

Долина Л.Ф.

**Новые методы и оборудование для
обеззараживания сточных вод и природных вод**

**Днепропетровск
2003**

УДК 328.68

ББК 29.2

Книга рекомендована к печати научно-методической комиссией по направлению «Водные ресурсы» при Министерстве Транспорта Украины.

Рецензенты:

Дворецкий А.И., заведующий кафедрой гидробиологии и экологии Днепропетровского Национального университета, академик УЭАН, д.б.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины.

Рожко В.Ф., заведующий кафедрой гидравлики Приднепровской академии строительства и архитектуры, д.т.н., профессор.

ББК 29.2.

Долина Л.Ф. Новые методы и оборудование для обеззараживания сточных вод и природных вод. – Днепропетровск: Континент, 2003.-218 с: ил. 42

ISBN – 996 – 7086 – 29 – 2.

В книге рассмотрены новые методы и оборудование для обеззараживания сточных и природных вод.

Для студентов, аспирантов и специалистов, которые работают в области очистки бытовых и промышленных сточных и природных вод.

У книзі розглянуті нові методи та обладнання для знезараження стічних та природних вод.

Для студентів, аспірантів і фахівців, які працюють в області очищення побутових і промислових стічних і природних вод.

In the book new methods of disinfection of natural and waste waters are considered.

This book be useful for students, post gradulators, experts working in the field of urban. industrial waste and natural waters treatment.

Содержание

стр.

Предисловие

1. Современное состояние проблемы обеззараживания воды

2. Классификация методов обеззараживания вод и их краткая характеристика

3. Химические методы обеззараживания вод

3.1. Новые типовые проекты хлораторных для обеззараживания воды

3.2. Совершенствование технологии хлорирования питьевой воды

Новые хлораторы

3.3. Применение диоксида хлора в качестве дезинфицирующего средства для обработки воды

3.4. Применение хлорпроизводных реагентов для дезинфекции вод.

Обеззараживание воды галогенами

3.5 Обеззараживание воды кислородсодержащими, бактерицидно-консервирующими и другими реагентами

3.6. Озонирование природных и сточных вод.

3.6.1 Общие сведения об озоне

3.6.2 Озонаторное оборудование нового поколения

3.6.2 Обеззараживание озоном природных и сточных вод

3.6.3 Обеззараживание и очистка озоном природных и сточных вод

4. Физические методы обеззараживания вод

4.1 Общие сведения по ультрафиолетовому методу обработки вод

4.2 УФ-облучение в целях обеззараживания питьевой воды

4.3 Обеззараживание сточных вод УФ – излучением

4.4 Изучение УФ-обеззараживания сточных вод в лабораторных условиях

4.5 Установки УФ- обеззараживания, изготавливаемые в Украине

4.6 Электроимпульсное и электроразрядное обеззараживание вод

5. Физико-химические методы обеззараживания вод

Приложения

Литература

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сброс в водоемы недостаточно очищенных и обеззараженных сточных вод, в состав которых входят различные промышленные и инфекционные загрязнения, способствуют возникновению различных заболеваний, как среди людей, так и животного мира.

Существующие технологии водоочистки на водопроводных станциях не справляются со всевозрастающим антропогенным загрязнением источников водоснабжения и, как следствие, наблюдается ухудшение качества питьевой воды, в том числе и по бактериологическим показателям. К тому же, методы обеззараживания воды, применяемые на водоочистных сооружениях, малоэффективны в отношении таких опасных возбудителей, как энтеровирусы. [1]

До настоящего времени широкое практическое применение на Украине, в странах СНГ и некоторых других государствах, получили методы хлорирования с использованием газообразного хлора и его производных. Главными причинами столь широкого применения хлорирования являются: высокая надежность бактерицидного действия хлорпродуктов при изношенности трубопроводов водоснабжения и водоотведения, простота конструктивного оформления и оперативного контроля др. Однако, несмотря на вышеуказанные достоинства, главным недостатком метода хлорирования является образование хлорорганических соединений, которые обладают высокой токсичностью, мутагенностью и канцерогенностью, способны аккумулироваться в организмах, в донных отложениях, почве, тканях гидробионтов, вызывать их физиологические изменения и гибель.

Во многих странах появились новые альтернативные хлорированию методы, новые технологии обеззараживания, оборудование и аппараты нового поколения. К сожалению, даже в новейших книгах [2,3 и др.] об этом не сообщается, либо уделяется мало внимания. В то же время такая информация **имеется** в периодической и эпизодической печати (информация имеется в периодической и эпизодической печати (журналах, сборниках и пр.), к которой имеют доступ не все желающие.

Целью данной книги является сбор информации о новых наиболее применяемых методах обеззараживания вод и ознакомление с ними широкого круга читателей (студентов, преподавателей и специалистов), с оборудованием нового поколения, его расчетами и технологией обеззараживания. Автор выражает благодарность рецензентам академику УЭАН А.И. Дворецкому и профессору Рожко В.Ф. за ценные советы, способствовавшие улучшению этой книги.

В книге возможны некоторые упущения, а поэтому автор с благодарностью примет критические замечания и пожелания читателей.

Автор.

1. Современное состояние проблемы обеззараживания воды

Дезинфекция (лат. des - отрицание, inficere - заражать) или обеззараживание - это уничтожение болезнетворных микроорганизмов в воде. Осуществить обеззараживание воды на 100% на практике обычно не удается [1]. Поэтому в настоящее время принято выражать эффективность обеззараживания как 99%; 99,9% и т.д., что соответствует снижению количества микробов в обрабатываемой воде на два, три и т.д. порядков. Удовлетворительной считается степень обеззараживания в пределах 99,99 - 99,999%.

В неочищенных сточных водах содержится огромное число патогенных микроорганизмов: от 10^3 до $7 \cdot 10^6$ в 1 см^3 (коли-титр (КТ) – $10^{-2} - 10^{-7}$, а коли-индекс (КИ) – $2 \cdot 10^8$; титр энтерококка ТЭ = $10^{-1} - 10^{-4}$ ед/см³). После биологической очистки на вторичных отстойниках 1 мл воды содержит еще до $2 \cdot 10^6$ бактерий, число бактериофагов 100. О токсикологии воды судят не по степени проснижения бактериального загрязнения, а по числу оставшихся в воде патогенных микроорганизмов. Фильтрация через кварцевые фильтры снижает КИ сточных вод в 10 раз, а обработка на фильтрах, загруженных цеолитами или ионообменными смолами - на два порядка, а КИ достигает 10^4 .

Снижение бактериальных загрязнений по различными сооружениями, %

Решетки	- до 10
Песколовки	-10 - 25
Первичные отстойники без преаэраторов	- до 25
Первичные отстойники с преаэраторами	- до 30
Первичные отстойники с биокоагуляцией	- до 40
Осветлители-перегниватели с естественной аэрацией	- до 40
Поля фильтрации	- 97 – 99,99
Поля орошения	- 97 – 99,99
Биологические пруды	- 96 – 99,99
Биологические фильтры	- 90 - 95
Аэротенки	- 90 - 95
Сооружения дезинфекции	- 99,0 - 99,99

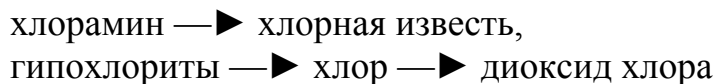
После первичных отстойников бактерии группы кишечной палочки сокращаются на 30 - 40%, после вторичных - 90-95%.

Причина снижения концентрации микроорганизмов заключается в том, что в нейтральной среде вирусы и бактерии являются носителем отрицательного электрического заряда. С физико-химической точки зрения эти объекты являются гидрофильными биокolloидами, что позволяет использовать для их удаления соосаждение со взвесью первичных отстойников и биофлокуляцию в аэротенках.

Озон разрушает клеточные мембраны и стенки, а также окислительно-восстановительную систему бактерий и их протоплазму в отличие от хлора,

действующего только на ферменты бактерии. Возбудители паратифа и микрококки более устойчивы, а по отношению к спорным формам хлор мало эффективен [4]. Относительно устойчивы к хлору микобактерии, энтеровирусы, цисты простейших, синегнойная палочка [1].

Бактерицидная активность различных хлорреагентов связана с их величиной окислительно-восстановительного потенциала и при прочих равных условиях возрастает в ряду:



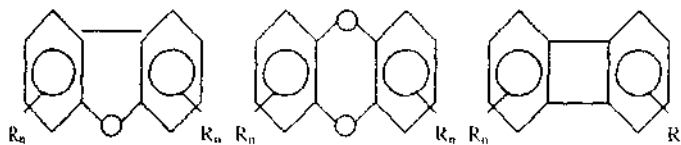
Многочисленные данные [1, 13], убедительно свидетельствуют о том, что хлорирование питьевых и сточных вод вызывает высокие уровни мутагенной активности и токсичности, выявленные с помощью различных биологических тестов. При обработке воды хлорактивными соединениями, обнаружены и выделены продукты, обладающие высокой генотоксичностью: тригалогенметаны, хлорфенолы, п-нитрохлорбензол, бромформ и др. У хлороформа четырех хлористого углерода, относящихся к 24 галогенорганическим соединениям с отдаленными биологическими эффектами, выявлены канцерогенные свойства и, поэтому они рассматриваются как соединения, опасные для человека. Недавно выделен и идентифицирован новый продукт обладающий сильным мутагенным действием – 3 - хлор - 4 (дихлорметан) - 5 - гидроксигидрокси - 2 (5Н) - фуранон и его геометрический изомер. Концентрация его в питьевой воде в некоторых случаях может составлять 30 - 60 нг/см³, а сколько его может быть в сточных водах!!!

