

ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ

Хлорирование и микробиологическая безопасность воды

А.Б. Кожевников,

канд. техн. наук, доцент, член-корр.
Международной академии наук экологии,
безопасности человека и природы,
генеральный директор ООО "ФСП
КРАВТ"

О.П. Петросян,

канд. физ.-мат. наук, член-корр. Меж-
дународной академии наук экологии,
безопасности человека и природы,
доцент Калужского филиала МГТУ им.
Н.Э. Баумана

Для централизованного питьевого водо-
снабжения населения России используются
преимущественно поверхностные источники -
реки, водохранилища, озера. Благодаря увели-
чению удельного веса сброса неочищенных
стоков растет микробное заражение этих вод.

Большинство водоочистных комплексов
централизованных водозаборов спроектиро-
ваны и построены 70-80 лет назад. С
каждым годом их износ нарастает, более
40% оборудования требует полной
замены. Анализ аварийных ситуаций
показывает, что 57% аварий на объектах
водопроводно-канализационного хозяйства
(ВКХ) происходят из-за ветхости
оборудования. Положение усугубляется
тем, что вода в изношенных сетях
подвергается вторичному заражению и тре-
бует дополнительной очистки и обеззаражи-
вания. В сельской местности ситуация еще
хуже.

Из-за фактической неспособности ВКХ
обеспечить безопасность питьевой воды
высок риск одновременного заражения киш-
ечными и другими инфекциями большей
части населения. В 80-х гг. прошлого столе-
тия в России в среднем только 7%
исследованных проб не отвечало
гигиеническим требованиям по
бактериологическим показателям. В
настоящее время эта величина возросла
до 11-12%. С 1991 г. 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
расти заболеваемость вирусными гепатита-
ми. Прирост гепатита А в 2002 г. 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 ряде городов
Подмосковья.

Летом 2005 г. по России прокатилась
волна заболеваний серозным менингитом.
Масштабы этого заболевания оказались
непредсказуемы - Новосибирская, Екатерин-
бургская, Свердловская, Архангельская об-
ласти, Краснодарский и Ставропольский
края, Бурятия, Удмуртия... И это не весь
список регионов, которые были охвачены
эпидемией. По заключению врачей, эта ин-
фекция проникает в организм человека



водным путем: при употреблении зараженной воды либо при контакте с ней. Врачи не исключают продолжения локальных вспышек этой болезни из-за плохого состояния технологических систем водоподготовки. В 2006-2007 гг. отмечены локальные вспышки кишечных заболеваний и гепатита А в Дагестане, Карелии, Ставропольском крае, Новгородской, Волгоградской, Сахалинской и других областях.

В 2007 г. в некоторых регионах наблюдались вспышки болезни, вызванной бактериями

Legionella, проникающими в системы распределения питьевой воды при повышенной температуре. Некоторые микроорганизмы разрастаются в виде биопленок на поверхностях при контакте с водой. Они не вызывают заболевания у здоровых людей, но сильно ухудшают органолептические свойства питьевой воды - вызывают появление неприятного вкуса и запаха или изменение цвета.

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

Необходимо учитывать как техническую сторону безопасности объектов водоподготовки, так и санитарно-эпидемиологическую безопасность продукта - питьевой воды. Безопасная питьевая вода, по определению опубликованного 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".

Обеззараживание воды осуществляется добавлением различных химических веществ или проведением специальных мероприятий. Использование химических дезинфицирующих средств при обработке воды обычно вызывает образование побочных продуктов. Однако вред, наносимый ими здоровью, не сравним с риском, связанным с вредоносными микроорганизмами, развивающимися в воде вследствие неадекватной дезинфекции.

Минздравом России разрешено применение более 200 средств для дезинфекции и стерилизации. Остановимся только на основных дезинфектантах, применяемых в России и за рубежом.

