах наблюдались вспышки болезни вызванной бактериями *Legionella*. Бактерии *Legionella* распространены повсеместно в окружающей среде и проникают в системы распределения питьевой воды при повышенной температуре, наблюдаемой временами в сетях и более часто в системах распределения горячей и теплой воды. Некоторые микроорганизмы разрастаются в виде биопленок на поверхностях (труб, резервуаров и т.п.) при контакте с водой и, если они не вызывают заболевания у здоровых людей, то сильно ухудшают органолептические свойства воды, то есть вызывают неприятное ощущение в результате появления неприятного вкуса и запаха или изменения цвета питьевой воды.

Это дает основания назвать проблему гигиены водоснабжения, т. е. обеспечение населения доброкачественной надежно обеззараженной водой, важнейшей проблемой, требующей комплексного и наиболее эффективного решения.

Таким образом, при рассмотрении вопросов безопасности функционирования ВЖХ необходимо учитывать как техническую сторону безопасности объектов водоподготовки, так и санитарно-эпидемиологическую безопасность продукта — питьевой воды [2]. Безопасная питьевая вода, по определению опубликованной Всемирной организацией здравоохранения «Руководства по обеспечению качества питьевой воды», не должна представлять никаких рисков для здоровья в результате ее потребления в течение всей жизни, включая различную уязвимость человека к болезням на разных

этапах жизни. К группе наибольшего риска в отношении болезней, передаваемых через воду, относятся дети грудного и раннего возраста, люди с ослабленным здоровьем или живущие в антисанитарных условиях и люди пожилого возраста [3].

Обеззараживание воды осуществляется при помощи добавления в воду различных химических веществ или проведения специальных мероприятий. Использование химических дезинфицирующих средств при обработке воды обычно вызывает образование химических побочных продуктов. Однако риск для здоровья от этих побочных продуктов чрезвычайно низок по сравнению с риском, связанным с вредоносными микроорганизмами развивающимися в воде вследствие неадекватной дезинфекции.

Минздравом разрешено применение более 200 средств для дезинфекции и стерилизации. Однако рассматривать их все нет необходимости, так как многие из них по тем или иным причинам не применимы для водоснабжения. Остановимся только на основных дезинфектантах, применяемых в России и за рубежом.

Все технологические схемы очистки и обеззараживания воды (старые и новые) должны опираться на основные критерии, предъявляемые к качеству питьевой воды: питьевая вода должна быть безопасна в эпидемиологическом отношении, безвредна по химическому составу и обладать благоприятными органолептическими (вкусовыми) свойствами. Эти критерии и лежат в основе нормативных актов всех стран, в том числе и в России (СанПиН 2.14.1074–01). Причем эти документы учитывают тот факт, что опасность заболеваний человека от микробиологического загрязнения воды во много тысяч раз выше, чем при загрязнении воды химическими соединениями различной природы.

В существующей практике обеззараживания питьевой воды хлорирование используется наиболее часто как наиболее экономичный и эффективный метод в сравнении с любыми другими известными методами. В США 98,6% воды (подавляющее количество) подвергается хлорированию. Аналогичная картина имеет место и в России, и в других странах, т. е. в мире в 99 из 100 случаев для дезинфекции используют либо чистый хлор, либо хлорсодержащие продукты [4]. На рис.1 отражены объемы потребления хлора для дезинфекции воды в России и США.

Такая популярность хлорирования связана и с тем, что это единственный способ, обеспечивающий микробиологическую безопасность воды в любой точке распределительной сети в любой момент времени благодаря эффекту последействия. Этот эффект заключается в том, что после совершения действия по внедрению молекул хлора в воду («последействие») последние сохраняют свою активность по отношению к микробам и угнетают их ферментные системы на всем пути следования воды по водопроводным сетям от объекта



водоподготовки (водозабора) до каждого потребителя. Подчеркнем, что эффект последействия присущ только хлору. Учитывая состояние наших водопроводных сетей, забывать о присутствии в них микробов «смерти подобно».

Кроме главной функции — дезинфекции, благодаря уникальным окислительным свойствам и эффекту последействия, хлор служит и другим целям — контролю за вкусовыми качествами и запахом воды, предотвращению роста водорослей, поддержанию в чистоте фильтров, удалению железа и марганца, разрушению сероводорода, обесцвечиванию воды и т. п. В этом смысле ни одно из альтернативных хлору средств не может сравниться с ним по универсальности и простоте применения.

В последнее десятилетие в России наблюдается повышенный интерес к объектам водоподготовки с точки зрения лоббирования корпоративных бизнесинтересов. Причем эти обсуждения обосновываются благими намерениями обеспечить россиян качественной водой. Принимаемые или лоббируемые отечественными чиновниками решения не всегда соответствуют научным данным и мировому опыту. Их высказывания часто сопровождаются такими «глубокомысленными» высказываниями как: «Хлорирование — это очень плохо», «уже никогда (кроме России) воду не хлорируют», «Ну хлор — это уже почти прошлый век, то есть XX век, сейчас есть новые технологии, которые позволяют отказаться от хлора. Применение хлора — губительно. Необходимо применять нанотехнологии». Основываясь на таких псевдонаучных утверждениях в России, принятая программа «Антихлор», как составная часть общенациональной программы «Чистая вода» на основе которой осваиваются огромные средства для внедрения якобы альтернативных технологий. Под рассуждения крупных чиновников о необходимости потребления чистой воды производится попытка внедрения бессмыслиц и необоснованных новаций в нарушение апробированных технологий и СанПиН 2.14.1074-01, который отвечает самым высоким мировым требованиям.

А лето 2009 года началось с энтеровирусной инфекции со смертельными исходами и совершенно очевидно для специалистов, что причины всех энтеровирусных инфекций — антисанитария и некачественная питьевая вода. При этом некоторые чиновники и безответственные проектировщики продолжают в угоду принятой программы предлагать питьевую воду обеззараживать озоном и гипохлоритом, а сточную воду достаточно подвергать ультрафиолетовому облучению. Такая «живая» вода и является источником бесконечных вспышек инфекций. Некоторые пошли еще дальше, предполагая вместо приведения в порядок водопроводного хозяйства внедрять практически

бесполезные при централизованном водоснабжении фильтры (в частности фильтры Петрика) [5,6,7,8].

А не пора ли остановиться и трезво (научно обоснованно) взглянуть на проблему, развеять заблуждения чиновников от ЖКХ, от решения которых зависит здоровье нации?

Недостатки и достоинства наиболее широко применяемых альтернативных методов обеззараживания — озонирование и УФ-облучения хорошо изучены [9]. Основным недостатком этих методов, определяющим их место в технологии обеззараживания является отсутствие эффекта обеззараживающего последействия. Поэтому эти методы используются на первичном (предварительном) этапе обеззараживания, что позволяет уменьшить дозу применяемого хлора. Однако, перед подачей воды в распределительные сети обязательно хлорирование, поскольку оно является единственным способом, обеспечивающим микробиологическую безопасность воды в любой точке распределительной сети благодаря эффекту последействия. Другое направление модернизации станций водоподготовки позволяющее уменьшить дозу хлора, связано с заменой существующих технологий первой ступени на мембранные фильтры, позволяющие производить очистку воды до уровня дистиллированной. Однако вторая ступень водоподготовки (обеззараживание) остается неизменным в силу причин описанных выше. На рис.2 представлены мембранные модули на станции в г. Копер (Словения), построенной фирмой Дегремон. Обеззараживание поступающей в резервуары чистой воды на этой станции производится диоксидом хлора, так как распределительная сеть должна постоянно поддерживаться в обеззараженном состоянии во избежание ее необратимого обрастания и заражения. Стоимость воды при таком подходе к водоподготовки увеличивается в 4–6 раз по сравнению с традиционными схемами подготовки.

Рассмотрим с точки зрения безопасности применение озонирования и УФ-облучения.