Образование галогенорганических соединений при хлорировании воды - сложный и продолжительный во времени процесс [7] На него оказывают влияние многие факторы и, прежде всего качество исходной воды, т.е. содержание в ней органических соединений. На основании закономерностей, выявленных в процессе проведения исследований, установлено, что чем выше значения ХПК и величина цветности исходных природных вод, обусловленная присутствием гумусовых веществ, тем выше концентрация хлороформа в хлорированной воде. Даже в артезианской воде содержится порядка 175 органических веществ. Практически все органические вещества вступают во взаимодействие с хлором. Флокулянты, проходя через всю систему водоочистки, взаимодействуют с хлором.

Особенно увеличивается содержание хлорорганических соединений для «осколков» органических веществ. Хлороформ бывает в 10 – 200000 больше, чем в других органических соединениях хлора, а его наличие в воде связывают с увеличением раковых заболеваний. Чем выше температура воды, тем больше образуется хлорорганических соединений в воде. Содержащая бром вода будет образовывать больше хлороорганических соединений, так как бром является катализатором таких процессов.

Особенно опасны в водах - это диоксины [5, 12]. Диоксин – это не какое-то конкретное вещество, а несколько десятков органических соединений, включающих трициклические кислородсодержащие ксенобиотики, а также семейство бифенилов, не содержащих атомов кислорода.

Теоретически возможно существование нескольких тысяч разнообразных диоксинов. Молекулы диоксинов состоят из обязательных бифенильных структурных единиц:



где $R_n = nCl$ или $R_n = nBr$ при $n = 1 - 4$

Наиболее опасный из всех известных в мире токсичных веществ является 2, 3, 7, 8 - тетрахлордибензо-*p*-диоксин (2,3,7,8 - ТХДД). Он на несколько порядков токсичнее известных на сегодня сильнейших ядов цианидов, стрихнина, кураре, зомана, зарина, табуна, ХХ-газов. Диоксин в 67000 раз токсичнее цианистых соединений.

При нормальных условиях - это бесцветные кристаллы, без запаха, не разлагаются при 75°C. Растворимость его в воде приближается к 0,001%, в ацетоне - 0,2%, химически инертен, период полураспада в почве - 10-15 лет, в организме человека - 6-7 лет. Кислоты и щелочи при нормальных условиях на диоксин практически не действуют.

Ядовитое действие диоксина обусловлено размером его молекулы, имеющей форму прямоугольника 0,3*0,1 нм, что соответствует размерам рецепторов живых организмов. Молекулы диоксина подавляют жизненные функции организма, заставляя работать его иначе. Он может годами накапливаться в нашем организме, не проявляя себя. Диоксин называют химическим СПИДом или абсолютным ядом [10].

По другой версии диоксины имитируют химическую структуру гормонов человека, поэтому они настолько опасны. Диоксины заставляют организм вырабатывать ферменты и гормоны, которые контролируют рост и деление клеток. Это может привести к различным отклонениям и заболеванию раком. В отличие от натуральных гормонов, которые «живут» непродолжительное время, а самое главное, активность диоксинов трудно нейтрализовать.

Основные воздействия диоксиноподобных соединений на человека:

- поражение иммунной системы, особенно у детей;
- повреждение печени, почек, пищеварительной факта;
- бесплодие и нарушение течения беременности у женщин;
- врожденные дефекты и изменения поведения у потомства;
- повреждение нервной системы; заболевание раком;
- подавление умственной и физической работоспособности и др.

Источники образования диоксинов:

- хлорирование питьевых и сточных вод;
- хлорирование вод плавательных бассейнов;
- производство пластмасс (поливинилхлорида и др.)
- мусоросжигающие свалки, особенно при сжигании смол и некоторых видов пластмасс;
- мусоросжигание в больницах (одноразовых шприцов, оборудования);

- при производстве гидроксида натрия (каустическая сода), когда выделяется CO_2 при расщеплении соли (NaCl);
- производство фреонов;
- в химчистке, если в качестве основного растворителя используется перхлорэтилен;
- обработка древесины пентахлорфенолом (дюди живут в таких домах);
- отбеливание бумаги хлором (норматив диоксина в готовой продукции фирмы «Тетра Пак» (Швеция) - 1 частица на 1 триллион).

Содержание диоксина в организме человека должно быть не более от 0,006 до $6 \cdot 10^{-12}$ гр., но многие специалисты считают, что диоксины не имеют безопасных уровней концентрации.

ПДК в России и ряде Западных стран (на Украине таких нормативов еще нет) на диоксины:

- воздух атмосферный	$5 \cdot 10^{-10}$ мг/м ³ ;
- вода питьевая	$2 \cdot 10^{-8}$ мг/л;
- почва сельхозугодий	$1 \cdot 10^{-13}$ мг/кг.

При обеззараживании питьевой воды хлором из поверхностных источников [6, 7] наиболее часто обнаруживаются: хлороформ, четыреххлористый углерод, бромдихлорметан и дибромхлорметан, концентрация которых в несколько, а то и десятки раз превышают допустимые ПДК.

В то же время по новому украинскому СанПину [8, 9] сумма тригалогенометанов (хлороформа, дибромхлорметана, и тетрахлоруглерода) должна быть не более 0,1 мг/дм³.

Научные исследования показали, что только один процент хлора идет на обеззараживание, а остальные 99% расходуются на окисление и взаимодействие, главным образом, с органическими веществами.

Определение диоксинов в воде связано со значительными материальными затратами и зависит от технического оснащения лабораторий. Например, в России имеется всего шесть лабораторий, которые могут определять некоторые разновидности диоксина и на производство одного анализа расходуется примерно 1000\$. На Украине имеется только одна лаборатория в Киеве.

Еще одна причина, из-за которой хлорирование нельзя считать универсальным методом обеззараживания - существование хлоррезистентной микрофлоры, относящихся к условнопатогенным и к патогенным микроорганизмами являющихся стабильными контаминантами городских систем водоснабжения [1].

Потребление хлора в Европе, США. Японии неуклонно падает. Однако, несмотря на многочисленные недостатки хлора и его соединений, отказаться полностью от них в практике водоподготовки в ближайшее время нет возможности, так как ни один метод (кроме серебрения) не обладает необходимым последствием, что важно для сохранения качества воды в распределительных сетях. Изношенность трубопроводов водоснабжения во многих городах и населенных пунктах Украины, России и других стран СНГ достигает 70 - 80%. Поэтому, какими бы другими методами не обрабатывалась вода (озонирование, УФ-обеззараживание и др.), перед подачей в сеть ее

необходимо хлорировать. По данным ООН в перспективе цены на все продукты (пищевые, технические и пр.) будут падать, а на воду и информацию будут или на прежнем уровне, или возрастать.

Что же касается сточных вод, то в последние годы все чаще поднимается вопрос о необходимости полного отказа от хлорирования при их очистке. Все сточные воды, сбрасываемые в водоемы, должны быть обеззаражены, а количество остаточного хлора в них не должно превышать $1,5 \text{ мг/дм}^3$. Исследования же, проведенные в Мосводоканал НИИ проекте, показали, что предельная концентрация остаточного хлора в сточной воде при разбавлении ее речной (1:1) примерно составляет $0,43 - 0,45 \text{ мг/дм}^3$. При такой дозе остаточный хлор в воде сохраняется в течение 8 ч, а количество бактерий сапрофитов через 4 ч уменьшается до 500 кл/см^3 . При превышении этой концентрации остаточный хлор сохраняется в смеси речной и сточной воды до 1-2 сут., что и приводит к практически полному прекращению процессов ее самоочищения, а наличие даже небольшого количества остаточного хлора токсично для фауны водоемов.

При хлорировании сточных вод образуются химические соединения, обладающие мутагенными и канцерогенными свойствами, которые, попадая в водоемы питьевого назначения, загрязняют воду и практически не извлекаются в процессе водоподготовки. Поэтому, в настоящее время, во многих странах ведутся интенсивные поиски альтернативных методов обеззараживания сточных вод.

Обеззараживания сточных и питьевых вод ведется по двум направлениям:

- 1 Создание новых методов обработки, поиск новых безопасных реагентов и технологий их применения.
2. Уменьшение или предотвращение образования опасных веществ, при хлорировании, применение новой и усовершенствование старой технологии и оборудования по применению производных хлора (диоксида хлора).

2. Классификация методов обеззараживания вод и их краткая характеристика

Методы обеззараживания, нашедшие применение в практике водоснабжения и водоотведения, условно можно разделить на три группы (рис. 1):

- химические;
- физические;
- физико-химические, а также в естественных и искусственных условиях.

В этом разделе будет дана краткая характеристика всех существующих на сегодняшний день методов. Однако, многие из них не получили достаточно широкого применения по различным причинам и даже не вышли еще из стен следовательских лабораторий, а поэтому изложены кратко.

В то же время другим методам, которые развиваются, совершенствуются их технологии и оборудование, все больше находят применение в практике водоотведения, будет уделено больше внимания.

Довольно часто экологами для биоценозы, в частности, биопруды, где происходит за счет природного ультрафиолета и альгофлоры [11]. Однако, все эти виды воздействий крайне слабы и имеют сезонный характер. Даже в летний

период биопруды со временем пребывания в них воды 30 суток дают сокращение количества бактерий группы кишечной палочки (БГКП) только на 99%, что недостаточно для выполнения требований гигиенистов. Методы обеззараживания в естественных условиях могут быть использованы только для небольших объемов вод при низкой стоимости земли и отсутствии дефицита площадей.