Все технологические схемы очистки и обеззараживания воды (старые и новые)

должны отвечать основным критериям качества: питьевая вода должна быть безопасной в эпидемиологическом отношении, безвредной по химическому составу и обладать благоприятными органолептическими (вкусовыми) свойствами. Эти критерии и лежат в основе нормативных актов всех стран, в т. ч. России (СанПиН 2.14.1074-01). 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 мировой практике обеззараживания питьевой воды хлорирование используется наиболее часто как самый экономичный и эффективный метод. В мире в 99 случаях из 100 для дезинфекции используют либо чистый хлор, либо хлорсодержащие продукты. В США, например, 98,6% воды подвергается хлорированию (рис. 1).

» Есть все основания считать гигиену водоснабжения - обеспечение населения доброкачественной, надежно обеззараженной водой - важнейшей проблемой, требующей комплексного и наиболее эффективного решения.

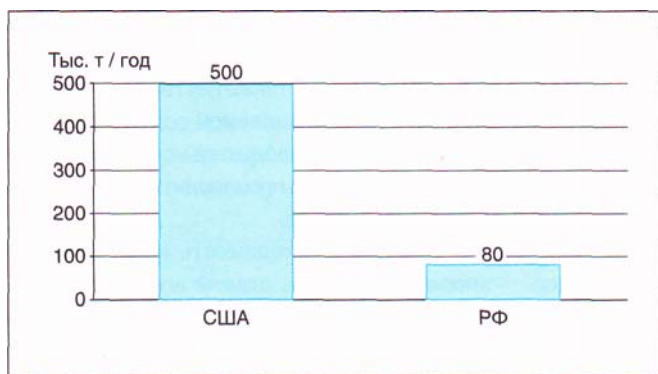


Рис. 1. Объем потребления хлора для дезинфекции воды в США и России

Такая популярность хлорирования связана с тем, что это единственный способ, обеспечивающий микробиологическую безопасность воды в любой точке распределительной сети в любой момент времени благодаря эффекту последействия. Сущность его в том, что после совершения действия по внедрению в воду молекул хлора последние сохраняют свою активность по отношению к микробам и угнетают их ферментные системы на всем пути следования с водой по водопроводным сетям от объекта водоподготовки до каждого потребителя. **Эффект последействия присущ только хлору.** Учитывая состояние наших водопроводных сетей, нельзя забывать о присутствии в них микробов.

Хорошо изучены наиболее широко применяемые альтернативные методы обеззараживания - озонирование и УФ-облучение, основным недостатком которых 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 хлорирование обязательно.

» 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.

Благодаря уникальным окислительным свойствам и эффекту последействия хлор, кроме дезинфекции, 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 активно обсуждается вопрос повышения эффективности очистки и обеззараживания воды с помо-

щью новых технологических схем, без применения хлора.

Однако программа "Анти-хлор", на реализацию которой выделены немалые средства, не спасла детей, которые погибли летом этого года от энтеровирусной инфекции, причины которой - антисанитария и некачественная питьевая вода. Пришла пора рассмотреть разные методы обеззараживания воды с научной точки зрения.

Несмотря

на российский и зарубежный опыт озонирования, который называют экологически чистым способом обеззараживания, последние исследования показали, что продукты реакции озона с содержащимися в воде органическими веществами представляют собой альдегиды (формальдегид, ацетальдегид, глиоксаль, метилглиоксаль), кетоны, карбоновые кислоты и другие соединения, присутствие которых создает ряд дополнительных проблем в процессе водоподготовки, в т. ч. альдегиды увеличивают опасность образования хлорорганических побочных продуктов. Более того, как следует из опыта ГУП "Мосводоканал", применение озона не только дорого, но и не позволяет исключить даже предварительное хлорирование из-за ненадежности очистки

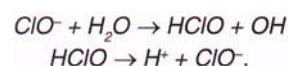


воды от гидробионтов. Кроме того, выявилась также негативная тенденция увеличения численности зоопланктона в воде, обработанной озоном.