Несмотря на российский и зарубежный опыт применения озона в технологии водоподготовки есть еще множество нерешенных проблем. Очень часто озонирование называют экологически чистым способом обеззараживания. Не понятно только, что послужило основанием такого определения. Последние исследования показали, что мнение об озонировании как о более безвредном способе обеззараживания воды ошибочно. Так продукты реакции озона с содержащимися в воде органическими веществами представляют собой альдегиды (формальдегид, ацетальдегид, глиокаль, метилглиокаль), кетоны, карбоновые кислоты и другие соединения, присутствие которых создает ряд дополнительных проблем в процессе водоподготовки, в том числе альдегиды увеличивают опасность образования хлороганических побочных продуктов. Кроме того, как следует из опыта применения озона



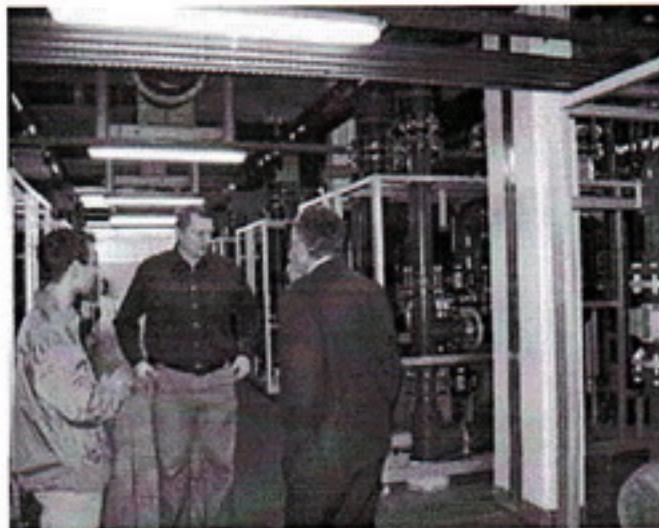
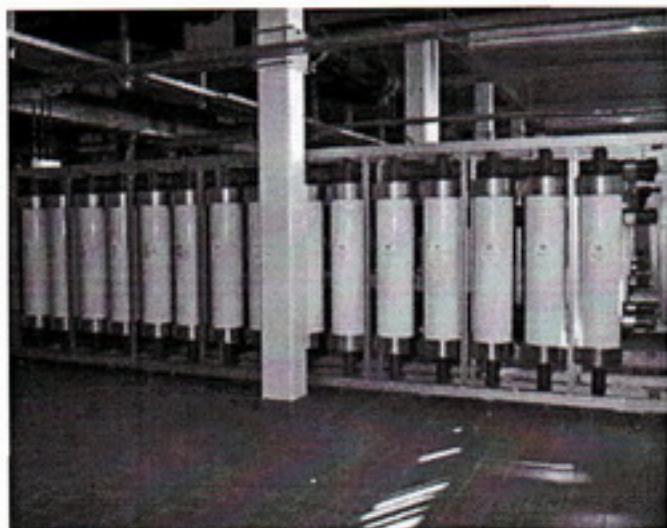


Рис.2. Станция водоподготовки в г. Копер (Словения)

на Мосводоканале, применение озона не только дорого, но и не позволило исключить даже предварительное хлорирование из-за ненадежности очистки воды от гидробионтов, выявила также негативная тенденция увеличения численности зоопланктона в воде, обработанной озоном.

Применение другого альтернативного дезинфектанта — УФ-облучения позволяет избавиться от побочных продуктов обеззараживания, что является его несомненным достоинством. Но на сегодня его промышленное применение осложнено отсутствием возможности оперативного контроля эффективности обеззараживания воды. В соответствующих методических руководствах указывается на возможность применения УФ-облучения на этапе первичного обеззараживания воды при условии проведения на источнике водоснабжения технологических исследований. Вместе с тем в методических указаниях отмечается, что УФ-облучение обеспечивает заданный бактерицидный и вирулицидный эффект лишь при соблюдении всех установленных эксплуатационных условий. Одним из важнейших вопросов применения этого метода является создание гарантий пропуска всей обеззараживаемой воды через установку, т. е. производительность установки должна быть равна производительности водопроводной станции. Одним из важнейших вопросов применения этого метода является создание гарантий его надежности. С этой целью система должна быть снабжена датчиками измерения интенсивности УФ-облучения в камере обеззараживания, системой автоматики, гарантирующей звуковой и световой сигналы при снижении минимально заданной дозы, счетчиков времени наработки ламп и индикаторов их исправности для своевременной очистки при обрастиании или замены.

Понимая необходимость использования хлора на одной из стадий водоподготовки, эксплуатационщики используют программу «Антихлор» для замены газообразного хлора на гипохлорит. Предполагается,

что переход на гипохлорит натрия позволит ликвидировать высокотоксичное хлорное хозяйство, обеспечивая при этом экологическую и технологическую безопасность при водоподготовке. Ошибочно полагая, что эффективность обеззараживания водопроводной воды при этом сохраняется на прежнем уровне, производятся затраты, ухудшающие качество питьевой воды. Так, например, переход на использование нового реагента в небольшом поселке Новые Ляды в ноябре 2008 года стоил бюджету 2,5 млн. рублей [10].

Общеизвестно, что 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. 3). При низких значениях pH (от 0 до 3) преобладают молекулярный хлор Cl₂ 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 (pH>6) хлорноватистая кислота распадается на ионы H⁺ и ClO⁻. Так, например, при pH = 6 доля HClO составляет 97 %, а доля гипохлоритных ионов 3 %. При pH = 7 доля HClO составляет 78 %, а гипохлорита — 22 %, при pH = 8 доля HClO — 24 %, гипохлорита — 76 %. А при 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 Cl₂, зона HClO, зона ClO⁻, в которых не проявляется их активность, и зоны нестабильности: зона Cl₂ — HClO (pH=1,5–3,5), зона HClO — ClO⁻ (pH=6–9). Так как pH воды поверхностных источников составляет 6,5–8,5, то вторая зона нестабильности должна быть предметом нашего внимания, так как именно в этой зоне проявляется высокая бактерицидная активность, причем наивысшая бактерицидная активность кислородных



соединений хлора проявляется в диапазоне pH от 7,0 до 7,5, где концентрации гипохлорит-ионов и хлорноватистой кислоты сопоставимы.

Объясняется данный факт тем, что указанные соединения, являясь сопряженными кислотой и основанием ($\text{HClO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{ClO}^-$; $\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HClO} + \text{OH}^-$), образуют в указанном диапазоне значений pH метастабильную систему, способную генерировать ряд соединений и частиц, обладающих гораздо большим antimикробным действием, нежели хлорноватистая кислота: O_2 — синглетный молекулярный кислород; ClO^- — гипохлорит-радикал; Cl — хлор-радикал (атомарный хлор); O — атомарный кислород; OH^- — радикал гидроксида. Катализаторами реакций с участием хлоркислородных соединений являются ионы H^+ и OH^- , существующие в воде также приблизительно в равном количестве при значениях pH, близких к нейтральному [11, равному 7–7,5 (попутно для будущих исследований и утверждений отметим, что среднее значение pH крови составляет 7,36, а весь диапазон возможных значений pH крови настолько узок, что гарантированно входит в центральную часть этой метастабильной зоны)].

Из сопоставления химизма растворения хлора и гипохлорита в воде следует, что, по крайней мере, некорректно называть замену газообразного хлора на гипохлорит программой «антихлор» и тем самым вводить в заблуждение потребителей питьевой воды.

При этом везде, где внедряется эта программа, декларируется безопасная технология и отсутствие последствий связанных с применением хлора. Однако это мнение ошибочно как в смысле технической, так и эпидемиологической безопасности.

Гипохлорит имеет щелочной характер и его применение приводит к повышению уровня pH обрабатываемой воды. При этом нарушается химическое равновесие в питьевой воде, причем не только из-за введения раствора с иным значением pH, но и ввиду наличия в нем иных компонентов. И процесс восстановления этого равновесия затягивается в соответствии с принципом Ле Шателье на десятки часов, снижая бактерицидную активность раствора, чем ухудшается качество обеззараживания воды.

