

Хлорирование – микробиологическая и техническая безопасность водоподготовки

А.Б.Кожевников, кандидат техн. наук, доцент, чл.-корр. МАНЭБ (ООО «ФСП КРАВТ»);
О.П.Петросян, кандидат физ-мат.наук, доцент, чл.-корр. МАНЭБ (Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана);

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.

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 2002г. стало 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 край, Бурятия, Удмуртия... . И это не весь список регионов охваченных эпидемией. Врачи не исключают продолжения локальных вспышек этой болезни из-за плохого состояния технологических систем водоподготовки ВКХ 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*.

При рассмотрении вопросов безопасности функционирования ВКХ необходимо учитывать как техническую сторону безопасности объектов водоподготовки, так и санитарно-эпидемиологическую безопасность продукта – питьевой воды. 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.

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 мировой практике обеззараживания питьевой воды хлорирование используется наиболее часто как наиболее экономичный и эффективный метод в сравнении с любыми другими известными методами. На рис.1 отражены объемы потребления хлора для дезинфекции воды в России и США.

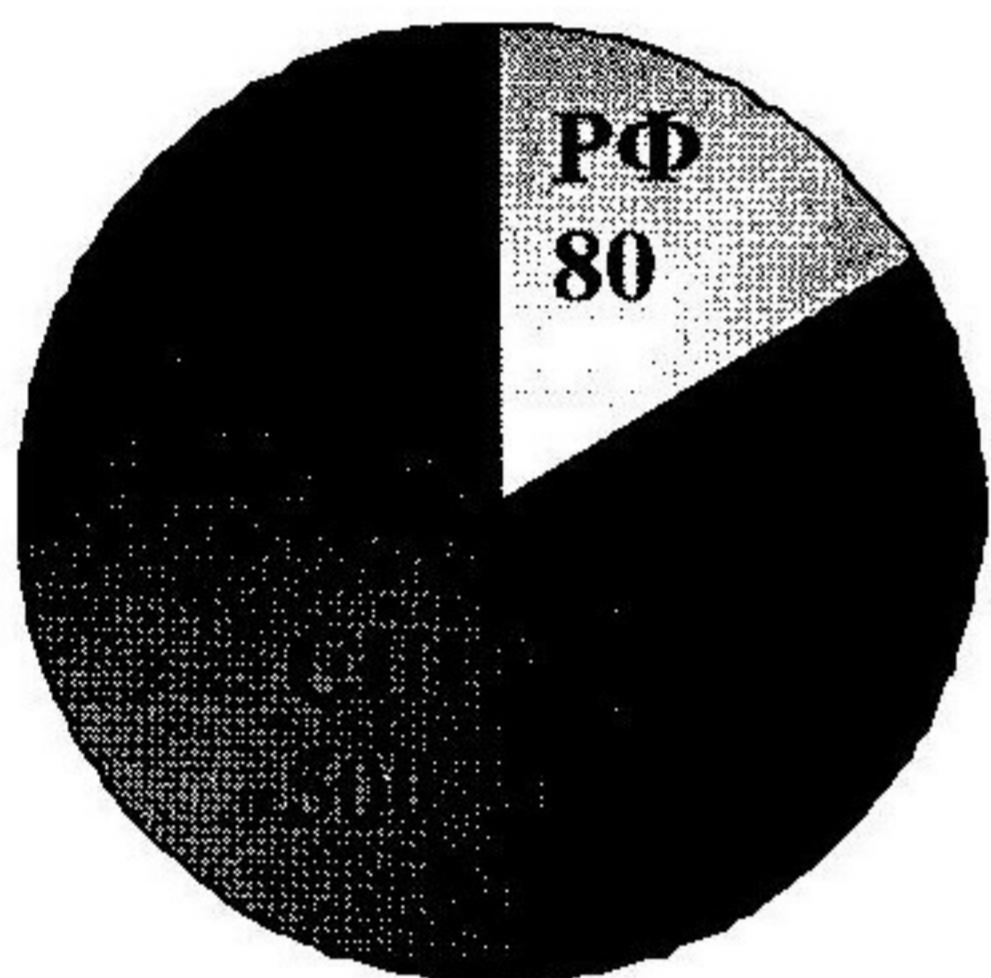


Рис.1. Объем потребления хлора
Для дезинфекции воды в
США и России (тыс.т/год)

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 с водой по водопроводным сетям от объекта водоподготовки до каждого потребителя. Подчеркнем, что **эффект последействия присущ только хлору**. Учитывая состояние наших водопроводных сетей, забывать о присутствии в них микробов «смерти подобно».