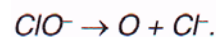
Применение другого альтернативного дезинфектанта - УФ-облучения позволяет избавиться от побочных продуктов обеззараживания, что является несомненным достоинством. Но его промышленное применение осложняется невозможностью оперативного контроля эффективности обеззараживания воды. Поэтому одним из важнейших 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, счетчиком времени наработки ламп и индикаторов их исправности для своевременной очистки при обрастании или замены. 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 отмечается, что УФ-облучение обеспечивает заданный бакте-

рицидный и вирулицидный эффект лишь при соблюдении всех установленных эксплуатационных требований. Также нет гарантий пропуска всей обеззараживаемой воды через установку, т. е. производительность установки должна быть равна производительности водопроводной станции.

Понимая необходимость использования хлора на одной из стадий водоподготовки, эксплуатационники используют программу "Антихлор" для замены газообразного хлора на гипохлорит натрия. Рассмотрим химизм процесса обеззараживания этих реагентов. Он основан на образовании хлорноватистой кислоты и гипохлорит-иона в соотношениях, определяемых значением pH воды. Это соотношение определяется реакцией гидролиза гипохлорита натрия и диссоциацией хлорноватистой кислоты:



При растворении гипохлорита в воде при значениях $\text{pH} < 4$ выделяется молекулярный хлор (рис. 2). При значениях pH в области 4-10 в растворе появляется недиссоциированная хлорноватистая кислота и гипохлорит-ион ClO^- . Именно ClO^- обладает высокой химической активностью к биологическим средам. Доля хлорноватистой кислоты меняется от 100% при значениях pH в области 4-5 до 0 при значениях $\text{pH} = 10$. В области $\text{pH} > 10$ единственной формой активного хлора является гипохлорит-ион ClO^- , который в сильнощелочных растворах разлагается в соответствии с реакцией:



Образующийся атомарный кислород в силу своей реакционной способности переходит в кислород, а образованный ион Cl^- не имеет эффективного бактерицидного эффекта.

Равновесная диаграмма хлор - хлорноватистая кислота при растворении газообразного хлора в воде в зависимости от pH воды показана на рис. 3.

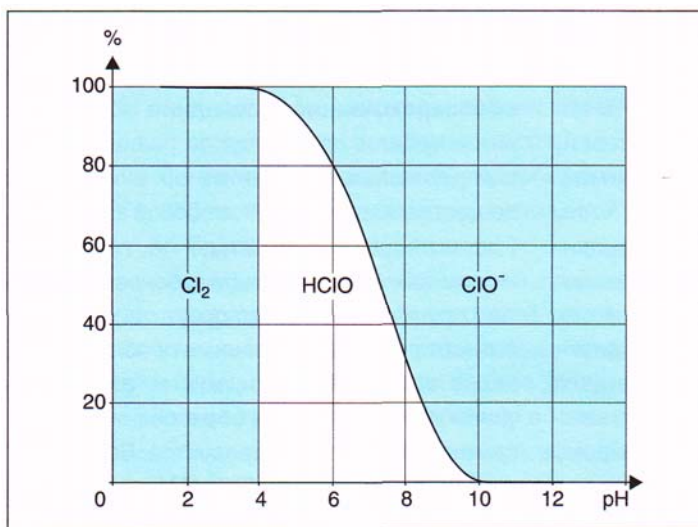


Рис. 2. Равновесная диаграмма хлор - хлорноватистая кислота при растворении в воде гипохлорита в зависимости от pH воды