А что же с хлором? При обеззараживании воды хлором, растворяясь в воде, хлор образует хлорноватистую кислоту HClO , которая относится к кислотам средней силы ($\text{pK}=7,2$). При дальнейшем ее растворении образующиеся ионы ClO^- и H^+ не проявляют сильно кислотно-щелочных свойств и не оказывают значительного влияния на pH обрабатываемой воды, а значит качество обеззараживания воды при его применении гарантированно. Это первое преимущество хлора перед гипохлоритом.

Анализ работ [12, 13] позволяет сделать выводы, что гипохлорит натрия обладает существенно меньшей

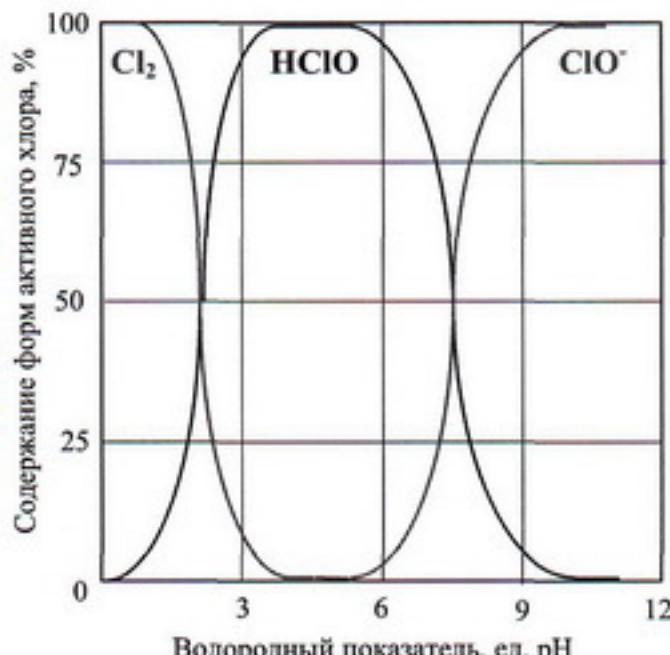


Рис. 3.
Соотношение содержания форм соединений хлора в воде в зависимости от значения pH

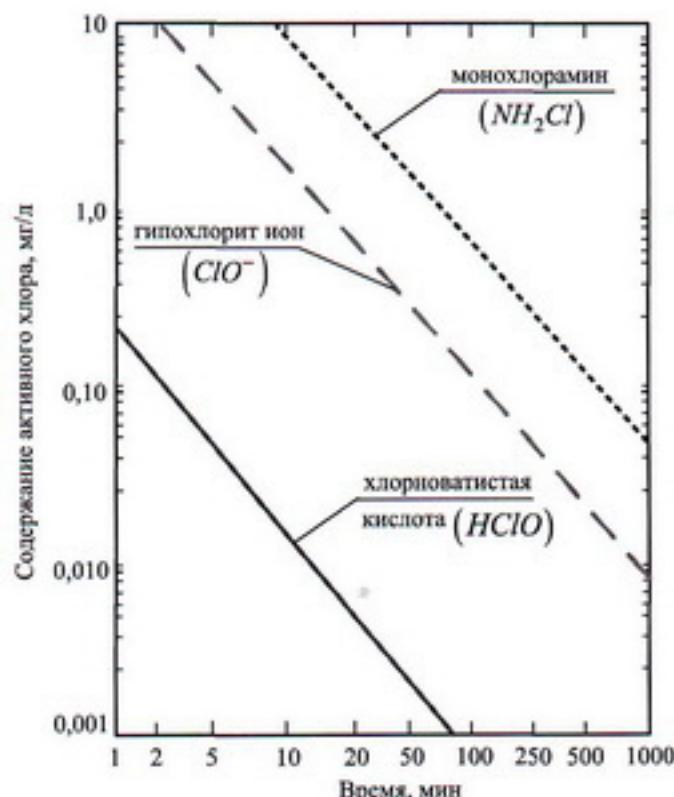


Рис.4.
Сравнительная антибиотическая активность растворов хлорноватистой кислоты, образующейся при применении газообразного хлора, гипохлорита натрия и хлорамина на примере уничтожения 99 % E.Coli в воде при температуре +2-6°C



Таблица 1.

Капитальные затраты, затраты на оборудование, на ремонт и обслуживание

	Газообразный хлор	Гипохлорит натрия
Затраты крупных предприятий	Низкие	Высокие (выше в 3-4 раза)
Избыточность	Просто встроить в существующую систему	Дорого встроить в существующую систему
Легко организовать складское хранение	Легко хранить	Разлагается с течением времени (потеря активной части в результате хранения до 30% первоначального содержания по истечении 10 суток)
Регламентное обслуживание	Низкие	Низкие
Частота инспекций/тестирования	Регулярно (опасный объект)	Регулярно (опасный объект)
Срок жизни		
оборудования	Долгий (>15 лет)	Короткий или средний для резервуара (от менее 5 до менее 10 лет)
Системная адаптивность	Может применяться в составе сложных систем	Применим только в простых системах
Активный хлор (%)	100% чистого стойкого химического вещества	12,5% по весу и объему разбавленного нестойкого химического вещества, увеличение объемов применения реагента в 7-8 раз по сравнению с хлором за счет низкого содержания активной части
Транспортные затраты	Ниже	Выше увеличение объема транспортировки железнодорожных цистерн
Приемлемость для удаленных станций водоподготовки	Удобен	Дорог
Зависимость затрат от объема поставок	Удельные затраты падают с ростом расхода химического вещества	Удельные затраты растут с ростом расхода химического вещества
Доступность массовых поставок	Доступен. Автоцистерны, танкеры, бочки и баллоны	Для очень больших производственных мощностей доступность ограничена

бактерицидной активностью, нежели хлорноватистая кислота, концентрация которой максимальна при растворении хлора в воде. Из приведенных на диаграмме (рис.4) данных видно, что для достижения одинакового эффекта обеззараживания питьевой воды хлорноватистой кислотой, гипохлоритом натрия и хлорамином при одной и той же концентрации активного хлора, например, 0,1 мг/л, упомянутым реагентам, требуется время менее 2 минут, более (в 50 раз) 100 минут и около 500 минут соответственно. Это — второе.

Санитарно-микробиологические исследования, проведенные в 2002 г. Институтом медико-экологических проблем и оценки риска здоровью (г. Санкт-Петербург), выявили недостатки гипохлорита с позиции функциональной эффективности и экологической чистоты.

Оказалось, что раствор хлора в воде в несколько десятков раз эффективнее гипохлорита по остаточному количеству бактерий. Кроме того, гипохлорит неэффективен против цист, что ограничивает его применение на протяженных водопроводных сетях. Это — третье.

Дискуссии о дезинфицирующей способности гипохлорита уже давно завершены врачами-эпидемиологами [14], и их выводы изложены в практическом руководстве, где указано, что гипохлорит натрия, полученный химическим и электрохимическим путем (неважно, каким) неэффективен против споровых форм микробиологических организмов. Это — четвертое.

Кроме того, хорошо и давно известно, что гипохлорит натрия не в состоянии обеспечить удаление биопленок с поверхности трубопроводов, благоприятных



Таблица 2.

Затраты на внедрение и эксплуатацию системы обеззараживания гипохлоритом натрия (ГХН) и хлором

Статья расходов (тыс. руб.)	ГХН	Хлор	Превышение по ГХН
1	2	3	4
Проект	740	240	500
Оборудование и монтаж	30000	1560	28440
Транспорт (год)	65	20	45
Стоимость реагента (год)	4000	1500	2500
АГСС (спасатели) (год)	-	480	- 480
Система оповещения (по системе ГО и ЧС)	-	3000	-3000
ИТОГО	34805	6800	28005

Примечания к таблице 2:

1. В состав оборудования включены: два хлоратора АХВ-1000/Е, две системы автоматического регулирования расхода хлора (CAP-PX) и аппарат нейтрализации аварийных выбросов хлора.
2. По системе оповещения предполагается разовое капитальное вложение. Техническая реализация никакими нормативными документами не определена, что дает возможность изменения ее стоимости в сторону уменьшения.
3. Расчет составлялся в 2005 году и, предполагалось, что производства, применяющие гипохлорит не поднадзорны Ростехнадзору. Поскольку эти объекты сегодня считаются опасными производствами, то в затратах дополнительно необходимо учитывать затраты на мероприятия по безопасности в соответствии с Федеральным законом № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», которые осложняются отсутствием подготовленных специалистов и оборудования, имеющего разрешения Ростехнадзора на применение. Отсутствие качественного отечественного оборудования замещается дорогостоящими импортными дозирующими насосами, выбор которых осложняется широким предложением на рынке и отсутствием квалифицированных специалистов.