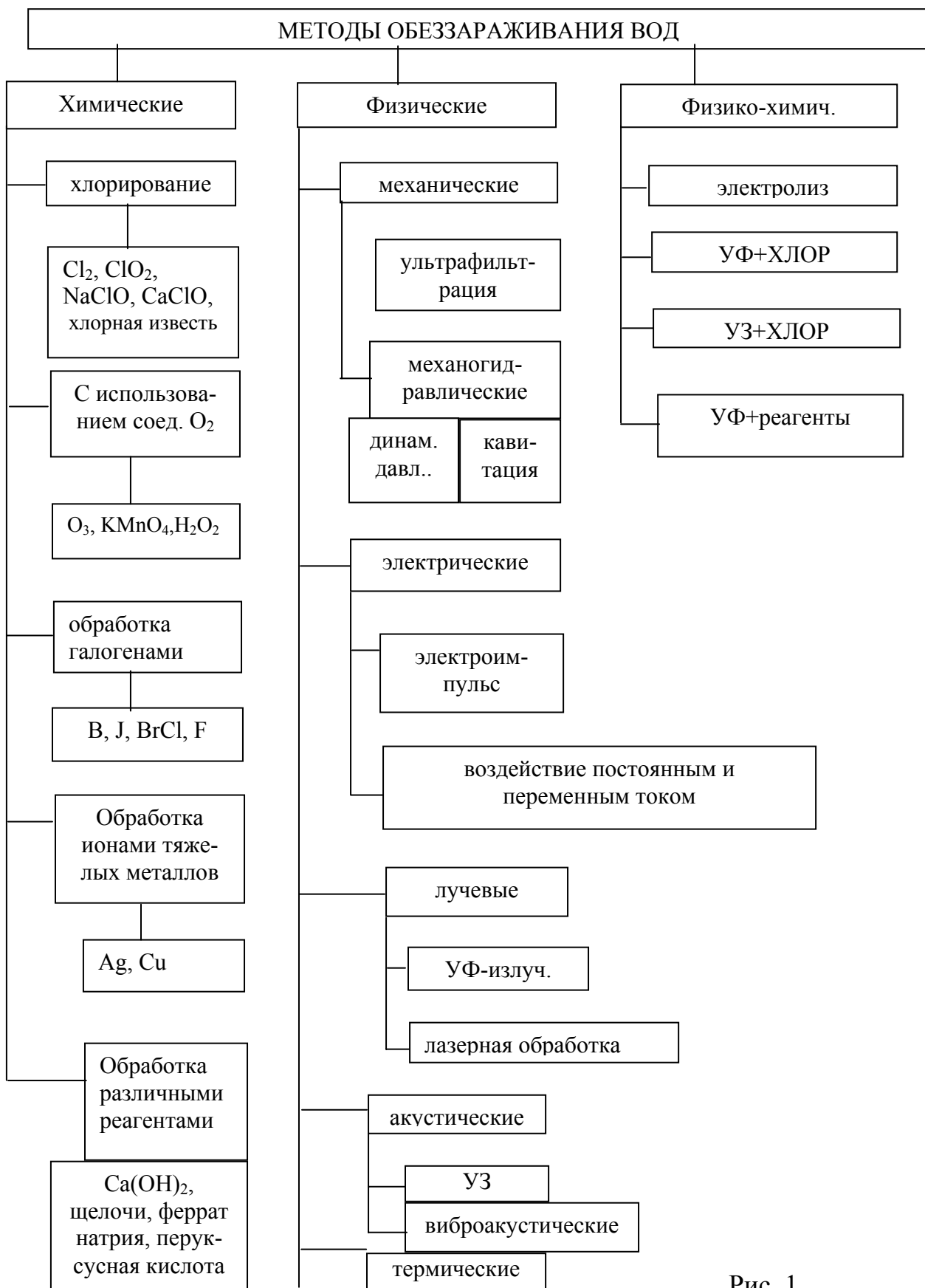
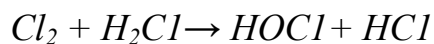


Рис. 1

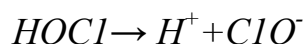
3. Химические методы обеззараживания

Среди химических методов обеззараживания самым распространенным на данный момент является хлорирование сжиженным хлором и его производными (рис. 1), а также активным хлором, получаемый на месте потреблен методом электролиза.

При введении в воду Cl_2 образуются хлорноватистая соляная кислота:



Затем происходит диссоциация с образованием гипохлоритона:



Химической активностью и бактерицидным действием обладают как недиссоциированные молекулы $HOCl$, так и ClO^- . Сумму $HOCl + ClO^- + Cl_2$ - принято называть активным хлором. Состояние активного хлора в жидкости зависит от pH среды. В области pH 4 - 6,5 активный хлор представлен в $HOCl$ форме, а при pH более 8,5 - в форме ClO^- .

Хлорноватистая кислота обладает наибольшим бактерицидным действием, а хлор более эффективен в кислой среде, чем в щелочной. Содержание активного хлора, образующегося при введении в сточные воды 1 г хлора элементарного, в зависимости от pH и температуры воды с учетом потерь хлора в воздух при смешении в контактном резервуаре составляет 0,7-0,75 г. Растворимость газообразного хлора в воде при атмосферном давлении и температуре 10°C составляет 9,65 г/л.

Наиболее широко на практике используется обеззараживание сжиженным хлором. Ввод газообразного хлора непосредственно в сточную воду повышает расход хлора и нарушает безопасные условия обслуживания, поэтому сточные воды обеззараживают хлорной водой.

Жидкий хлор привозят с заводов в стандартных стальных баллонах емкостью 25 - 30 кг (при температуре 15°C давление внутри баллона 5,9 ат) в стальных бочках (контейнерах) емкостью 1 т или в цистернах.

Существенным недостатком метода обработки воды газообразным хлором является необходимость транспортировки и хранения больших объемов высокотоксичного жидкого хлора в баллонах, что представляет потенциальную опасность возникновения чрезвычайных аварийных ситуаций. В связи с этим, в последние годы в России и Украине разработаны и утверждены ряд нормативных документов, ужесточающих требования к условиям хранения и транспортировки соединений хлора [16-18].

Активный хлор в сточных водах в начале вступает в реакцию с азотсодержащими соединениями, а потом с органическими. При этом образуются монохлорамин NH_2Cl и дихлорамин $NHCl_2$ (связанный активный хлор). Поэтому во Франции и США введены новые показатели питьевой воды - лимитирующие содержание органического азота до 1 мг/л. Основное перспективное направление при хлорировании питьевой воды является предварительное удаление всех

органических веществ, а затем уже хлорирование воды. Разработаны в России и других странах «Проектные решения станций водоподготовки с применением озонирования и адсорбции» для производительности 50 тыс. м³/сут питьевой воды [14,15].

Доочистка стоков на гранулированных активных углях (снижение ХПК с 32 до 3-10 мг/дм³) облегчает работу и повышает надежность последующего хлорирования воды. Коли-индекс снижается до 150 - 580 ед./см³, т.е. в 500 - 1000 раз, а в фильтрате отсутствуют канцерогенные вещества (типа 3,4 – бензопирен).

3.1 Новые типовые проекты хлораторных для обеззараживания воды

ЦНИИЭП инженерного оборудования [19, 20] в течение 30 лет традиционно разрабатывает хлораторные для водного хозяйства городов и промышленных предприятий. За эти годы выполнено несколько поколений типовых хлораторных для обеззараживания питьевых и сточных вод.

Главной проблемой применения жидкого хлора является обеспечение безопасности при обращении с реагентом на стадиях транспортировки на станцию, хранение, использование дозирования.

Являясь элементом комплекса сооружений для очистки вод, хлораторная должна отвечать требованиям технологии обеззараживания: должны быть предусмотрены средства контроля и регулирования дозы хлора, обеспечена надежность обеззараживания. Хлораторная является потенциальным источником загрязнения атмосферы и поэтому особо контролируется органами охраны окружающей среды в соответствии с нормативными документами.

В 1997 г. ЦНИИЭП инженерного оборудования разработаны типовые проекты хлораторных производительностью по хлору 2 и 5 кг/ч. В этих проектах полностью учтены требования Правил ПБХ-93, СНиП и природоохранных нормативов. Проекты, в которых предусмотрена поставка хлора в баллонах или контейнерах могут использоваться для строительства новых и реконструкции действующих хлораторных.

В связи с разработкой новых типовых проектов созданы условия полного комплекта оборудования для хранения, приготовления, дозирования хлора, средств управления технологическими процессами, обеспечением эксплуатационной безопасности и охраны природы.

Продолжительность хранения хлора установлена не более 10-15 суток, что определено требованиями Правил ПБХ-93.

Проектом предусмотрен двойной контроль состояния сосудов при доставке, хранении, текущем съеме хлора с выводом данных на диспетчерский пункт очистной станции. При требуемом съеме газообразного хлора с баллонов до 0,7 кг/ч и с контейнеров до 10-12 кг/ч подача хлора осуществляется без испарителей. При этом температура воздуха в помещении склада должна быть не менее 12-15°С, местный обдув сосудов горячим воздухом запрещен.

Тракт подачи хлора оборудован вакуумным регулятором, который гарантирует отсутствие положительного давления практически на всем протяжении хлоропроводов. Это позволяет отказаться от систем продувки компрессорами с

осушкой воздуха, вместо которых может использоваться баллон с азотом. Из-за низкого качества хлора отечественного производства устанавливается грязевик и фильтр, автоматическое переключение съема хлора обеспечивает прекращение съема при достижении заданного уровня реагента в отработавшем сосуде и открывании съема с резервного сосуда с подачей сигналов на диспетчерский пункт станции.

Дозирование хлора осуществляется при помощи системы регулирования его подачи в зависимости от параметра, который предусмотрен в схеме обеззараживания станции. Непрерывность обеззараживания обеспечивается системами резервирования насосов рабочей воды, автоматического переключения на резервные линии хлора и рабочей воды, при этом на диспетчерский пункт подаются сигналы о текущем состоянии систем подачи и прошедших операциях.