Недостатки и достоинства наиболее широко применяемых альтернативных методов обеззараживания – озонирование и УФ-облучения хорошо изучены. Основным недостатком этих методов, определяющим их место в технологии обеззараживания является отсутствие эффекта обеззаражающего 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.

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 активно обсуждается вопрос повышения эффективности очистки и обеззараживания воды и применения для этого новых технологических схем. Причем эти обсуждения иногда сопровождаются такими «глубокомысленными» высказываниями как: «Хлорирование – это очень плохо», «Уже нигде (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», на основе которой осваиваются огромные средства для бессмысленного внедрения якобы альтернативных технологий. А лето 2008 года началось с энтеровирусной инфекции со смертельными исходами и совершенно очевидно для специалистов, что причины всех энтеровирусных инфекций – антисанитария и некачественная питьевая вода.

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

Рассмотрим с этой точки зрения 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, глиоксаль, метилглиоксаль), кетоны, карбоновые кислоты и другие соединения, присутствие которых создает ряд дополнительных проблем в процессе водоподготовки, в том числе альдегиды увеличивают опасность образования хлорорганических побочных продуктов. Кроме того, как следует из опыта применения озона на Мосводоканале, применение озона не только дорого, но и не позволило исключить даже предварительное хлорирование из-за ненадежности очистки воды от гидробионтов, выявились 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 осложняется отсутствием возможности оперативного контроля эффективности обеззараживания воды. Поэтому одним из важнейших

вопросов применения этого метода является создание гарантий его надежности.

Понимая необходимость использования хлора на одной из стадий водоподготовки, эксплуатационщики используют программу «Антихлор» для замены газообразного хлора на гипохлорит натрия. Из сопоставления химизма растворения хлора и гипохлорита в воде следует, что в обоих случаях основным дезинфицирующим агентом является гипохлорит-ион ClO^- . Поэтому, 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, и производится переход на гипохлорит декларируется безопасная технология и отсутствие последствий связанных с применением хлора. Однако это мнение ошибочно как в смысле технической, так и эпидемиологической безопасности.

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 Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору, что «облегчало жизнь» эксплуатирующим организациям. Но, как нам кажется, пришло понимание того, что 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, с постоянными газовыделениями при хранении вследствие разложения и высокой коррозионной активности.