для развития микроорганизмов и вторичного загрязнения воды. Это — пятое.

Существенно и то, что замена газообразного хлора гипохлоритом натрия или кальция для дезинфекции воды вместо молекулярного хлора не снижает, а значительно увеличивает вероятность образования тригалометанов (ТГМ), что ухудшает качество воды, связанное с тем, что при применении гипохлорита увеличивается pH и процесс образования ТГМ растягивается во времени до нескольких часов, а их количество при прочих равных условиях тем больше, чем выше pH. Это обусловлено тем, что малоактивные гипохлорит-ионы не в состоянии быстро окислить наиболее реакционно способные части молекул гумусовых веществ и потому реагируют с ними с образованием тригалометанов [9]. Это — шестое.

Сравнение эксплуатационных затрат систем обеззараживания хлором и гипохлоритом, а также затрат на их внедрение явно не в пользу гипохлорита (и это — седьмое), что подтверждается таблицей 1, в которой проводится сравнительная характеристика затрат и таблицей 2 с примером расчета экономической целесообразности замены хлора на гипохлорит натрия

в технологии обеззараживания воды, рассчитанным экономистами водоканала среднего города России применительно к хлораторной на станции третьего подъема. Эти таблицы весьма красноречиво свидетельствуют, что внедрение и функционирование системы обеззараживания на основе гипохлорита в пять раз дороже аналогичной системы на хлоре.

Время хранения гипохлорита ограничено из-за его разложения, что также удорожает логистику его использования. На рис. 5 представлена зависимость скорости распада раствора гипохлорита различной концентрации в зависимости от температуры хранения.

Таким образом, при замене хлора на гипохлорит, с одной стороны, ухудшается качество воды по химическому составу, и ухудшаются бактериологические показатели воды, а с другой — себестоимость водоподготовки увеличивается.

Рассмотрим технические аспекты проблем, возникающих при использовании гипохлорита натрия на объектах водоподготовки, основываясь на данных, накопленных как наукой, так и опытом использования его в зарубежных странах [12]. Очень часто для обоснования перехода на гипохлорит натрия декларирует-



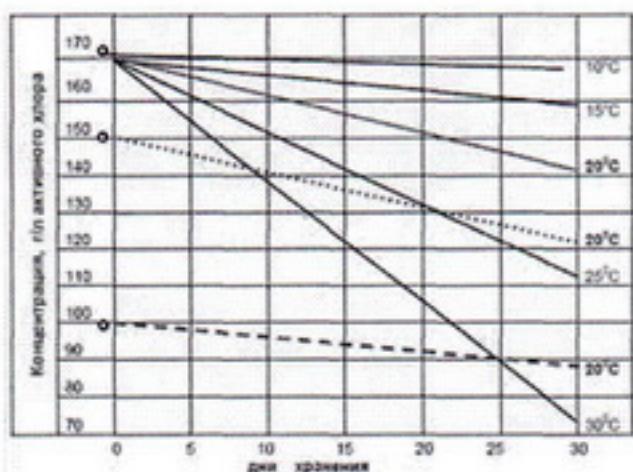


Рис.5.

Потеря активности гипохлорита натрия в зависимости от начальной концентрации, времени и температуры хранения

ся безопасная технология и отсутствие последствий, связанных с применением хлора. Однако это мнение ошибочно как в смысле технической, так и эпидемиологической безопасности, что видно из рис.6.

Из представленных на нем диаграмм видно, что из года в год растет число происшествий при применении, хранении и перевозки гипохлорита и, если общее число аварий в 1996 году при применении хлора и гипохлорита мало отличалось, то к 1998 году число происшествий с гипохлоритом возросло вдвое. Опыт использования гипохлорита в зарубежных странах показал, что аварийность на объектах где он используется, растет опережающими темпами на всех этапах технологического процесса от процесса производства до его использования. Это — восьмое.

Статистика по РФ отсутствует, имеются только отдельные данные, но в связи с ростом использования гипохлорита картина аварийности мало, чем будет отличаться от стран, имеющих большой опыт использования этого реагента. В таблице 3 представлены наиболее крупные технические аварии и их причины, произошедшие на объектах водоподготовки при использовании гипохлорита натрия.

Эта статистика происшествий с гипохлоритом вполне объяснима. С одной стороны, дело в том, что потенциальной опасностью гипохлорита является его полная несовместимость с кислотами, так как при $\text{pH} < 5$ равновесие реакции гидролиза NaClO смещается в сторону выделения молекулярного Cl_2 . Поэтому наиболее крупные аварии случаются при смешивании гипохлорита с кислотами, что приводит к выбросу газообразного облака хлора при этом следует учесть, что выделяется в таких случаях влажный хлор, который при проникновении в легкие не вызывает болевых ощущений, поэтому наиболее опасен и приводит к большим жертвам. С другой стороны — это постоянные газовыделения

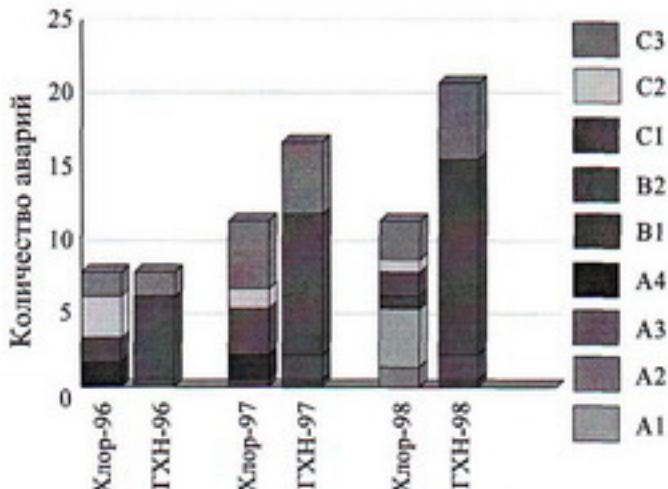


Рис.6.

Число происшествий (аварий) при использовании хлор-газа (Хлор) и гипохлорита (ГХН) в 1996, 1997, 1998 годах на различных этапах технологического процесса их использования (A1 — заводское производство; A2 — заводское складское хранение; A3 — заводское затаривание ёмкостей; A4 — заводское тестирование контейнеров; B1 — транспортировка — доставка клиенту; B2 — транспортировка — процесс перевозки; C1 — складское хранение у клиента; C2 — подсоединение-отсоединение ёмкостей; C3 — процесс применения продукта клиентом)

в ходе естественного разложения гипохлорита (см. рис.5). Поэтому в случаях, когда гипохлорит оказывался между двумя закрытыми запорными устройствами, наблюдались взрывы шаровых клапанов, фильтров, и других устройств. Причем в составе выделяемого газа содержится и хлор, поэтому помещения насосных, туннелей, фильтровальных установок и других аналогичных пространств потребовалось оснастить системами очистки воздуха, причем такими, которые обеспечивают нейтрализацию выделяющегося хлора, т. е. в соответствии с «Правилами безопасности при производстве, хранении, транспортировании и применении хлора» ПБ 09-594-03, п.5.11 «Помещения, где возможно выделение хлора, должны быть оснащены автоматическими системами обнаружения и контроля содержания хлора. При превышении предельно допустимой концентрации хлора (ПДК) равной $1 \text{ мг}/\text{м}^3$ должна включаться световая и звуковая сигнализация, и аварийная вентиляция, блокированная с системой аварийного поглощения. При использовании системы абсорбционного метода улавливания аварийных выбросов по сигналу датчика наличия хлора должны включаться насосы для подачи нейтрализующего раствора на орошение санитарной колонны, и затем аварийная вентиляция с запаздыванием на время, необходимое для подачи орошающего раствора в санитарную колонну. При использовании двухпорогового газоанализатора хлора при превышении концентрации хлора 1 ПДК должны включаться световая и звуковая сигнализации, а при превышении



Таблица 3.