Охрана окружающей среды и безопасность эксплуатации гарантированы системой постоянного контроля содержания хлора в воздухе рабочей зоны и автоматического перехода в режим ликвидации аварии при превышении допустимой концентрации хлора, локализацией выбросов и их очисткой до уровней, допустимых по условиям рассеивания в атмосфере. Очистка воздуха производится в скруббере, орошаемом нейтрализующим раствором. При заданных условиях рассеивания в атмосфере определяются допустимые уровни выбросов через трубу, количество ликвидируемого хлора и затем по эффективности изъятия хлора скруббере рассчитывается расход выбрасываемого воздуха. В типичных случаях кратность воздухообмена при нештатной ситуации достигает 4-10. При производстве работ персоналом применяется установка для местного отсоса воздуха и обезвреживания хлора.

Системы ликвидации последствий аварии рассчитаны на разрыв сосуда с хлором, при этом обеспечивается локализация утечек и выбросов, ликвидация разлитого и испарившегося хлора, а также создание водяных завес, предотвращающих образование хлорной волны кроме того, предусмотрены устройства для съема хлора с сосудов, имеющих ограниченную годность.

Хлораторные производительностью 2,5,10,20,40 и 80 кг/ч - это одно-, двухэтажные здания высотой 6-7,2 м, шириной 12 м (пролетом) и длиной 9-30 м (см. приложение).

Работа хлораторной полностью автоматизирована и не требует постоянного присутствия персонала

Штат - 2 оператора, 2 специалиста по ремонту электрооборудования и КИП.

Предлагаемая технология обеззараживания воды с применением хлора принципиально отличается от действующих отечественных систем по технологическому уровню, эксплуатационной и экологической безопасности. Хлораторные по новым типовым проектам могут корректно сопоставляться с другими технологиями.

3.2. Совершенствование технологи хлорирования питьевой воды. Новые хлораторы

Общепризнано, что традиционные методы водоподготовки (коагуляция, седиментация, фильтрование) могут обеспечить очистку воды от

микробиологических загрязнений только в сочетании с эффективным процессом обеззараживания [21].

В последние годы требования по обеспечению безопасности питьевой воды в отношении патогенных микроорганизмов повышаются, вводятся новые микробиологические показатели качества воды [8].

Технология хлорирования характеризуется экономичностью, возможностью простого оперативного контроля за процессом обеззараживания, простотой конструктивного оформления процесса, доступностью реагента. Главное преимущество хлорирования перед другими альтернативными методами заключается в наличии в воде остаточного хлора последствием, что обеспечивает сохранение качества воды в распределительных сетях. Поэтому, несмотря на расширение применения других методов обеззараживания, технологии с использованием жидкого хлора являются наиболее распространенными.

Остается актуальным совершенствование технологии хлорирования, поскольку известны негативные факторы применения сжиженного хлора.

Известно, что на интенсивность образования ЛГС (летучих галогенорганических соединений) влияют: температура, время года, состав воды, доза хлора, продолжительность контакта, величина рН. На взаимодействие хлора с органическими веществами, в результате которого образуются ЛГС, их состав и количество оказывают влияние и сочетание процесса хлорирования с другими технологическими процессами - коагулирование, фильтрование, озонирование. Установлено, что в процессе коагуляции, отстаивания и фильтрования ЛГС из воды, как правило, не удаляются, а после вторичного хлорирования их концентрация в очищенной воде возрастает и имеет максимальное значение в резервуаре чистой воды. Вместе с тем значительно уменьшается образование ЛГС, если хлорированию подвергается вода, предварительно очищенная от взвешенных и растворенных органических веществ в процессе коагуляции, отстаивания и фильтрования. Таким образом, важным мероприятием, направленным на снижение суммарного количества ЛГС, является эффективная очистка обрабатываемой воды от природных органических, а также микробиологических соединений, ответственных за образование ЛГС.

В настоящее время на подавляющем большинстве водопроводов Украины в хлораторных используется оборудование, которое не отвечает современным требованиям, предъявляемым к технологии хлорирования в первую очередь из-за недостаточной точности дозирования и уровня безопасности.

Одним из наиболее доступных способов совершенствования технологии хлорирования на действующем водопроводе является применение вакуумных хлораторов. Опыт эксплуатации наиболее распространенных хлораторов системы ЛОНИИ-СТО показывает, что регулировка по весовому методу не обеспечивает равномерной подачи хлора, поскольку зависит от колебаний давления воды и хлора. Указанный недостаток особенно проявляется при большой емкости резервуаров чистой воды, так как колебания в системе подачи хлора и измерение содержания остаточного хлора имеют большой разрыв во времени. Кроме того, дозу хлора необходимо поддерживать с некоторым запасом, чтобы не допустить снижения концентрации остаточного хлора.

На МУП "Уфаводоканал" в 1993-1997 гг. проведена реконструкция пяти хлораторных с заменой существующих хлораторов ЛОНИИ-СТО вакуумными системами "ADVANCE" венгерской фирмы "WEDECO KFT". Преимущество внедренной технологии хлорирования становится очевидным при сравнении принципиальных схем хлорирования воды с использованием хлораторов ЛОНИИ-СТО (рис.2) и вакуумных хлораторов "ADVANCE" (рис.3).

В хлораторах ЛОНИИ-СТО расход хлора устанавливается вручную и с помощью вентиля 6 (рис.2). При колебаниях давления в системе происходит самопроизвольное увеличение или уменьшение подачи хлора до тех пор, пока его расход не будет отрегулирован вентилем 6 или давление в системе не восстановится до первоначального. Отсутствие возможности саморегулирования не позволяет устойчиво поддерживать заданную дозу хлора. В хлораторах "ADVANCE" имеется мембранный регулятор 3 (рис.3), разделяющий систему на две области: повышенного давления со стороны контейнеров с хлором и вакуума со стороны хлордозаторной. Мембранный регулятор 3 связан с предохранительным клапаном выпуска хлора из контейнера. Расход хлора устанавливается на ротаметре 4 с помощью клапана точной настройки, изменение давления в системе хлорирования воспринимается мембранным регулятором и с помощью предохранительного клапана на впуске хлора изменяет отбор хлора, т.е. происходит саморегулирование системы, при падении вакуума ниже рабочего предела происходит полное закрытие предохранительного клапана и прекращение поступления хлора.

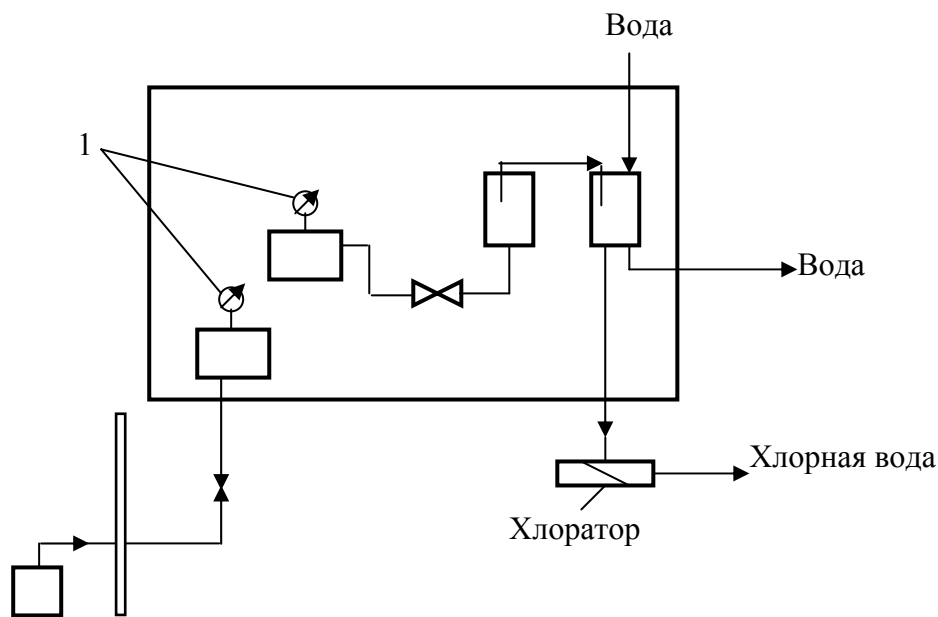


Рис.2. Принципиальная схема хлорирования хлоратором ЛОНИИ-СТО

- | | |
|--------------------------|------------------------------------|
| 1 - контейнер с хлором; | 6 - вентиль ручного регулирования; |
| 2 - обратный клапан; | 7-рота-метр; |
| 3 - фильтр; | 8-смеситель; |
| 4 - манометры; | 9-эжектор. |
| 5 - редукционный клапан; | |

Таким образом, применение новых хлораторов позволяет повысить безопасность процесса, так как при прекращении подачи воды или нарушении герметичности на линии подачи хлора срабатывает предохранительный клапан и прекращается подача хлора. Вторым преимуществом вакуумных хлораторов является повышение точности дозирования, что позволяет обеспечить надежность при низких дозах хлора безопасности снижения остаточной его концентрации ниже допустимой.

3.3 Применение диоксида хлора в качестве дезинфицирующего средства для обработки воды

Диоксид хлора по сравнению с другими хлорактивными соединениями обладает значительным бактерицидным и вирулицидным свойствами в широком диапазоне рН, к тому же он быстро действует [1]. При обработке воды диоксидом хлора процент оставшихся жизнеспособных клеток бактерий на порядок меньше, чем при применении хлора в той же концентрации при одинаковом времени контакта. Высокий антимикробный эффект ClO_2 проявляется в дозах от 0,1 до 0,5 мг/дм³ в зависимости от концентрации взвешенных веществ. При инактивации диоксидом хлора, особенно при низких значениях рН, фекальные стрептококки, клостридии, вирусы и цисты простейших более устойчивы, чем колиформы. Микроорганизмы по степени устойчивости к диоксиду хлора располагаются в таком порядке: бактерии > вирусы > цисты простейших. Показатель «С·t» для 99% инактивации энтеровирусов и цист простейших в чистой воде находится в пределах от 1 до 20 (приложение 1).