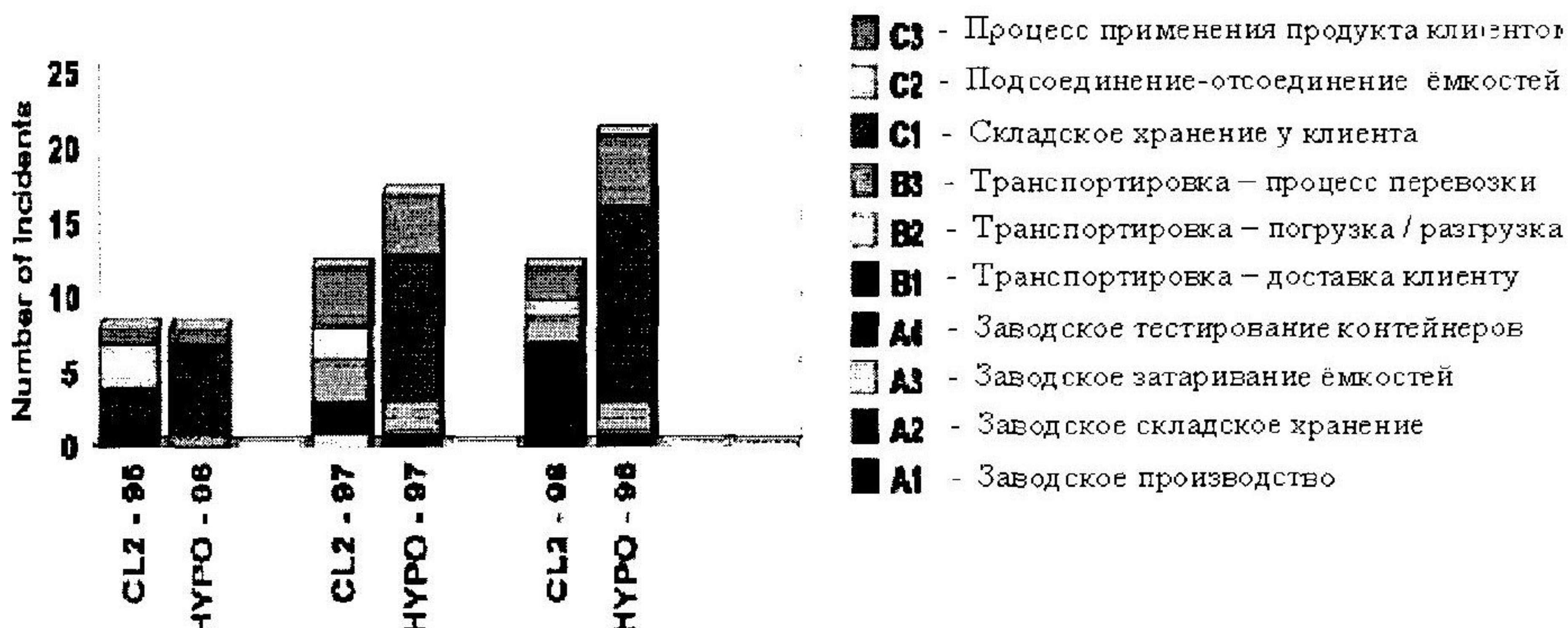


Рис.4. Хлор и гипохлорит: сравнение по числу происшествий

Из рис. 4 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.

В таблице 1 приведены наиболее крупные аварии произошедшие при применении гипохлорита

Таблица 1. Аварии и происшествия с гипохлоритом натрия

Дата	Место	Число пострадавших	Описание
05.10.07	Франкфурт-на-Майне	50	По ошибке автоцистерну с соляной кислотой разгрузили в емкость с гипохлоритом натрия (хлорный отбеливатель). Образовалось облако газообразного хлора.
24.01.93	Графство Чиппенхэм (Chippenham), Великобритания	3	На территории и в помещениях Центра Досуга произошел разлив 450 литров гипохлорита натрия и 40 литров соляной кислоты
02.04.90	Графство Норвич (Norwich), Великобритания	1	В результате случайной ошибки было применено несоответствующее технологии химическое вещество. Утечка одновременно и соляной кислоты и гипохлорита натрия привела к высвобождению хлора
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,	42	Протечки в резервуарах соляной кислоты и гипохлорита натрия

	США		привели к образованию паров хлора.
01.03.85	г.Уэстмэлле (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.Слэйтвэйт, 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.
12.02.79	г.Кельн, Германия	4	Целый завод был эвакуирован, когда в резервуар, содержащий гипохлорит натрия разгрузили серную кислоту, в результате чего образовалось облако газообразного хлора.
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.