Аварии и происшествия с гипохлоритом натрия

Дата	Место	Число пострадавших	Описание
16.02.09	Эйлат, Израиль, бассейн гостиницы «Клаб-Отель»	70	Причиной ЧП стал человеческий фактор: незадолго до аварии в машинном отделении происходила разгрузка гипохлорита, который используется на многих курортах для поддержания качества воды в бассейнах. Из-за ошибки, допущенной работниками отеля, вещество вступило в химическую реакцию с соляной кислотой, в результате чего произошел выброс газа.
26.04.08	Санкт-Петербург, Россия аквапарк «Вотервиль»	224	Причина не установлена.
26.02.08	Винница, Украина «Маяк»	20	Образование паров хлора в помещении бассейна. Неисправная вентиляция.
05.10.07	Франкфурт-на-Майне, Германия	50	По ошибке автоцистерну с соляной кислотой разгрузили в емкость с гипохлоритом натрия. Образовалось облако газообразного хлора.
13.12.06	Новокузнецк, Россия бассейн «Витязь»	150	При плановой подготовке раствора для хлорирования воды произошла реакция, сопровождающаяся выделением большого количества газа. Внештатная ситуация возникла из-за присутствия в баке, где происходило хлорирование, или в канистрах с гипохлоритом посторонних веществ, которые и вызвали реакцию.
27.07.90	Графство Манчестер (Manchester), Великобритания	7	Соляная кислота и гипохлорит натрия одновременно применены для водоподготовки в плавательном бассейне, прореагировали друг с другом и образовали хлор. Пары хлора распространились через вентиляционную систему.
31.01.89	г. Уэллс, графство Сомерсет (Wells, Somerset), Великобритания	8	Водитель автоцистерны совершил ошибку и подсоединил к своей цистерне неверный шланг. В результате полная цистерна соляной кислоты была выгружена в резервуар с гипохлоритом натрия
14.10.88	г. Кеттеринг, графство Нортантс (Kettering Northants), Великобритания	25	По чьей-то ошибке гипохлорит натрия смешали с соляной кислотой. Образовался газообразный хлор.
17.05.87	Штат Филадельфия, США	42	Протечки в резервуарах соляной кислоты и гипохлорита натрия привели к образованию паров хлора.
01.03.85	г. Уэстмалле (Westmalle), Бельгия	25	Соляную кислоту случайно привезли на промплощадку и смешали с остатками гипохлорита натрия, которые оставались в том резервуаре, куда разгрузили кислоту. Образовалось облако газообразного хлора.
12.02.85	г. Гомер-Сити (Homer City), США	11	Гипохлорит натрия прореагировал с серной кислотой в трубе системы слива. Образовалось облако газообразного хлора.
20.11.84	г. Слейтвейт, Графство Уэст Йоркшир (Slaithwaite, West Yorkshire), Великобритания	29	По ошибке хлорид железа разгрузили в емкость с гипохлоритом натрия (отбеливатель), что привело к образованию токсичного облака газообразного хлора.
06.09.84	г. Хинкли (Hinckley), Великобритания	43	Произошло непреднамеренное смешение гипохлорита натрия и соляной кислоты в плавательном бассейне.
08.03.70	г. Кайзерслаутерн, Германия	67	Из-за протечки трубопровода произошло смешивание соляной кислоты и гипохлорита натрия в резервуаре хранения гипохлорита. Образовалось облако газообразного хлора.





Рис. 7.
Причины аварийности при работе с хлором

20 ПДК — аварийная вентиляция, сблокированная с системой аварийного поглощения» [15].

Возникают проблемы и с подбором оборудования, и с его эксплуатацией в среде растворов гипохлорита, обладающих очень высокой коррозионной активностью. При использовании вместо газообразного хлора гипохлорита натрия в процессе ввода этого реагента в систему трубопроводов для его разбавления там образуется осадок, состоящий из гидроксида магния и диоксида кремния, забивающий водные каналы, поэтому требуются дополнительные мероприятия и по предотвращению кальцинации арматуры, особенно точек ввода — инжекторов и диффузоров.

Подобных примеров можно привести множество. И из всего сказанного выше следует, что применение раствора гипохлорита вне зависимости от способа его получения (промышленный или на локальных установках) в сравнении с хлором не только не снижает опасность происшествий и аварий на производственных объектах водоподготовки, но и способствует интенсивному разрушающему воздействию на технологическое оборудование, способствуя досрочному выходу его из строя [16]. Это — девятое.

Своевременным является решение, вынесенное на совещании Ростехнадзора по теме: «Состояние и перспективы развития хлориспользующих объектов систем водоподготовки ЖКХ» в апреле 2008 года, в котором отмечается, что объекты, на которых применяются привозные или произведенные на месте гипохлорит натрия, двуокись хлора и озон, являются опасными и к ним применяются требования Федерального закона № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», что получило отражение в новой редакции закона от 30.12.2008 года № 313-ФЗ.

Таким образом, переход на гипохлорит натрия по принципу безопасности ошибочен. Это относится как к концентрированному гипохлориту натрия марки А с содержанием активной части 190 г/л, полученному промышленным способом, так и к низкоконцентрированному гипохлориту марки З с содержанием активной части около 6 г/л, производимому на месте его использования. Согласно классификации ООН, гипохлорит натрия классифицирован как коррозионный — класс

8, № ООН -1791, группа опасности для хранения — PGII или PG III в зависимости от концентрации и по существующим «Инструкциям опасных товаров», хранение гипохлорита натрия в количестве более 250 литров требует оформления лицензии (лицензирование для разъезжающих веществ и ядов).

Требования безопасности при производстве хлора методом электролиза изложены в главе III ПБ 09-594-03. Технология получения хлора должна исключать возможность образования взрывоопасных хлороводородных смесей в технологическом оборудовании и коммуникациях при регламентных режимах работы. Однако, рассматривая схему работы электролизера, производящего низкоконцентрированный раствор гипохлорита натрия из раствора поваренной соли в проточном электрохимическом реакторе, следует отметить, что в емкости с готовым раствором гипохлорита образуется не чистый водород, а взрывоопасная смесь, состоящая из водорода, кислорода и хлора. Только вентиляция взрывоопасных электролизных газов приводит к бесконтрольному рассеянию в атмосфере хлора, что не допустимо и поэтому применение на объекте электролизеров должно предусматривать устройство нейтрализации выбросов хлора. Это — десятое.

Таким образом, объекты, на которых применяется, хранится, перерабатывается и т.д. гипохлорит натрия, относятся к категории химически опасных объектов, которые в установленном порядке подлежат регистрации в госреестре опасных производственных объектов.

Поскольку объекты, использующие газообразный хлор, всегда входили в категорию опасных производственных объектов и находились под контролем Госгортехнадзора и Ростехнадзора, поэтому они, как правило, соответствуют требованиям Федерального закона № 116-ФЗ. Отечественная промышленность производит полный перечень оборудования, применяемого на объектах водоподготовки при обеззараживании хлором, с Разрешением на применение на опасных производственных объектах. Налажена система обучения и повышение квалификации специалистов. Задача сводится лишь к проведению регламентных работ, замене морально устаревшего оборудования, внедрению систем автоматизации, ограничивающих человеческий фактор, являющийся основным при анализе аварийных ситуаций.

На рис.5. представлены диаграмма причин аварийности при работе с хлором, из которой следует, что 80 % аварий происходит из-за ошибок персонала [17].

Учитывая такую статистику с целью исключения человеческого фактора необходимо внедрять в технологический процесс предусмотренные в главе V ПБ 09-594-03 средства автоматического контроля, управления, сигнализации с автоматикой локализации аварий.