Важным свойством диоксида хлора является то, что обработка воды ClO_2 практически не приводит к образованию хлорорганических соединений. Только при избыточном его внесении происходит формирование нелетучих органических соединений, хорошо сорбируемых активированным углем. Диоксид хлора, а именно, при высоких значениях рН или в присутствии аммиака.

Диоксид хлора ClO_2 является эффективным дезинфицирующим средством, обладающим следующими преимуществами перед хлором: более высоким бактерицидным и спорицидным действием в отношении сильных вирусных загрязнений; отсутствием в продуктах обработки хлорорганических соединений; высоким дезинфицирующим действием; высокой степенью окисления; улучшением органолептических свойств питьевых и сточных вод; отсутствием необходимости перевозки на большие расстояния, хранения и использования значительных количеств жидкого хлора в пределах населенных пунктов, что исключает опасность возникновения чрезвычайных ситуаций.

Диоксид хлора превосходит также и другие известные средства, используемые для целей обеззараживания сточных вод. В отличие от перекиси водорода он обеспечивает эффект длительного устойчивого обеззараживания воды от вирусов и бактерий. По сравнению с гипохлоритом натрия ClO_2 более устойчив, обеспечивает высокую степень окисления органических загрязнений, требует меньших расходов на обработку, особенно при наличии азотсодержащих примесей.

Преимущества использования ClO_2 по сравнению с хлором и другими дезинфицирующими агентами подтверждены на очистных станциях во многих

странах. ClO_2 – газ обычно получают на месте его потребления химическим разложением препаратов на основе хлорита натрия (NaClO_2), используя при этом дополнительно установленный реактор разложения хлорита натрия и далее типовое оборудование для хлорирования. Вопросы технологии обработки вод диоксидом хлора решаются конкретно на каждой очистной станции, исходя из местных условий и наличия оборудования.

Для практического применения ClO_2 необходимо знание его важнейших свойств. Диоксид хлора при обычных условиях представляет собой желто-оранжевый газ с резким запахом, напоминающим запах хлора, смешанным с окислами азота. ClO_2 – неустойчивое соединение, при температуре 30-50°C разлагается по цепному механизму, при температуре выше 65 °C или в присутствии органических веществ – спонтанно со взрывом. В присутствии разбавителей- инертных газов (воздуха, N_2 , He) скорость детонации значительно снижается.

Диоксид хлора хорошо растворяется в воде, при этом не происходит ни диссоциации, ни гидролиза ClO_2 .

Диоксид хлора снижается при температуре 11°C. Однако невозможность снижения ClO_2 из-за его взрывоопасности при больших концентрациях и особых условиях является важнейшим фактором, который длительное время сдерживал его внедрение в процессы очистки сточных вод. В связи с установлением нижнего предела взрывоопасности газообразного диоксида хлора, который составляет 3,44% в присутствии искры, интерес к этому соединению последние годы значительно вырос.

Основные требования к способу получения ClO_2 : чистота продукта от примесей хлора и сернистых газов, компактность аппаратуры, простота обслуживания, умеренные энергетические расходы, простая система автоматизации, блокировка потоков.

Для очистки сточных вод рекомендуется использовать «Хлоракс-СВ» - водный раствор с концентрацией 300-400 г/л NaClO_2 и степенью чистоты по основному веществу 80-85%. Раствор может быть переведен в безводную модификацию, содержащую 20% примесей.

При очистке сточных вод рабочая концентрация диоксида хлора зависит от степени загрязнения последних и достигает 10мг/л.

Зарубежные исследователи отмечают потенциальную опасность процесса диоксидхлорирования как любого химического процесса, однако подчеркивают, что она значительно ниже, чем для процесса хлорирования.

Современные конструкции реакторов и средства автоматического контроля обеспечивают надежность и безопасность процесса в целом, и делает его применение перспективным.

Для превращения на станциях водоочистки водного раствора на основе хлорита натрия требуются специальные проектные проработки для привязки узла разложения раствора хлорита натрия к системе хлорирования.

Основным аппаратов узла разложения является реактор разложения, к конструкции и эксплуатации которого предъявляются следующие требования: возможность работы под небольшим раздражением; наличие системы обеспечения подачи технологической воды и инертного газа для безопасного вывода образующегося диоксида хлора и хорошего перемешивания реакционного раствора; наличие дозаторов и расходомеров хлора или кислоты, а при

непрерывной работе – расходомера хлорита натрия; оборудования всех дозирующих линий системами клапанов и блокировок для предотвращения возврата в реактор обратных потоков реагентов; наличие автономной и дистанционной системы управления.

Система хлорирования должна обеспечивать дозирование ClO_2 - газа в воду. При использовании водного раствора диоксида хлора она должна иметь абсорбер и накопительную емкость для сбора этого раствора.

Диоксид хлора хорошо растворим в воде: при 25°C растворимость $81,06$, а при 40°C – $51,4$ г/дм³; в водных растворах устойчив, сильный окислитель (в 2,5 раза выше, чем у хлора) [23]. По своей обеззараживающей способности диоксид хлора близок к озону, действует на некоторые споры. Эффективными бактерицидными концентрациями в питьевой воде являются $0,2-0,4$ мг/дм³, предотвращает возникновение неприятных запахов и привкусов в воде. ВОЗ относит ClO_2 к сильным, но неустойчивым водоокислителям, поэтому норматив в питьевой воде не установлен.

Пороговая концентрация диоксида хлора на вкус воды – $0,4$ мг/дм³. В Германии минимальная остаточная концентрация в питьевой воде и воде для продовольствия – $0,05$ мг/дм³.

ПДК по органолептическому признаку вредности $0,15 - 0,4$ кг/дм³. Показатель ЛД50 диоксида хлора для крыс равен 140 мг/кг. В дозах $0,5$ и 5 мг/кг массы не установлено токсического действия на организм. $0,7$ мг/дм³ ClO_2 в воде вызывает тошноту и расстройство желудочно-кишечного тракта.

На холоде в водных растворах диоксид хлора образует хлориты (ClO_2^-) и хлораты (ClO_3^-). Это относится к недостаткам диоксида хлора. Однако обрабатываемые хлориты являются сильными окислителями только в кислой среде.

Диоксид хлора окисляет ионы железа (Fe^{2+}) и марганца (Mn^{2+}), переводя их в нерастворенный осадок. Окисляет аминофенол, пиррол, анилин и его производные, нитрофенол. Не окисляет первичные алифатические амины, нитробензол, пиридин, не реагирует с аммиаком и аминами.

Главное, с органическими веществами, диоксид хлора не образует тригалогенметаны (ТГМ), диоксины, а хлороформа образует 2-4 раза меньше, чем хлор.

ClO_2 - прекрасный дезодорант, не приводит к образованию хлорфенолов, окисляет их, а также – ПАВ и гуминовые кислоты.

Нефть и хлорорганические пестициды плохо поддаются деструкции под влиянием диоксида хлора (не более 30-40%), образуются продукты, ухудшающие цветность, запах, привкус. Диоксид хлора дороже хлора в 3-3,5 раза.

Таким образом, диоксид хлора наряду с недостатками, имеет ряд преимуществ:

- сохраняет бактерицидную активность в более широком диапазоне рН – от 6 до 10 (для Cl_2 – рН7-7/5);
- скорость реакции ClO_2 с примесями воды выше, чем у Cl_2 ;
- губителен для бактерий и спор, уничтожает водоросли, хлорофилл и биопленки;
- по обеззараживающему действию близок к озону;
- при одинаковых дозах реагентов, эффект обеззараживания ClO_2 выше, чем у Cl_2 ;

- будучи хорошим окислителем, нежели хлорирующим агентом, для обеззараживания воды требуются небольшие дозы ($0,2 - 0,4 \text{ мг/дм}^3$ – для питьевой воды). В этих концентрациях предотвращает возникновение неприятных запахов и привкусов в воде;

- низкие дозы его сохраняют бактериостатическое действие длительное время, что важно в системах водораспределения большой протяженности.

Вышеуказанные положительные качества диоксида хлора позволили ему найти более широкое распространение во всем мире. Так, в США диоксид хлора используют в Западной Европе – на 400 станциях (Франция, Швейцария, Германия и др.), Канаде. К сожалению, диоксид хлора на Украине и в СССР не применялся.

Наиболее целесообразно диоксид хлора применять летом. Замена хлора на ClO_2 в г. Чезаник (шт. Вирджиния, позволило снизить их содержание до 20 мкг/дм^3).

В реке Маас (Нидерланды) вместо хлора стали использовать диоксид хлора, остаточное содержание ТГМ в воде составило меньше 1 мкг/дм^3 .

В г. Лаваль (Канада) на водоподготовке ($110 \text{ тыс.куб.м/сут.}$) применяют диоксид хлора на конечной стадии (предварительное озонирование), остаточная концентрация $\text{ClO}_2 - 0,1 - 0,2 \text{ мг/дм}^3$. Летом подают в сеть $0,25-0,3 \text{ мг/дм}^3 \text{ ClO}_2$, зимой – $0,2-0,25 \text{ мг/дм}^3$. В среднем от введенной дозы летом остается 4% ClO_2 , зимой – 23%. При введении $0,4 \text{ мг/дм}^3 \text{ ClO}_2$ остаточная концентрация – 7%, при $0,6 \text{ мг/дм}^3 - 8,5\%$, а при $1,6 \text{ мг/дм}^3 - \text{только } 3\%$.

Таким образом, применение диоксида хлора для дезинфекции питьевой воды является перспективным методом обеззараживания.

В 1996 г. Минздрав Украины разрешил временную эксплуатацию двух опытных установок для дезинфекции воды с помощью диоксида хлора – фирма «Проминент» (Германия) в г. Килия (р. Дунай) и г. Ильичевск (р. Днестр) в Одесской обл.