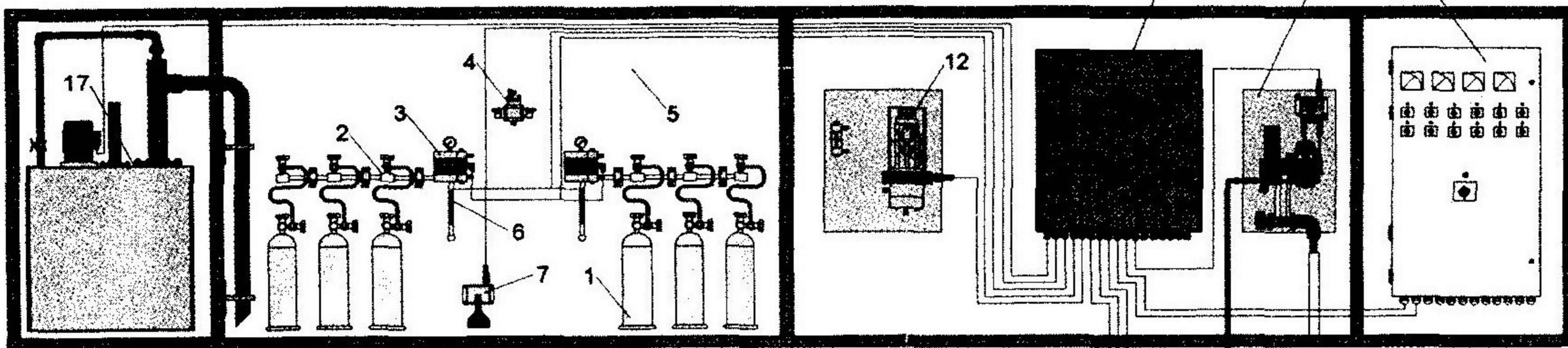
Наиболее крупные аварии случаются при смешивании гипохлорита с кислотами, что приводит к выбросу газообразного облака хлора при этом следует учесть, что выделяется в таких случаях влажный хлор, который при проникновении в легкие не вызывает болевых ощущений, поэтому наиболее опасен и приводит к большим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

вынесенное в результате совещания Ростехнадзора по теме: «Состояние и перспективы развития хлориспользующих объектов систем водоподготовки ЖКХ» в апреле 2008года, в котором отмечается, что объекты на которых применяются привозные или произведенные на месте гипохлорита натрия, двуокись хлора и озон, являются опасными и к ним применяются требования Федерального закона № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Таким образом, переход на гипохлорита натрия по принципу безопасности ошибочен.

Кроме того, замена газообразного хлора гипохлоритом натрия или кальция для дезинфекции воды вместо молекулярного хлора не снижает, а значительно увеличивает вероятность образования трегламетанов (ТГМ), что ухудшает качество воды, связанное с тем, что при применении гипохлорита процесс образования ТГМ растянут во времени до нескольких часов, а их количество при прочих равных условиях тем больше, чем больше pH. Санитарномикробиологические исследования, проведенные в 2002 году Санкт-Петербургским институтом медико-экологических проблем показали, 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 дезинфекционным качествам гипохлорит уступает газообразному хлору.

Сопоставление затрат на оборудование, ремонт и обслуживание объектов с использованием гипохлорита и хлора также не в пользу гипохлорита.