На рис.8 представлена диаграмма обеспеченности предприятий ЖКХ системами дистанционного и авто-



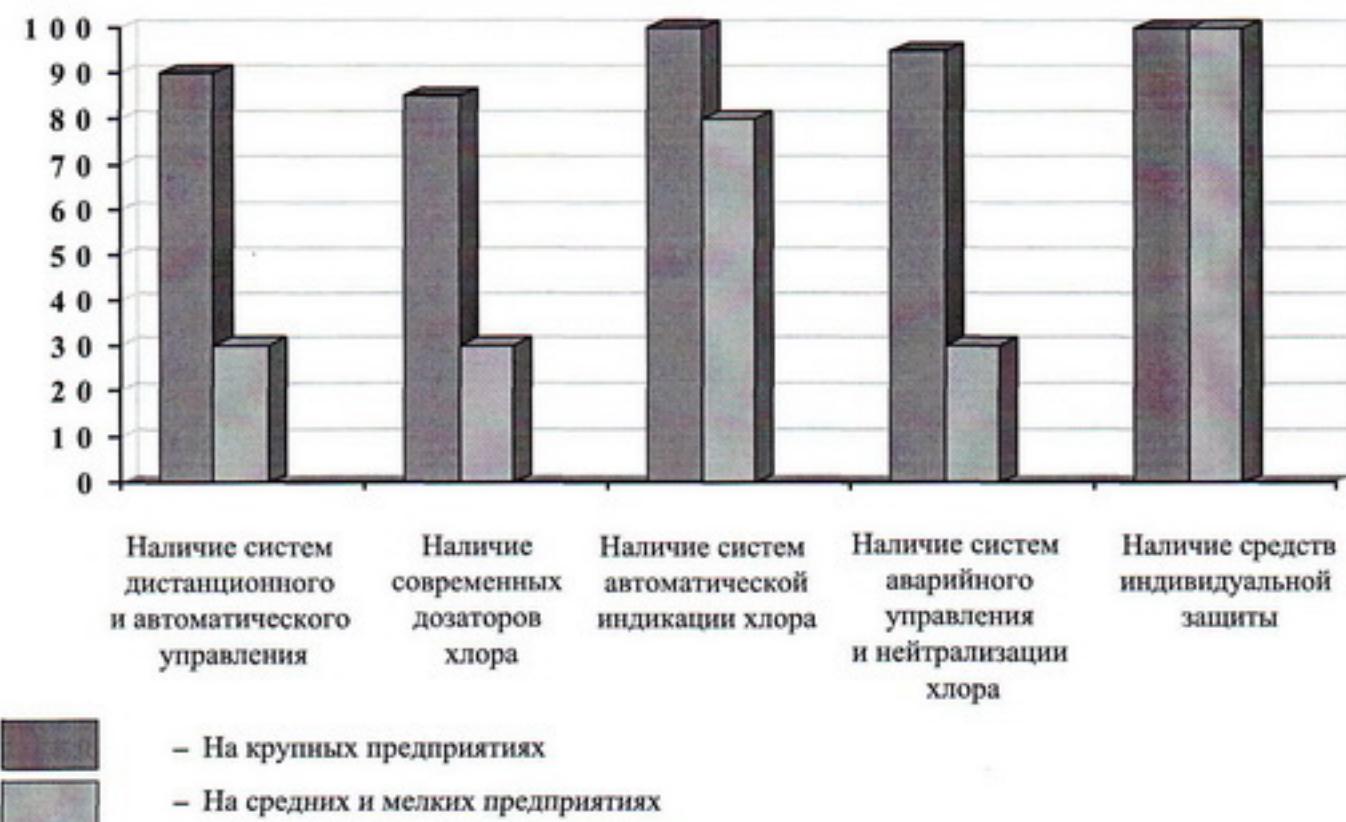


Рис.8.

Обеспеченность предприятий ЖКХ системами дистанционного и автоматического управления, средствами индивидуальной и коллективной защиты

матического управления, средствами индивидуальной и коллективной защиты. Сложившаяся сложная ситуация по обеспечению предприятий системами дистанционного управления, современными дозаторами и системами аварийного управления и нейтрализации хлора в настоящее время может быть легко реализована. Ряд предприятий России производит оборудование, получившее разрешение Ростехнадзора на работу на опасных производственных объектах и позволяющее создать автоматические системы управления, контроля дезинфекции воды как хор-газом так и гипохлоритом натрия и обеспечивающее полную безопасность функционирования.

В качестве примера на рис.9 представлена схема автоматической дезинфекции воды хлором на основе данных о потоке воды и содержании хлора в воде [18]. В схеме используется оборудование производства ФСП «КРАВТ», имеющее Разрешение на применение Ростехнадзора: 1 — баллоны с хлором; 2 — гребенка для 3-х баллонов; 3 — дозатор хлора (хлоратор АХВ-1000); 4 — автоматический вакуумный переключатель (АПБ/М400); 5 — хлоропровод; 6 — уловитель-испаритель жидкого хлора (УИЖХ/М100С); 7 — датчик хлора в воздухе (в комплекте ДХВ/М4000С); 8 — насос эжектора; 9 — запорный вентиль; 10 — водовод; 11 — эжектор (М340С); 12 — электромеханический дозирующий вентиль (ЭМДВ/М3521); 13 — аквапроцессор

(АКВАП/М5600); 14 — анализатор содержания хлора в воде (АСХВ/М1031С); 15-коммутационный шкаф; 16 — расходомер потока воды; 17 — система нейтрализации аварийных выбросов хлора (СНГХ/М6000С).

На рис.10 представлена типовая схема автоматической дезинфекции воды гипохлоритом натрия на основе данных о потоке воды и содержании хлора в воде [19]. В схеме используется дозирующие насосы ELADOS и оборудование производства ФСП «КРАВТ», имеющее Разрешение на применение Ростехнадзора: 1 — водовод; 2 — расходомер; 3 — смеситель; 4 — система нейтрализации аварийных выбросов хлора (СНГХ/М6000С); 5 — дозирующий насос; 6 — раствор гипохлорита; 7 — переключатель подачи гипохлорита; 8 — датчик хлора в воздухе (в комплекте ДХВ/М4000С); 9 — концентрированный раствор гипохлорита; 10 — сигнализатор аварийных ситуаций (в комплекте ДХВ/М4000С); 11 — детектор хлора в воздухе (ДХВ/М4000С); 12 — анализатор содержания хлора в воде (АСХВ/М1031С); 13 — аквапроцессор (АКВАП/М5600).

В расходную емкость 6 самотеком по трубопроводу подается либо концентрированный гипохлорит натрия (190г/л) из емкости 9, который разводится водой до концентрации 90 г/л, либо электрохимический гипохлорит из электролизера и затем дозирующими насосами 5, управляемыми аквапроцессором 13, раствор подается в хлорируемую воду.