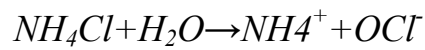
3.4 Применение хлорпроизводных реагентов для дезинфекции воды. Обеззараживание воды галогенами

Хлорамины значительно снижают вероятность образования токсичных органохлорпроизводных веществ в воде [1]. Однако эти вещества, по данным исследований многочисленных авторов [11], даже при очень низких концентрациях вызывают серьезные физиологические изменения гидробионтов и даже их гибель, что приводит к нарушению жизнедеятельности в водоемах. Содержание хлорированных углеводов в рыбе, водорослях и планктоне находится в тесной корреляции с содержанием их в донных отложениях. Даже однократное загрязнение донных отложений может привести к постоянному локальному заражению водных организмов в течение длительного времени (до нескольких лет) после того, как это загрязнение произошло.

Вместе с тем, хлорамины имеют длительный эффект последствия и препятствуют вторичному росту микроорганизмов в сетях, лучше проникают в

био пленки и инактивируют прикрепленные микроорганизмы, и таким образом препятствуют ухудшению качества воды в сетях и состоянию самих сетей [24].

Однако хлорамины обладают невысоким бактерицидным действием (в 10-20 раз меньше для свободного хлора и гипохлорита натрия). Гидролиз хлораминов протекает довольно медленно.



Для инактивации колиформных бактерий, сальмонелл и шигелл необходим остаточный хлорамин при концентрации 1-2 мг/дм³ и продолжительности контакта более 1 г.

Микробактерии, вирусы и простейшие крайне устойчивы к хлораминам. Инактивация хлораминном вируса гепатита А и индикаторных вирусов (полифаг MS₂) происходит только при достижении «6С·t» сотен и тысяч единиц. Следовательно, при подготовке питьевой воды не может быть использован в качестве дезинфектанта только этот реагент, если в технологии не используются другие методы обработки или при хорошем качестве воды [1].

Беспокойство, вызванное повышенной токсичностью следов остаточного хлора и хлораминов, привело к принятию администрацией многих штатов США в конце 70-х г.г. требований, ограничивающих остаточную концентрацию хлора до 0,1 мг/л. Такое направление было поддержано гигиенистами многих стран, что привело к развитию и внедрению методов дехлорирования.

Применение традиционных хлорсодержащих соединений таких, как хлорная известь, гипохлорит кальция, хлорамины и др. технологически не сложно [27], однако для использования требуется слишком громоздкое оборудование, а сам процесс хлорирования имеет ряд недостатков: загрязнение обрабатываемой воды балластом, большая стоимость и дефицитность реагентов и пр. Так, хлорная известь в настоящее время применяется незначительно и только для обеззараживания малых объемов сточных вод.

Кроме хлора и его производных в практике водоподготовки нашли применение такие галогены как йод и бром.

Химическое поведение хлорида брома (95% хлора и 5% брома) в воде сходно с поведением хлора, но существует и серьезное различие. BrCl в течение мили секунд реагирует с водой, образуя при этом бромамины. Бромамины далеко превосходят хлорамины в бактерицидной и противовирусной активности, однако, несмотря на перспективность использования соединений брома для очистки сточных вод, информационный поиск показал отсутствие примеров их применения в практике очистки сточных вод [11]. Препараты брома (концентрация 1-3 г/м³) применяются для обеззараживания в ряде других случаев. В качестве нового направления обеззараживания воды предлагается использовать ионообменные смолы, содержащие бром [1].

Йод в качестве самостоятельного средства для обеззараживания воды используется, например, в замкнутых системах жизнеобеспечения* космических станций [25].

1 л воды в космосе стоит порядка 7000 \$.

За небольшим исключением, йод дозируется в воду за счет выделения предварительно обработанными ионообменными смолами или углем. Йод и бром

нашли также применение как обеззараживающие компоненты в устройствах индивидуального пользования. Эти препараты не могут решить проблему обеззараживания больших объемов воды из-за их дороговизны (стоимость йода в 15-20 [11] – 50-70 [1] раз дороже хлора).

Кроме того, в соответствии с руководством ВОЗ [26] йод не рекомендуется для длительного пользования в питьевом водоснабжении, йод и бром следует применять в больших, по сравнению с хлором, удельных массовых концентрациях [28].

Установлено явление синергизма йода с ионами меди, которое может быть использовано в практике обеззараживания воды [28]. При этом представляется возможность снижать дозы препаратов йода, не уменьшая эффективности обеззараживающего действия. Подобная технология может найти применение на небольших объектах водоподготовки. Применение брома и йода для обработки больших объемов воды ограничено трудностями дозирования реагентов, возможностью образования йод- и бромпроизводных, обладающих политропными токсичным действием и отдаленными эффектами.

3.5 Обеззараживание воды кислородосодержащими, бактерицидно-консервирующими и другими реагентами

Перманганат калия взаимодействует с органическими и неорганическими веществами, что препятствует его дезинфицирующему действию, в результате оно оказывается намного ниже, чем у хлора и озона.

Перманганат калия в 2,5-3 раза дороже хлора. Применяют этот реагент, главным образом, для удаления из сточных вод соединений марганца. Используют для дезинфекции резервуаров и трубопроводов перед вводом их в эксплуатацию или перед пуском после ремонта.

Концентрация $30_2(\text{KMnO}_4)\text{м}^3$ воды, время контакта – порядка 24 ч.

Вторым по распространенности кислородосодержащим реагентом является пероксид водорода [29]. Преимуществами H_2O_2 по сравнению с другими окислителями (HClO , O_3) является его относительная стабильность в водном растворе, отсутствие вторичных продуктов при деконструкции и окислении органических загрязняющих веществ, возможность обработки воды в широком диапазоне температур и pH, сравнительная простота аппаратного оформления процесса введения H_2O_2 в воду. Эти преимущества послужили основанием для широкого применения пероксида водорода в практике очистки сточных вод за рубежом. Однако для больших объемов воды требуются слишком большие количества этого дезинфектанта. По этой причине применение H_2O_2 ограничено. Он используется лишь в специальных схемах обработки воды.

Исследованиями [1,11], проведенными на Курьяновской станции аэрации (Россия), установлено, что для дезинфекции сточной воды, прошедшей полную биологическую очистку, до коли-индекса 1000 требуется 260 мг/дм^3 пероксида водорода при продолжительности контакта 90 мин, а для дезинфекции дочищенной сточной воды на зернистых фильтрах при тех же условиях - 140 мг/дм^3 . Необходимость использования таких высоких концентраций H_2O_2

объясняется тем, что его бактерицидное свойство обусловлено не пероксидом водорода, а образующимися при его разложении пероксидными радикалами. Скорость же разложения пероксида водорода очень мала и остаточные его концентрации в сточной воде сохраняются более 10 сут. Это в свою очередь препятствует его применению для дезинфекции сточных вод, так как происходит их сброс с повышенным содержанием H_2O_2 , для которого установлены жесткие нормы в водоемах культурно-бытового назначения – 0,1; в водоемах рыбохозяйственного назначения – 0,01 мг/дм³. Соли тяжелых металлов с содержанием меди до 1, железа – 0,3; молибдена – 0,25 мг/дм³ (т.е. в пределах ПДК водоемов культурно-бытового назначения) не оказывают влияния ни на изменение дозы дезинфектанта, ни на продолжительность [1].

Анализ технической информации показал отсутствие опыта применения перманганата калия и пероксида водорода на коммунальных очистных сооружениях как в нашей стране, так и за рубежом [11].

Из всех щелочных реагентов только известь нашла ограниченное применение для обеззараживания сточных вод и осадков. Известкование применяется обычно в сочетании с удалением аммонийного азота из сточных вод отдувкой. Необходимый гигиенический эффект при обработке сточных вод достигается при использовании больших доз реагента, что сопровождается образованием огромного количества осадка [11]. Этот факт, так же как высокая стоимость обеззараживания этим методом, существенно ограничивает применение известкования и делает его неприемлемым для использования на средних и крупных станциях аэрации.

В последнее время альтернативным реагентом для обработки разнообразных сточных вод, в том числе производственных, является феррат натрия – твердая соль, содержащая железо в степени окисления (+VI), служащая одновременно окислителем и коагулянтом. Его использование связано с проблемой синтеза реагента и не вышло из стадии лабораторных испытаний.

Мало распространенным реагентом является перуксусная кислота. Опытные-промышленные испытания в Великобритании показали ее достаточно низкую эффективность [11]. Промышленного внедрения метод не нашел до сих пор.

Поиск экологически безопасных дезинфицирующе-консервирующих для обработки сточных вод и осадков является актуальной проблемой. Значительный интерес представляют металлокомплексы с рациональной способностью к белкам. К ним относятся аминокислотные, аминополиаминные и аминокислотные композиции меди, цинка и других металлов или их гидроксоналоги. Эти металлы связываются с комплексообразующими группировками белков без изменения их строения.

Для микроорганизмов, осуществляющих обмен веществ через оболочки клеток, связывание белков оболочек приводит к подавлению обмена веществ микроорганизмов, вследствие чего, указанные соединения обладают широким спектром антимикробного и консервирующего действия.

Структурная формула комплексной композиции состава ММЭ-В для обработки сточных вод.

Расход реагента ММЭ-В для дезинфекции сточных вод 70 мл/л, а реагента ММЭ-Т - 0,3 мл/кг сухого вещества осадка. Осадки после обработки указанными реагентами остаются не токсичными и стабильными при захоронении или хранении. Конечно, такие реагенты являются дорогими реагентами по сравнению с хлором и даже озоном, а поэтому могут найти применение, в основном, при консервации и хранении высокотоксичных осадков.