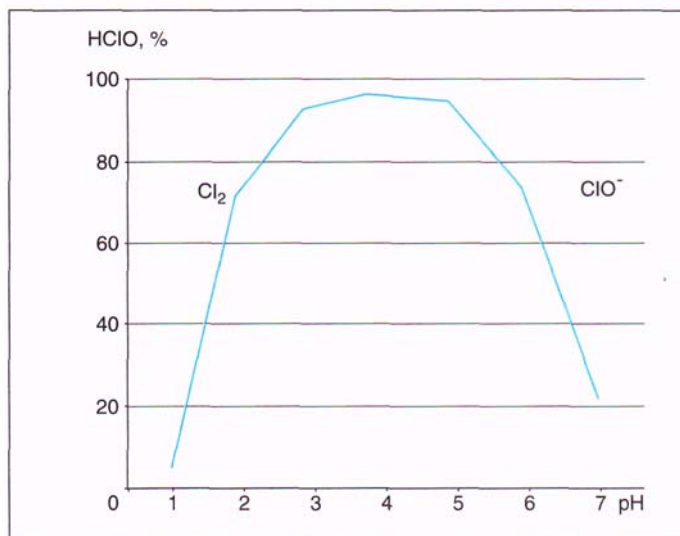


Рис. 3. Равновесная диаграмма хлор - хлорноватистая кислота при растворении газообразного хлора в воде

В кислой среде, соответствующей значениям pH 1-1,2, в воде в основном присутствует

хлор, который практически не взаимодействует с водой. При увеличении pH от 2 до 4 идет образование

хлорноватистой кислоты, при достижении pH значений 4 весь хлор переходит в форму ания (ионизация) HClO. В воде появляются ионы ClO⁻, обладающие высокой химической активностью к биологическим средам. И наиболее оптимальные условия для существования этих ионов лежат в диапазоне значений pH 7,4-7,5. С повышением pH концентрация хлорноватистой кислоты в воде убывает и при pH = 10 HClO отсутствует (появляется Cl⁻, который не имеет эффективного бактерицидного эффекта). Из сопоставления химизма растворения хлора и гипохлорита в воде следует, что в обоих случаях основным дезинфицирующим агентом является гипохлорит-ион ClO⁻. Проведенный анализ доказывает, что, по крайней мере, некорректно называть замену

» Раствор хлора в воде в несколько десятков раз эффективнее гипохлорита по остаточному количеству бактерий.

хлорит программой Антихлор и вводить тем самым в заблуждение потребителей питьевой воды.

Привлекательность гипохлорита натрия обосновывается тем, что оборудование, применяемое при его использовании для обеспечения процесса обеззараживания на станциях водоподготовки, до последнего времени не относилось к категории промышленно опасного и поднадзорного Федеральному и атомному надзору. Однако объекты, на которых он используется, являются опасными производственными объектами, и опыт применения гипохлорита в зарубежных странах это подтверждает.

Опасность применения гипохлорита связана с выделением хлора при смешивании с кислыми растворами, постоянным газовыделением при хранении вследствие разложения и высокой коррозионной активности.

Анализ происшествий на объектах водоподготовки при использовании хлора и гипохлорита за рубежом показывает, что из года в год растет число происшествий при применении, хранении и перевозке гипохлорита, и если в 1996 г. общее число аварий

при применении хлора и гипохлорита мало отличалось, то к 1998 г. число происшествий с гипохлоритом возросло вдвое.

Наиболее крупные аварии случаются при смешивании гипохлорита с кислотами, что приводит к выбросу газообразного облака хлора. При этом следует учесть, что в таких случаях выделяется влажный хлор, который при проникновении в легкие не вызывает болевых ощущений, поэтому наиболее опасен и приводит к большим жертвам. По-видимому, аналогичная авария произошла в аквапарке Санкт-Петербурга, где непреднамеренное смешение гипохлорита натрия с pH-корректором (соляной кислотой) привело к выбросу влажного хлора. К сожалению, по России имеются только отдельные данные, но в связи

с ростом использования гипохлорита картина аварийности будет мало отличаться от стран, имеющих большой опыт использования этого реагента. Поэтому своевременным является решение, принятое на совещании Ростехнадзора в апреле 2008 г. по вопросам состояния и перспектив развития хлор-использующих объектов систем водоподготовки ЖКХ, 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 от 21.07.1997 № 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" (далее - Федеральный закон № 116-ФЗ). Таким образом, переход на гипохлорит натрия по принципу безопасности ошибочен.