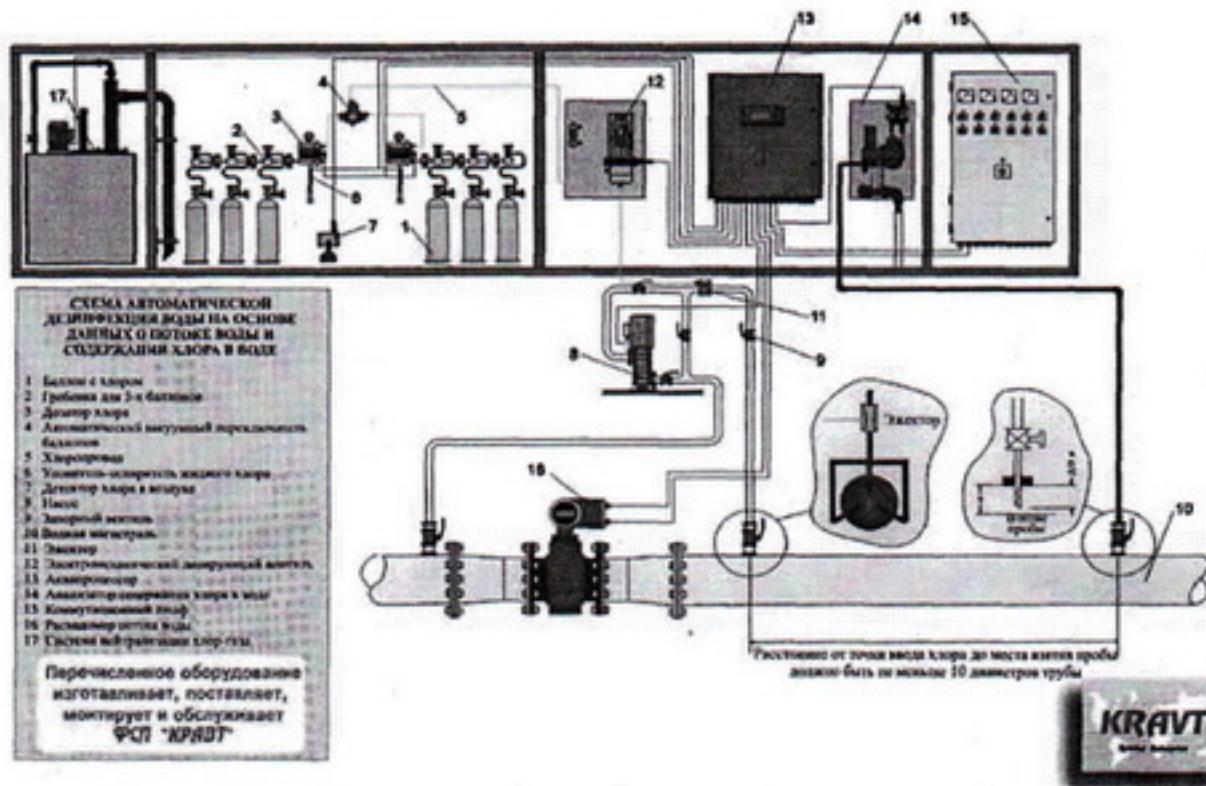


Рис.9.

Схема автоматической дезинфекции воды хлором на основе данных о потоке воды и содержании хлора в воде с использованием оборудования производства ФСП «КРАВТ»

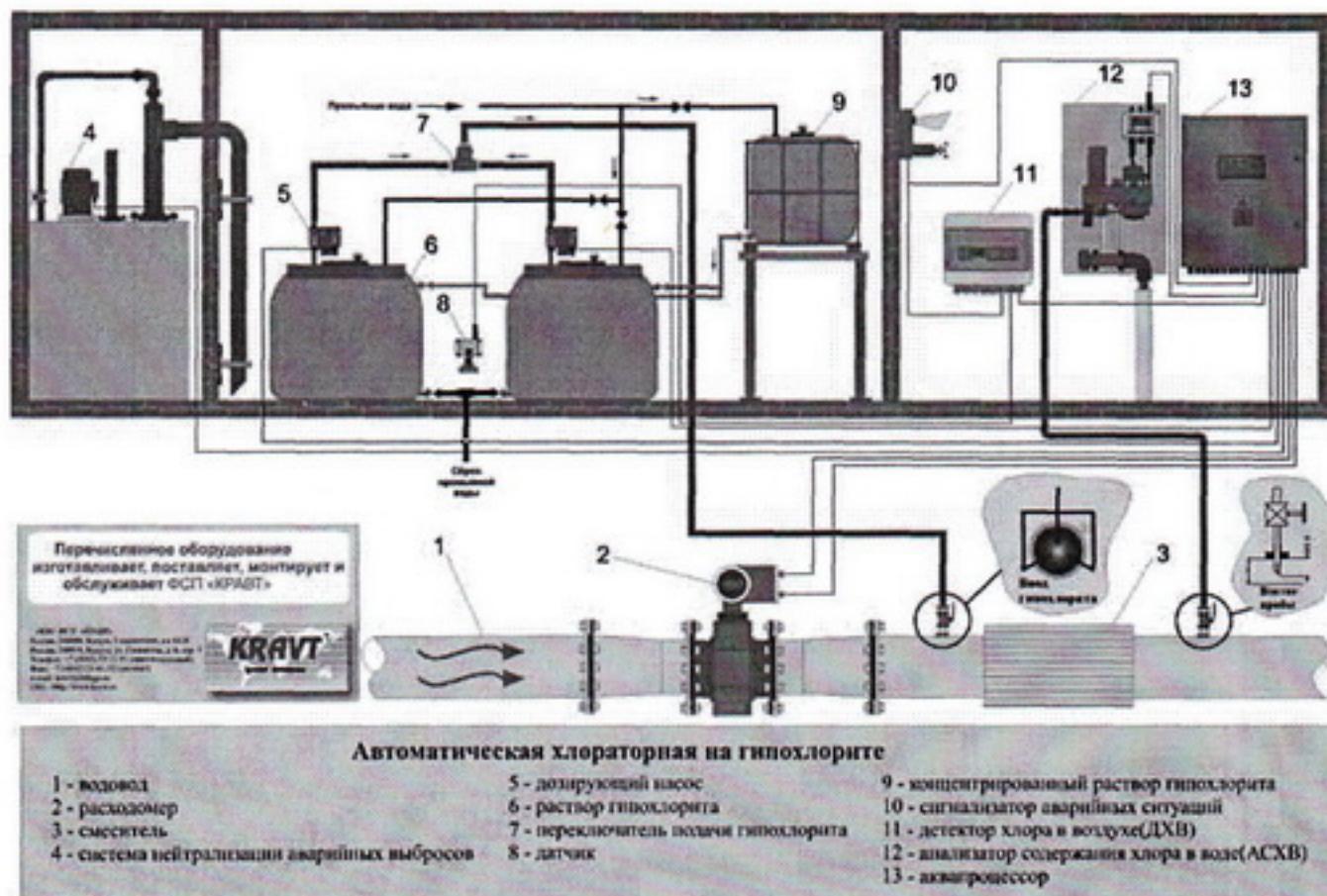


Рис.10.

Схема автоматической дезинфекции воды гипохлоритом на основе данных о потоке воды и содержании хлора в воде с использованием оборудования производства ФСП «КРАВТ»



Управляющие сигналы формируются по заданной программе микропроцессором на основе данных, поступающих в аквапроцессор 13 от расходомера потока воды 2, анализатора содержания хлора в воде 12, детектора хлора в воздухе 11 и дозирующих насосов 5.

Таким образом, применение технологий хлорирования, использующих современное разрешенное к применению на опасных объектах оборудование, позволяет надежно и безопасно дезинфицировать воду.

Широко используется в западных странах и получает распространение в России наиболее сильный и обладающий пролонгированным бактерицидным эффектом диоксид хлора. Одним из важнейших достоинств диоксида хлора является то, что, будучи более сильным окислителем, чем гипохлорит, он не образует тригалометанов при взаимодействии с органическими веществами при этом способствует снижению концентраций железа и марганца. Рассмотрим подробнее достоинства диоксида хлора:

- эффективный окислитель и дезинфектант для всех видов микроорганизмов, включая цисты (*Giardia*, *Cryptosporidium*), споровые формы бактерий и вирусы;

- дезинфицирующее действие практически не зависит от pH воды, в то время как эффективность хлора снижается с отклонением значения pH от pH=7,4;

- не образует хлораминов, наличие которых зачастую ухудшает органолептические показатели воды;

- не способствует образованию тригалометанов и других хлорогенных соединений;

- дезодорирует воду, разрушает фенолы — источник неприятного вкуса и запаха;

- не образует броматов и бромогенных побочных продуктов дезинфекции в присутствии бромидов;

- способствует удалению из воды железа и марганца путем их быстрого окисления и осаждения оксидов;

Основным недостатком диоксида хлора, выявленным во время эксплуатации диоксидных установок в России, является образование побочные продукты — хлоратов и хлоритов, содержание которых в питьевой воде необходимо контролировать. В соответствии с СанПиНом предельно допустимая концентрация хлоритов — 0,2 мг/дм³ с санитарно — токсикологическим лимитирующим показателем, соответствующим третьему классу опасности. Эти нормы ограничивают предельную дозу диоксида при дезинфекции воды. Для гарантирования эпидемической безопасности использования диоксида хлора поставлены опыты с искусственным загрязнением воды микроорганизмами *E.Coli* — от 100 до 500 кл/дм³ в МУП «Водоканал» г. Н. Тагила. В испытанных дозах диоксида хлора — 0,1; 0,2; 0,4 мг/дм³ отмечен бурный рост клеток. Лишь при дозах диоксида хлора 1,0 мг/дм³ (5 ПДК по хлоритам) удалось получить стопроцентную гибель бактерий. В то же время при обработке воды,

содержащей *E.Coli* 1000 кл/дм³, хлором в концентрации 0,3–0,5 мг/дм³ остаточного свободного хлора достигалась полная гибель микроорганизмов. В случае заражения воды палочкой дизентерии Флекснера в концентрации 1000 кл/дм³ стопроцентный бактерицидный эффект диоксида хлора получен в дозе 1,4 мг/дм³, что превышало ПДК по хлоритам более, чем в 5 раз. Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о том, что использование диоксида хлора для обеззараживания воды, не прошедшей полный цикл очистки, не обеспечивает гарантированный бактерицидный эффект. Наиболее целесообразно применять диоксид хлора в комбинации с хлором [20].