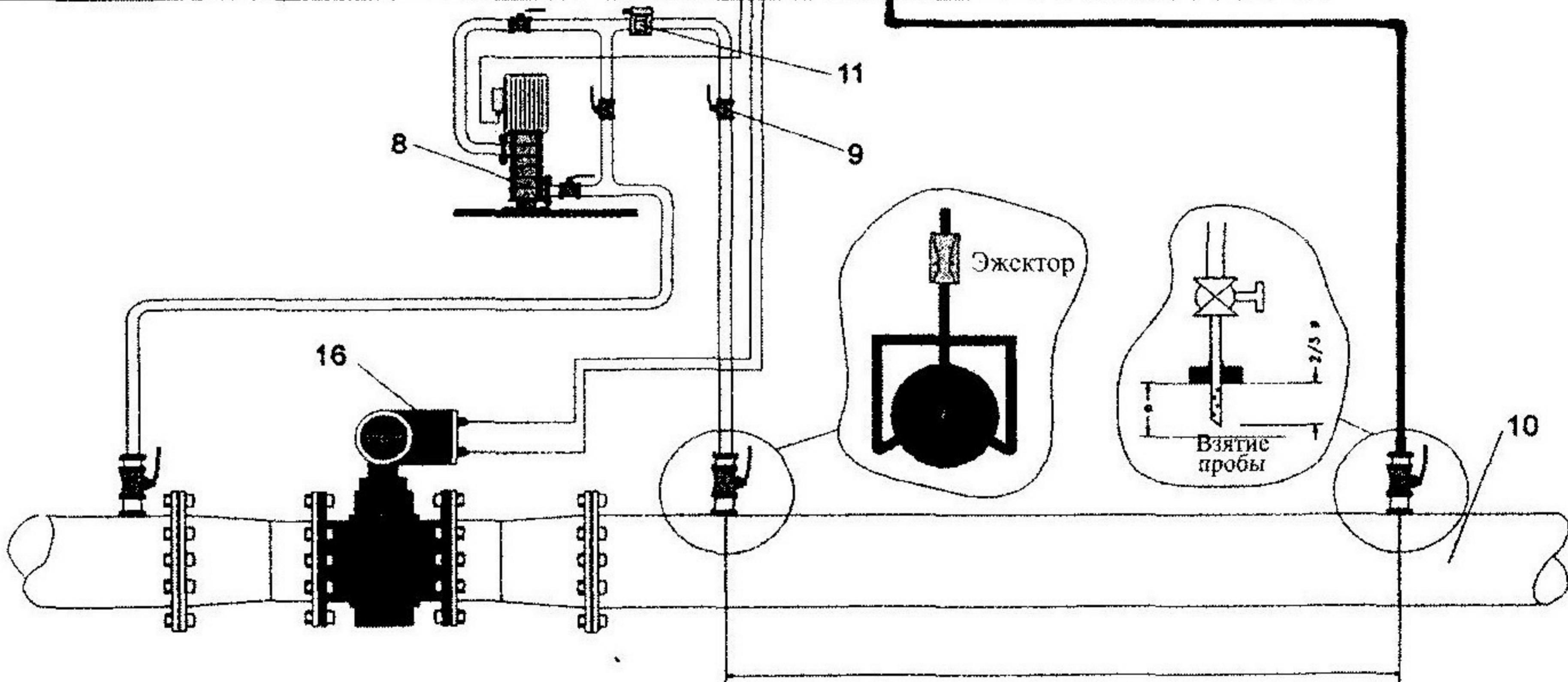
Таким образом, замена хлора на гипохлорит увеличивает себестоимость воды, ухудшая ее качество по бактериологическим показателям и химическому составу. Более того, поскольку объекты, использующие газообразный хлор, всегда входили в категорию опасных производственных объектов и находились под контролем Госгортехнадзора, поэтому они, как правило, соответствуют требованиям Федерального закона № 116-ФЗ. 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 представлена схема автоматической дезинфекции воды газообразным хлором на основе данных о потоке воды и содержании хлора в воде.



**СХЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ
ДЕЗИНФЕКЦИИ ВОДЫ НА ОСНОВЕ
ДАННЫХ О ПОТОКЕ ВОДЫ И
СОДЕРЖАНИИ ХЛОРА В ВОДЕ**

- 1 Баллон с хлором
- 2 Гребенка для 3-х баллонов
- 3 Дозатор хлора
- 4 Автоматический вакуумный переключатель баллонов
- 5 Хлоропровод
- 6 Уловитель-испаритель жидкого хлора
- 7 Детектор 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 Коммутационный шкаф
- 16 Расходомер потока воды
- 17 Система нейтрализации хлор-газа

Перечисленное оборудование
изготавливает, поставляет,
монтажирует и обслуживает
ФСП "КРАВТ"



Расстояние от точки ввода хлора до места взятия пробы
должно быть не меньше 10 диаметров трубы

Рис.5. Схема автоматической дезинфекции воды на основе данных о
потоке воды и содержания хлора в воде.

В случаях больших расходов 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 исключат попадание в хлоратор жидкой фракции хлора. На рис.6 представлена схема автоматической хлораторной, в которой используется испаритель жидкого хлора имеющий разрешение на применение (ИЖХ М3100) производства ФСП «КРАВТ».