Кроме того, применение гипохлорита натрия вместо газообразного хлора или кальция для дезинфекции воды вместо молекулярного хлора значительно увеличивает вероятность образования тригалометанов (ТГМ), что ухудшает качество воды: при применении

гипохлорита процесс образования ТГМ растянут во времени до нескольких часов, а их количество при прочих равных условиях тем больше, чем больше рН. 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, теряет активность при длительном хранении, интенсивно образует побочные продукты дезинфекции. Таким образом, и по экологическим параметрам, и по дезинфекционным качествам гипохлорит уступает газообразному хлору.

Сравнение эксплуатационных параметров хлора и гипохлорита, а также затрат на их внедрение явно не в пользу гипохлорита, что отражено в табл. 1, 2.

Таблица 1

Сравнение эксплуатационных параметров газообразного хлора и гипохлорита

Критерии сравнения	Газообразный хлор	Гипохлорит натрия
1	2	3
Затраты крупных предприятий	Низкие	Высокие (в 3-4 раза выше)
Трудоемкость внедрения	Простая встраиваемость в существующую систему	Встраивание в существующую систему требует значительных затрат
Организация складского решения	Легко хранить	Разлагается с течением времени (потеря активной части в результате хранения достигает 30% первоначального содержания по истечении 10 суток)
Затраты на регламентное обслуживание	Низкие	Низкие
Частота инспекций/тестирования	Регулярно (опасный объект)	Регулярно (опасный объект)
Срок службы 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



Окончание табл. 1

1	2	3
Транспортные затраты	Ниже	Выше за счет увеличения 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 больших производственных мощностей доступность ограничена

Таблица 2

Затраты на внедрение хлора и гипохлорита

Статья расходов, тыс. руб.	ПоГХН	По хлору	Разница
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)-	-	Около 3000	-3000

Примечания:

1. В состав оборудования включены два хлоратора АХВ-1000Е, две системы автоматического регулирования расхода хлора (САР-РХ) 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 производился в 2005г., когда производства, применяющие гипохлорит, небыли поднадзорны Ростехнадзору. Поскольку эти объекты сегодня считаются опасными производствами, дополнительно необходимо учитывать затраты на мероприятия по безопасности в соответствии с Федеральным законом № 116-ФЗ, реализация которых осложняется отсутствием подготовленных специалистов и оборудования, имеющего разрешения на применение. Качественного отечественного оборудования нет, поэтому приходится замещать его импортными дорогостоящими дозирующими насосами, выбор которых осложняется широким предложением на рынке и отсутствием квалифицированных специалистов.

Эта обобщенная таблица подтверждается расчетом экономической целесообразности замены хлора на гипохлорит натрия в технологии обеззараживания воды применительно к хлораторной на станции третьего подъема для среднего российского города.

Таким образом, замена хлора на гипохлорит увеличивает себестоимость воды, ухудшая ее качество по бактериологическим показателям и химическому составу. Более того, поскольку объекты, использующие газообразный хлор, всегда входили в категорию опасных производственных объектов и находились под контролем

»Замена хлора на гипохлорит увеличивает себестоимость воды, ухудшая ее качество по бактериологическим показателям и химическому составу.