Сравнительный анализ всех наиболее широко используемых дезинфектантов убедительно доказывает важность хлорирования для обеспечения эпидемиологической безопасности воды, по крайней мере на окончательной стадии водоподготовки, перед ее подачей в резервуар чистой воды. Об исключении хлора на первичном обеззараживании уместно говорить лишь при наличии в воде органических соединений, которые при взаимодействии с хлором (и гипохлоритом) образуют трегламетаны, негативно влияющие на организм человека. И здесь программа «Чистая вода» может осуществляться в плане более качественной очистки воды от органических соединений.

Таким образом, хлор в первую очередь, и хлорсодержащие реагенты являются основными неотъемлемыми дезинфектантами в технологии водоподготовки, обеспечивающими эпидемиологическую безопасность воды и предотвращающими распространение эпидемий. Хлорирование воды многими экспертами считается самым крупным изобретением в медицине XX века, принесшее наибольшую пользу человеку. Именно хлорирование, а не открытие антибиотиков, инсулина или пересадка сердце и тем более не надежды на «всемогущие нанотехнологии» спасло больше всего жизней, остановило распространение инфекционных заболеваний.

Хлор — один из биогенных элементов, постоянный компонент тканей растений и животных. Содержание хлора в растениях (много хлора в галофитах) — от тысячных долей процента до целых процентов, у животных — десятые и сотые доли процента. Суточная потребность взрослого человека в хлоре (2–4 г) покрывается за счет пищевых продуктов. С пищей хлор поступает обычно в виде хлорида натрия (поваренная соль). Особенно богаты хлором хлеб, мясные и молочные продукты.

В организме хлор — основное осмотически активное вещество плазмы крови, лимфы, спинномозговой жидкости и некоторых тканей. Хлор играет роль в венно-солевом обмене, способствуя удержанию тканями воды. Регуляция кислотно-щелочного равновесия в тканях осуществляется наряду с другими процессами путем изменения в распределении хлора между кровью и другими тканями. Исследованиями последних



десятилетий установлено, что все высшие многоклеточные организмы, включая человека, синтезируют в особых клеточных структурах хлорноватистую кислоту и высокоактивные метастабильные хлоркислородные и гидропероксидные соединения для борьбы с микроорганизмами и чужеродными субстанциями [21]. Как известно наивысшая бактерицидная активность

кислородных соединений хлора проявляется в диапазоне pH от 7,0 до 7,6. Организм человека устроен так, что в норме pH артериальной крови 7,4. Этот факт подчеркивает особую роль хлора в жизнеобеспечении организма человека. Так что внедрение антихлорных программ может привести к серьезным вспышкам инфекционных заболеваний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Онищенко Г.Г. Санитарно-эпидемиологическая безопасность безопасного водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 1998, № 4.
2. Рusanova N.A. Подготовка питьевой воды с учетом микробиологических паразитологических показателей // Водоснабжение и санитарная техника. 1998, № 3.
3. Руководство по обеспечению качества питьевой воды. Том 1. Рекомендации. Всемирная организация здравоохранения. Женева. 2004.
4. Ягуд Б.Ю. Хлор как дезинфектант – безопасность при применении и проблемы замены на альтернативные продукты // 5-й Международный конгресс ЭКВАТЭК-2002 Вода: экология и технология. 4-7 июня 2002.
5. Іщенко Ю.А. Злементарная теория и практика несостоительности порошковых напористых фильтров для очистки воды. На примере УСВР с позиций научной теории фильтрования воды // Водоснабжение и канализация. № 5-6, 2009 г.
6. Выкопировка из отчета «Пилотные испытания установки с фильтрующей загрузкой УСВР, импрегнированный йодидом серебра, для глубокой доочистки водопроводной воды, поступающей в здание ГТИ ТД ГУП «Водоканал Санкт Петербурга» // Водоснабжение и канализация. № 5-6, 2009 г.
7. Отчет НИИ Экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина: «Оценка возможности применения углеродного сорбента повышенной реакционной способности (УСВР) для улучшения качества водопроводной воды по физическим свойствам» // Водоснабжение и канализация. № 5-6, 2009 г.
8. Комментарий экспертов // Водоснабжение и канализация. № 5-6, 2009 г.
9. А. Б. Кожевников, О. П. Петросян. «Для тех, кому не нравится хлор» // «СтройПРОФИЛЬ», 2004, № 4/1.
10. Новогор изменил технологию обеззараживания воды в Новых Лядах (редакционная) // Водоснабжение и канализация. № 1, 2009 г. 29с.
11. Краснобородко И.Г. Деструктивная очистка сточных вод от красителей. Л: Химия, 1988. 193 с.
12. Кожевников А. Б., Петросян О. П. Хлорирование – микробиологическая и техническая безопасность водоподготовки // Материалы XII Международной научно-практической конференции «Проблемы управления качеством городской среды». Водная безопасность поселений России, г. Москва, 2008 г.
13. Бахир В.М. К проблеме поиска путей промышленной и экологической безопасности объектов водоподготовки и водоотведения ЖХХ // Водоснабжение и канализация. № 1, 2009 г.
14. Пономарева Л.А., Селькова Е.П., Гвелесиани Г.А., Юркова Е.В., Толстов К.Г. «Пособие по применению средств дезинфекции и стерилизации в лечебнопрофилактических учреждениях и организации режимов дезинфекции и стерилизации в отделениях эндоскопии и стоматологии» // Дезинфекционная станция «БиоКонт» Московского городского центра дезинфекции, М, 1998. 96 с.
15. Арх А., Кожевников А. Б. Эффективная система нейтрализации аварийных выбросов хлора в атмосфере // Материалы IV международной научно-практической конференции «ТЕХНОВОД-2008. Технологии очистки воды», г. Калуга, 2008 г.
16. Бахир В. М. Дезинфекция питьевой воды: анализ и перспективы // Питьевая вода. № 3, 2007 г.
17. Ягуд Б.Ю. Проблемы химической безопасности хлорных объектов ЖХХ // РусХлор, г. Уфа, февраль 2009 г.
18. Кожевников А. Б., Петросян О. П. Современные системы водоподготовки станций централизованного водоснабжения // СтройПРОФИЛЬ № 2, 2006 г.
19. Кожевников А. Б., Петросян О. П. Автоматическое дозирование гипохлорита и иных жидких реагентов // Водоснабжение и санитарная техника № 11, 2008 г.
20. В. Б. Гуревич, А. А. Хачатуров, К. П. Селянкина, Е. А. Борзунова, З. Г. Плотко, С. П. Сайченко, Р. Л. Акрамов. О целесообразности комбинированного использования хлора и диоксида хлора для обеззараживания питьевой воды в практике централизованного хозяйствственно-питьевого водоснабжения города Нижнего Тагила // Сборник научных статей сотрудников Центра госсанэпиднадзора в Свердловской области. К 80-летию службы. 2002.
21. В. М. Бахир, Б. И. Леонов, С. А. Паничева, В. И. Прилуцкий, Н. Ю. Шомовская. Химический состав и функциональные свойства хлорсодержащих дезинфицирующих растворов // Дезинфекционное дело. 2003, № 1