Синтетический органический полимер - полигексаметиленгуанидина (ПГМГ) в водной среде одновременно проявляют свойства антисептического средства с выраженным пролонгированным бактерицидным действием и флокулянта. [30] Полное обеззараживание воды по E.Coli и по бактериофагу Т достигается в течение 1 ч после введения 1 мг ПГМГ в 1 л обрабатываемой воды. Повторный очаг заражения, внесенный через несколько дней в одновременно обеззараженную полимером воду, исчезает в течении одного часа без каких-либо добавок реагента. Реагент не нашел достаточно широкого применения в промышленности по многим причинам: недостаточное производство и проведены только лабораторные исследования, изученность и пр. Возможно его применение для предупреждения развития бактериального и водорослевого биологического обрастания теплообменных аппаратов и трубопроводов. [31]

В России (г. Ангарск) группой компаний «Катализ» предложен «Способ каталитического обеззараживания питьевой и сточных вод с использованием адсорбента-катализатора на керамическом носителе». Этот физико-химический метод обеззараживания вод [32] «katrise» может быть реализован на фильтровальных установках производительностью от 1,5 м³/сут до 150 тыс. м³/сут.

3.6. Озонирование природных и сточных вод

3.6.1. Общие сведения об озоне

Наибольшее применение (как альтернатива хлорированию) нашел метод озонирования. В настоящее время более 1000 водопроводных станций в Европе, в основном во Франции, Германии и Швейцарии, применяют озонирование как составляющую часть общего технологического процесса. В последнее время озонирование стали использовать в Японии и США. В странах СНГ озонирование применяется на водопроводных станциях таких крупных городов как Москва, Киев, Минск, Нижний Новгород и другие озонирование воды позволяет существенно улучшить качество питьевой воды и решить многие проблемы, возникающие при ее хлорировании. [1]

Основные преимущества озона в сравнении с другими окислителями, используемые для обработки воды, следующие:

-более сильный окислитель, чем хлор, одновременно с обеззараживанием удаляет и другие загрязнения воды (цветность, запах, привкус, железо, марганец, фенолы, нефтепродукты, ПАВ и др.);

-высокая биоцидная активность, в том числе и в отношении вирусов и цист простейших;

-повышение эффективности последующих стадий водообработки - коагуляции и фильтрования;

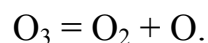
-компактность установок, удобство их эксплуатации, отсутствие громоздкого реагентного хозяйства, возможность полной автоматизации процесса;

-обеспечивает безопасность питьевой воды в санитарно-гигиеническом отношении и уменьшает вредное воздействие воды на здоровье человека;

-улучшается экологическое состояние водоемов в виду отсутствия губительного воздействия очищенных и обеззараженных озоном сточных вод на жизнедеятельность водоемов;

-отсутствие побочных токсичных хлорорганических продуктов реакции.

Обеззараживающее действие озона основано на его высокой окислительной способности, объясняющейся легкостью отдачи им активированного атома кислорода:



Благодаря высокому окислительному потенциалу озон вступает во взаимодействие со многими минеральными органическими веществами, в том числе и с протоплазмой бактериальных клеток, разрушая их. Биоцидное действие озона является результатом его реакции с жирными кислотами по двойной связи в клеточных стенках и мембранных бактерий, в протеиновых оболочках вирусов. В случае бактерий окисление приводит к изменению проницаемости клетки и переходу содержимого клетки в раствор. Для вирусов изменение протеиновой оболочки препятствует их захвату восприимчивыми клетками. При воздействии озона на клеточную стенку цист *Giardia* происходит изменение цитоплазматической мембраны и ультраструктурных элементов организмов [36]. При сравнении обеззараживающего действия озона и хлора по 0,1 мг/дм³ каждого было установлено, что для полного уничтожения 60000

кишечных палочек в 1 л воды необходимо 5 секунд для озона и 15000 сек для хлора. [34] Увеличение рН среды снижает эффективность обеззараживания.

Озон обладает более сильным бактерицидным, вирулицидным и спороцидным действием. Наибольшая чувствительность к озону отмечена как у индикаторных бактерий, так и патогенных. В то же время чувствительность вирусов и простейших к озону значительно ниже. Дозы остаточного озона, необходимые для обеззараживания воды при различном уровне ее зараженности энтеровирусами (продолжительность контакта 12 мин): при 5-50 УЕ/дм³ - 0,2-0,3 мг/дм³; при 400 - >0,5 и при 4000-30000 - > 0,8; при зараженности лямблиями 1-5 УЕ/дм³ - >0,6 и при 6-200 - 6-200 мг/дм³ озона. Эти условия обеспечивают отсутствие энтеровирусов в 10 дм³ воды, а лямблий - в 1 дм³ воды. Параметры эффективных режимов зависят от качества обрабатываемой воды, применяемой технологии, конструкции сооружения на конкретных объектах и в каждом конкретном случае должны уточняться на местах.

По данным большинства исследователей [1], для инактивации вирусов в сточных водах, требуются значительно более высокие дозы озона, чем для тех же микроорганизмов в чистой воде. Увеличение резистентности к озону для энтеровирусов, сорбированных на частицах фекалий и клетках хозяина. Заслуживает внимания тот факт, что озон, по всей видимости, является эффективным дезинфектантом для инактивации цист простейших, судя по концентрации и продолжительности контакта „С·t", необходимых для достижения требуемой степени инактивации. Процесс инактивации вирусов и бактерий под действием озона в обычных концентрациях относительно нечувствителен к рН в диапазоне от 6 -8,5. [1] До сих пор не решен вопрос, в каких условиях озон более бактерициден - в условиях, когда он находится в воде в виде молекулярного озона, либо в условиях, которые благоприятны для быстрого разложения молекулярного озона или способствуют образованию радикалов. В первом случае дезинфекция с помощью озона будет эффективнее в воде с более низким рН (например при рН < 1), с большей концентрацией бикарбоната и малым содержанием примесей, поглощающих озон (например, Fe²⁺, Fe³⁺, Mn²⁺, гуминовые вещества). Во втором случае дезинфекция будет эффективнее в присутствии агентов (пероксид водорода, ультрафиолет), способствующих разложению озона и образованию радикалов - ОН^{2*} или НО^{2*} при большем значении рН.[1] Доза озона, необходимая для обеззараживания воды, составляет 0,5-5 мг/дм³ в зависимости от содержания в воде органических веществ, а продолжительность контакта воды с озоном 5-20 мин. Для эффективного обеззараживания питьевой воды необходимо ввести дозу озона, достаточную для обеспечения остаточной концентрации растворенного озона 0,4 мг/дм³, которая должна поддерживаться в течение 4 мин.

Озон - аллотропная модификация кислорода (газ голубого цвета, плотностью 1,657). Получают озон в результате ионизирующего действия на кислород электрического поля с высоким потенциалом; видимый результат этого действия - фиолетовый разряд.[33] Озон - взрывоопасен, при 11,9°С он сжигается и превращается в жидкость синего цвета.

Скорость распада озона зависит от солесодержания, рН и температуры воды. С увеличением температуры с 1 до 20°С скорость распада возрастает в 22 раза, а при повышении рН воды с 7,6 до 9,2 - в 15 раз. Обычно температуру воды

перед озонированием принимают порядка 25 °С. В нержавеющих трубах самопроизвольное разложение озона составляют порядка 6% за 4-6 мин. Поэтому, в случае применения озонирования вод, должен предусматриваться кратчайший путь его доставки. Обычно скорость движения озона в трубопроводах (стеклянных, нержавеющая сталь) принимается порядка 8-12 м/с. Концентрация остаточного озона в воде после контактных камер равна 0,2 - 0,5 мг/дм³, которая быстро уменьшается. Важно, что в случае применения озона в технологических процессах, воздух, богатый озоном, не выбрасывался в атмосферу.

Озон может быть получен: химическим путем, в результате ультрафиолетового излучения и при электрическом разряде. Последний способ получил наиболее широкое применение в промышленности.

Сырьем для получения озона является воздух или кислород из баллонов. Из 50 - 60 м³ (70 - 80 м³ в зависимости от вида озонатора) воздуха получают 1 кг озона. Как правило, выход озона составляет 10 – 20 % от содержания в воздухе кислорода. Имеется два типа озонаторов: пластинчатые и трубчатые (вертикальные и горизонтальные), в последнее время появились озонаторы четвертого (последнего) поколения.

При диспергировании озона в воду, в основном, идет два процесса:

1. Окисление.
2. Дезинфекция.
3. Обогащение воды кислородом, вследствие распада озона. Окисление озоном может быть:

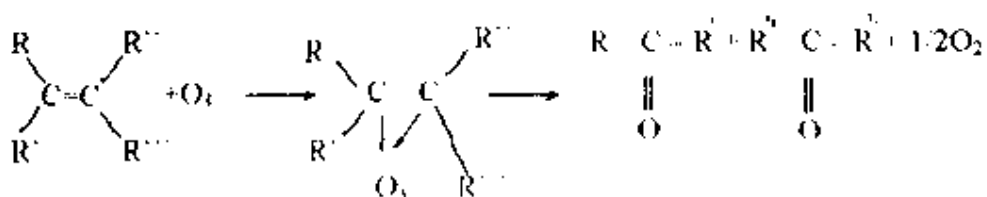
1. Прямое окисление
2. Окисление радикалами (непрямое окисление).
3. Озонолиз.
4. Катализ.

1. Прямое окисление - вещество + Оз → окисленные вещества.

Пример, окисление ряда органических и минеральных веществ (Fe²⁺, Mn²⁺), которые после озонирования осаждаются в виде нерастворимых гидроокисей или переводятся в диоксиды и перманганаты, удаляемые на фильтрах.