Госгортехнадзора, они, как правило, должны соответствовать требованиям Федерального закона № 116-ФЗ. Отечественная промышленность производит полный перечень обо-

рудования, имеющего разрешение на применение на опасных объектах. Задача сводится лишь к проведению регламентных работ, замене морально устаревшего оборудования, внедрению систем автоматизации, ограничивающих влияние человеческого фактора. На рис. 4

представлена схема автоматической дезинфекции воды газообразным хлором на основе данных о потоке воды и содержании хлора

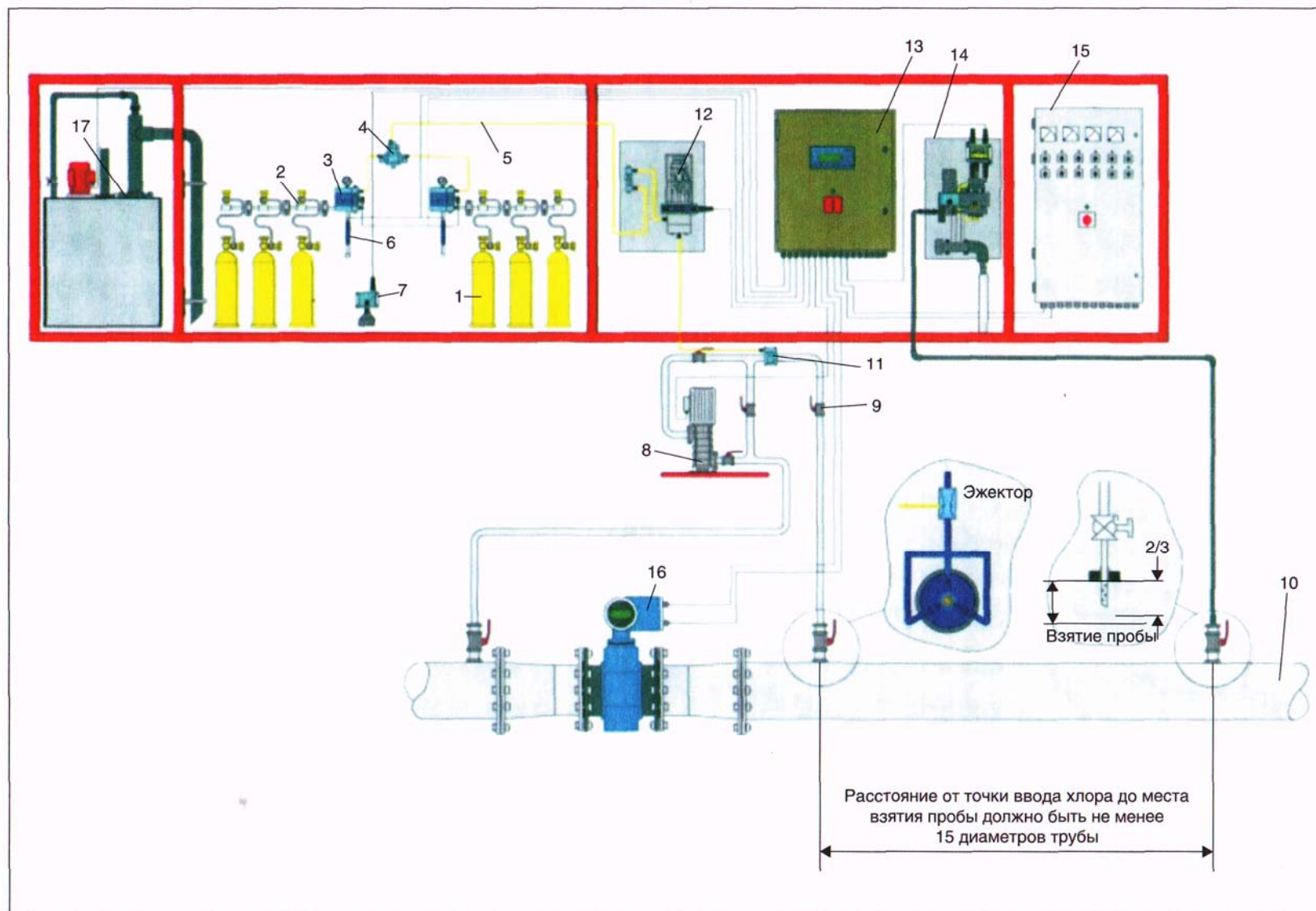


Рис. 4. Схема автоматической дезинфекции воды на основе данных о потоке воды и содержании хлора в воде:
 1 - баллон с хлором; 2 - гребенка для трех баллонов; 3 - хлоратор; 4 - автоматический вакуумный переключатель баллонов; 5 - хлоропровод; 6 - уловитель-испаритель жидкого хлора; 7-анализатор наличия хлора в воздухе; 8- насос; 9-запорный вентиль; 10- водная магистраль; 11 -эжектор; 12-электромеханический дозирующий вентиль; 13 - аквапроцессор; 14 - анализатор содержания хлора в воде; 15 - электрический шкаф; 16 - датчик потока; 17 - система нейтрализации хлор-газа



в воде. В схеме используются два вакуумных хлоратора (3), автоматический вакуумный переключатель (4), который автоматически отключает пустые баллоны, электромеханический вентиль (ЭМДВ) (12), работающий на основе сигналов, поступающих с аквапро-цессора (13). Аквапроцессор обрабатывает данные анализатора хлора в воде (14) и расходомера воды (16) и определяет сигналы на открытие или закрытие ЭМДВ для поддержания заданного значения (уставки) остаточного хлора в воде. В случае утечки хлора в воздух автоматически включается система нейтрализации газообразного хлора (17).

» Применение технологий хлорирования, использующих современное разрешенное к применению на опасных объектах оборудование, позволяет надежно и безопасно дезинфицировать воду.

При больших расходах хлора в представленной схеме вместо баллонов используются контейнеры с хлором. При этом необходимо учитывать, что в качестве газообразной фракции из контейнера можно отобрать лишь 1 % содержимого в час, т. е. из

контейнера весом в 850 кг может быть использовано в виде газообразной фракции только 8,5 кг/ч. Поэтому в ПБ 09-594-03 предусмотрено использование испарителей для получения газообразного хлора, которые исключают попадание в хлоратор жидкой фракции. На рис. 5 представлена схема автоматической хлораторной, в которой используется испари-

тель жидкого хлора, имеющий разрешение на применение (ИЖХ М3100).

Таким образом, применение технологий хлорирования, использующих современное оборудование, разрешенное к применению на опасных объектах, 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.