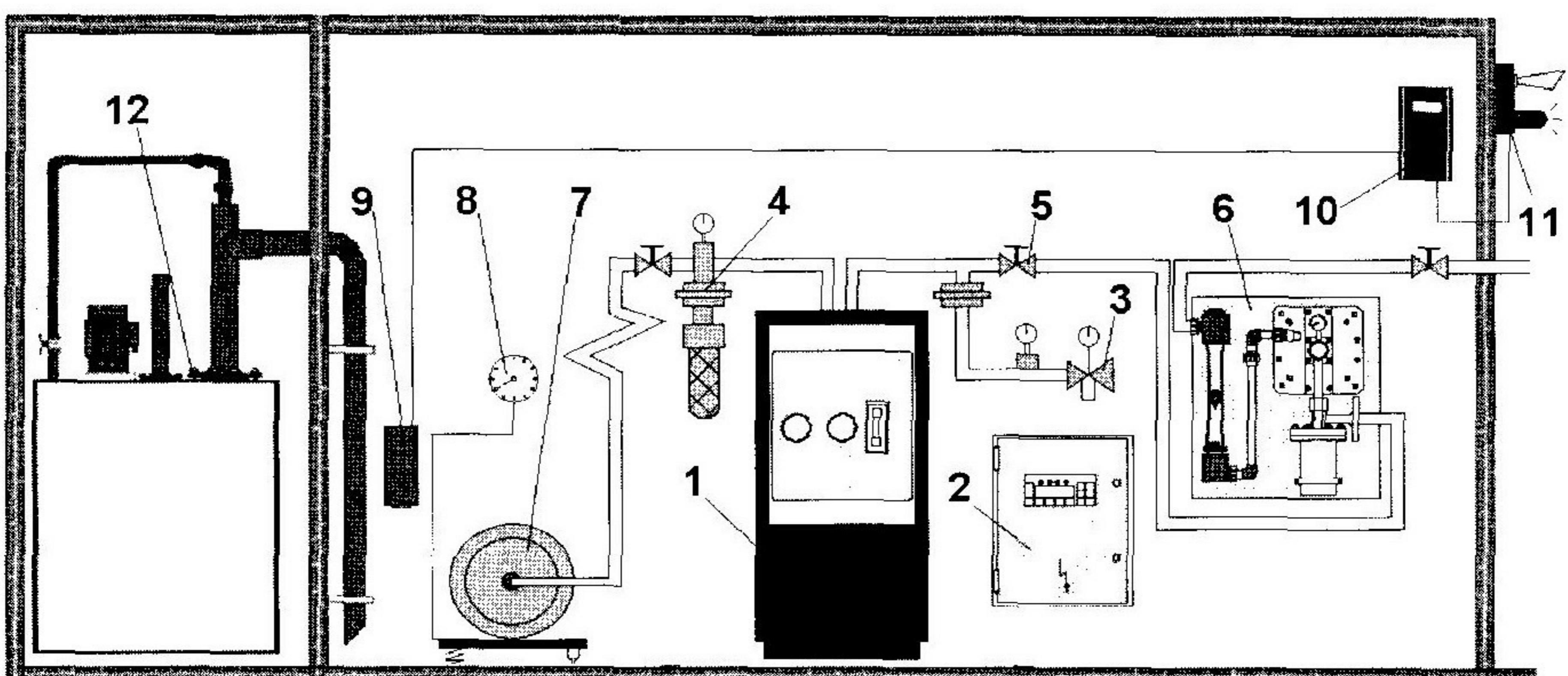


Рис.6. Схема расположения оборудования хлораторной большой производительности

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, 9 - датчик хлора в воздухе, 10 - детектор хлора в воздухе, 11- аварийная сигнализация, 12 - нейтрализатор аварийных выбросов хлора в атмосферу.

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.

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. 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.

Таким образом, хлор в первую очередь, и хлорсодержащие реагенты являются основными неотъемлемыми дезинфициантами в технологии водоподготовки, обеспечивающие эпидемиологическую безопасность воды и предотвращающие 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.