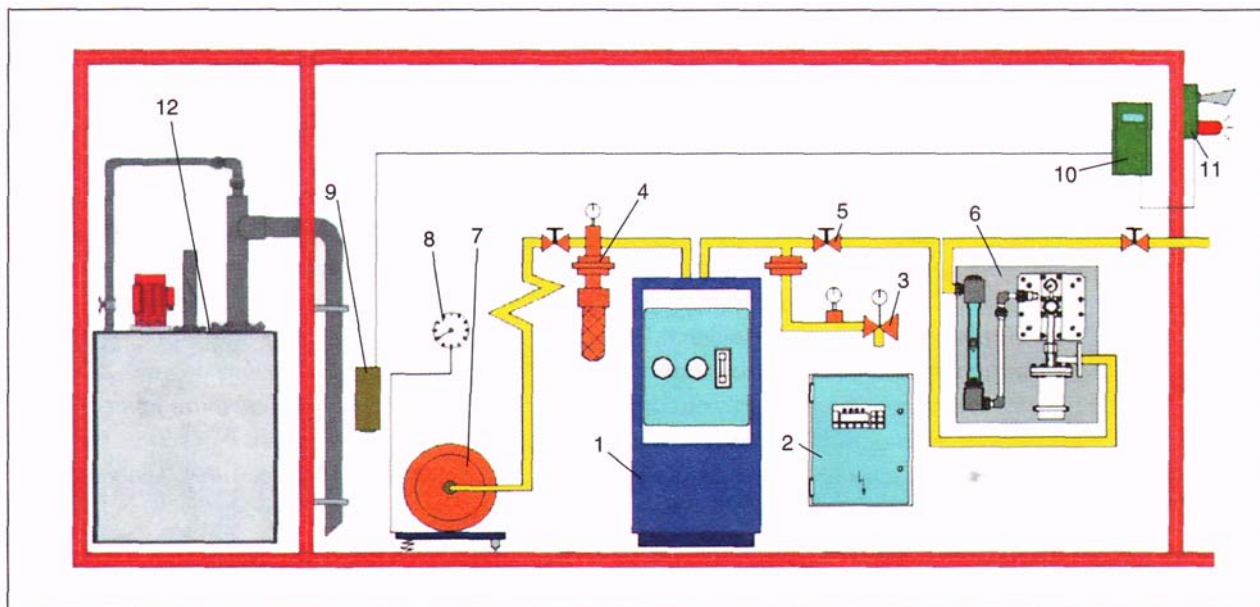


Рис. 5. Схема расположения оборудования хлораторной большой производительности:
 1 - испаритель жидкого хлора; 2 - коммутационный шкаф; 3 - предохранительный клапан; 4 - предохранительная разрывная мембрана с расширительной камерой; 5 - редукционный клапан; 6 - хлоратор; 7 - контейнер с жидким хлором; 8 - электронные весы; 9 - датчик хлора в воздухе; 10 - детектор хлора в воздухе; 11 - аварийная сигнализация; 12 - нейтрализатор аварийных выбросов хлора в атмосферу



- Его достоинства:
- 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 хлорорганических соединений;
 - дезодорирует воду, разрушает фенолы источник неприятного вкуса и запаха;
 - не образует броматов и броморганических 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 побочных продуктов хлоратов и хлоритов, содержание которых в питьевой воде необходимо контролировать. В соответствии с СанПиН предельно допустимая концентрация хлоритов составляет 0,2 мг/дм³ с санитарно-токсикологическим лимитирующим показателем, соответствующим третьему классу опасности. Эти нормы ограничивают предельную дозу диоксида при дезинфекции воды. Для гарантирования эпидемиологической безопасности использования диоксида хлора поставлены опыты с искусственным загрязнением воды микроорганизмами *E.Coli* - от 100 до 500 кл/дм³ в МУП "Водоканал" г. Нижний Тагил. 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 100-процентную 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 100-процентный 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.

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 тригалометаны, негативно влияющие на организм человека.

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 в., принесшим наибольшую пользу человеку. Именно хлорирование, а не открытие антибиотиков, инсулина или пересадка сердца спасло больше всего

» Хлорирование воды многими экспертами считается самым крупным изобретением в медицине XX в., принесшим наибольшую пользу человечеству.



жизней, остановило распространение инфекционных заболеваний.

Хлор - один из биогенных элементов, постоянный компонент тканей растений и животных. Суточная потребность взрослого человека в хлоре (2-4 г) покрывается за счет пищевых продуктов, в частности поваренной соли. Особенно богаты хлором хлеб, мясные и молочные продукты.

Исследованиями последних десятилетий установлено, что все высшие многоклеточные организмы, включая человека, для борьбы с микроорганизмами и чужеродными субстанциями синтезируют в особых клеточных структурах хлорноватистую кислоту и высокоактивные метастабильные хлоркислородные и гидропероксидные соединения. Причем неслучайно рН артериальной крови равна 7,4, а температура тела чело-

века 36,7 °С. Именно в районе этих значений рН и температуры, точнее рН = 7,0-7,6, $t = 36-37$ °С, проявляется наивысшая бактерицидная активность кислородных соединений хлора. Этот механизм антибактериальной защиты существует независимо от нас и функционирует во внутренней среде организма животных и человека на протяжении миллионов лет без каких-либо сбоев. Человеку же, если он считает себя защитником жизни на Земле, очевидно, следует постараться найти оптимальный путь применения этого апробированного инструмента для обеспечения безопасности окружающего его мира, в т. ч. мира воды.

Таким образом, внедрение антихлорных программ может спровоцировать вспышки инфекций и мало способствует сохранению здоровья и жизни людей.