2. Непрямое окисление - осуществляется большим числом активных радикалов (например, ОН[•] и др.), образующихся в результате перехода О₃ из газовой фазы в жидкость и его саморазложения. Интенсивность непрямого окисления прямо пропорциональна количеству разложившегося озона и обратно пропорциональна концентрации загрязняющих веществ. Пример, органические кислоты с малым молекулярным весом.

3. Озонолиз - процесс фиксации озона на двойной или тройной углеродной связи с последующим ее разрывом и образованием озонидов, которые, так же как озон, являются нестойкими соединениями и быстро разлагаются:



4. Каталитическое воздействие озонирования заключается в усилении им окисляющей способности кислорода который присутствует в озонированном воздухе.

Обработка сточной жидкости озоном используется, как правило, в тех случаях, когда одновременно с обеззараживанием необходимо удалить из сточных вод нефтепродукты, СПАВ, цианиды, фенолы, органические растворители и красители, ионы тяжелых металлов и др. Озон действует комплексно, приводя к улучшению физико-химических, органолептических и бактериологических показателей очищаемой жидкости. Обеззараживание сточных вод озоном целесообразно применять после ее очистки на фильтрах или после физико-химической очистки, обеспечивающей снижение содержания взвешенных веществ до 3-5 БПК_{полн} до 10 мг/дм³, а число бактерий уменьшается на 99,8%.

Использование озона вместо хлора целесообразно при содержании в воде веществ, образующих при реакции с хлором более токсичные вещества или ухудшающих органолептические свойства воды, при получении в результате хлорирования высоких остаточных концентраций хлора, требующих дехлорирования; при содержании в воде патогенных вирусов и споровых бактерий; при необходимости комплексной очистки.

Основное ограничение при применении озона в качестве дезинфицирующего средства связано с его неустойчивостью в воде. По этой причине озон не может быть использован в качестве конечного дезинфицирующего вещества в распределительной системе. Считают, что на последней стадии обеззараживания озон можно применять только при следующих условиях:

- кратковременное нахождение обработанной воды в водопроводной сети;
- сравнительно низкая температура воды;
- высокое качество воды, когда концентрация в ней органических соединений не превышает 0,1 мг/дм³;
- очень низкая концентрация аммиака в воде.

В остальных случаях для обеспечения качества воды в распределительной сети традиционно требуется применение соединений хлора, хотя и в меньших количествах. Однако озон может быть использован в качестве первичного дезинфицирующего вещества, но в этом случае его эффективность также ограничена из-за большой скорости разложения и взаимодействии с органическими и неорганическими загрязняющими веществами в воде.

Кроме того, озону присущи и другие недостатки:

- совместное применение соединений хлора и озона может привести как к уменьшению, так и увеличению хлороорганических соединений в воде [1];
- образование биоразлагаемых органических соединений в воде, являющихся доступными источниками углерода для бактерий и создающих потенциальную угрозу вторичному росту микроорганизмов в сетях (карбонильные соединения с малой и средней молекулярной массой, в основном формальдегид и другие альдегиды [1]). Повторный рост микроорганизмов вынудил в ряде случаев отказаться вообще от озонирования или ввести дополнительное остаточное хлорирование [1];
- недостаточная изученность продуктов озонолиза органических соединений в воде и их мутагенных и токсикологических свойств. Неоднозначность и

противоречивость данных литературы относительно оценки токсикологической безопасности озонированной воды в целом;

- образование продуктов озонолиза, которые могут влиять на здоровье людей - органические пероксиды, ненасыщенные альдегиды и эпоксиды, броматы;

- высокая энергоемкость и стоимость озонаторного оборудования.

Это относится в равной степени и к затратам на строительство и к эксплуатационным расходам, которые при работе станции озонирования определяются, главным образом, высокой энергоемкостью процесса синтеза озона (12-22 кВт-ч/кг производимого озона), вспомогательного оборудования (суммарное потребление электроэнергии станцией достигает 30-40 кВт-ч/кг озона и более), а также затратами на содержание обслуживающего персонала и обеспечение здания тепловой энергией.

Метод озонирования в отличие от хлорирования технически сложен, и для его реализации необходимо выполнение ряда последовательных технологических операций: очистка воздуха, его охлаждение и сушка, синтез озона, смешение озono-воздушной смеси с обрабатываемой водой, отвод и деструкция остаточной озono-воздушной смеси, отвод ее в атмосферу. Кроме того, требуется много вспомогательных процессов и оборудования. Процесс синтеза озона осуществляется при высоком электрическом напряжении. Озон более токсичен, чем хлор, вызывает раздражение слизистых оболочек глаз и поражает органы дыхания. Предельно допустимое содержание озона в воздухе производственных помещений $0,1 \text{ г/м}^3$. Существует опасность взрыва озono-воздушной смеси. Озон вызывает активную коррозию оборудования и трубопроводов, требует использования нержавеющей материалов.

Практическое внедрение озонирования в очистные сооружения на водопроводных станциях требует их существенной реконструкции, в частности введения в готовую гидравлическую схему движения воды контактной камеры для смешивания озono-воздушной смеси с обрабатываемой водой. При этом возникает необходимость подкачки общего потока обрабатываемой воды или значительно усложняется строительная конструкция контактной камеры.

3.6.2. Озонаторное оборудование нового поколения

Совершенствование процессов очистки сточных вод с применением озона в настоящее время развивается по двум основным направлениям: создание эффективных, высокопроизводительных генераторов озона, работающих на повышенных частотах, и интенсификация процесса массообмена контактирующих фаз (озона и обрабатываемой жидкости) за счет изменения скорости реакции путем ввода катализаторов, фотохимического, радиохимического воздействия, сочетания озонирования с УФ-облучением. [35]

Выбор метода и аппаратуры для смешения плохо растворимого газа (озона) с водой является самым актуальным вопросом в технологии очистки сточных вод. Многие новые теоретические положения и конструктивные элементы, учитывающие современные достижения теории и практики массообмена, в

водоочистную практику еще не внедрены. Это отрицательно влияет как на габариты, так и на экономичность технологии очистки сточных вод.

Для смешения озонородушной смеси с обрабатываемой водой нужна аппаратура, позволяющая быстро и с минимальной стоимостью осуществить полное смешение объема обрабатываемой воды с объемом подаваемого озонированного воздуха. Наиболее простой и экономичный способ такого смешения основан на диффузии мельчайших пузырьков озонородушной смеси непосредственно в самой толще воды, т.е. необходимо максимальное развитие поверхности контакта воды и озонородушной смеси.

В последние годы в качестве смесительных устройств для озонирования используют распылительные колонны, водоструйные эжекторы и механические аэраторы различного типа, способ гидравлической инъекции, барботаж.

Способ гидравлической инъекции достаточно прост, но требует жесткого соблюдения ряда условий: через эмульгатор должен проходить весь объем обрабатываемой воды, минимальное давление воды в эмульгаторе должно быть не ниже 4м, расход озонородушной смеси должен составлять 1/3 расхода воды, в контактной камере невозможно осуществить противоток воды и озонородушной смеси с водой при помощи гидравлического эмульгатора выгоден только в том случае, когда возможна подача всей обрабатываемой воды к эмульгатору с заданным напором.

В схеме смешения озонородушной смеси с водой способом барботажа количество подаваемого воздуха не находится в жесткой зависимости от количества обрабатываемой воды. При этом способе наиболее тонкое рассеивание обеспечивают фильтросные пластины, которые размещаются по дну контактной камеры. Это позволяет регулировать подачу озонородушной смеси.

При высоких концентрациях озона целесообразно смешать озонородушную смесь с 1/3 общего расхода воды, а затем концентрированную смесь снова смешать с оставшимся объемом воды в условиях противотока. Таким образом, часть общего расхода воды озонируется весьма интенсивно.

Следует отметить, что вопрос смешения озона с водой не отработан в достаточной степени, так как потери озона достигают 15-30% подаваемого объема.

Процесс озонирования сточных вод является типичным хемосорбционным процессом. Его кинетика зависит как от гидродинамических условий, определяющих скорость массопереноса в газовой и жидкой фазах, так и от кинетики реакции окисления органических загрязнений озонороду. Соотношение этих факторов определяет режим и скорость процессов в целом, а следовательно, и методы его расчета.

Для производства озона разработаны различные типы оборудования как у нас в стране, так и за рубежом.

В настоящее время в России и Украине применяют Рубчатые генераторы озона различной конструкции.

Таблица 1

Параметр	Тип генератора озона	
	В-085-18-1-Л-01	В-24-25-1-Л-01
Производительность по озону, кг/ч	0,045	1,6
Мощность, кВт	0,8	25
Концентрация озона в озонородуговой смеси, г/м ³	До 20	До 20
Расход воздуха, м ³ /ч	6	120
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	0,2	8
Частота тока, Гц	50	50
Напряжение, В	220	380
Габариты, мм	690*750*1870	1800*1300*3000
Масса, кг	340	3625

Генераторы типа ОП изготавливаются Курганским заводом химического машиностроения, а озонаторы «Озон-2м» - Дзержинским филиалом НИИХиммаша (табл.1). Все эти озонаторы работают при частоте тока 50 Гц.

В России ведутся интенсивные разработки перспективных типов генераторов озона. В НПО «Дзержинскхиммаш» разработаны конструкции генераторов, обеспечивающих подачу озона с единицы установленного оборудования до 30 кг/ч. в комплект поставки озонаторного модуля входит блок компримирования атмосферного воздуха, блок очистки и осушки сжатого воздуха, генератор озона, агрегат электропитания, дегазатор, система автоматического контроля и управления. В настоящее время НПО «Дзержинскхиммаш» выпускает генераторы озона и озонаторные модули (табл. 2,3).

На химическом факультете МГУ разработаны высоко-1 качественные озонаторы с металлическими эмалированными электродами. Озонаторы отличаются простотой конструкции, высокой производительностью, экономичностью.

Таблица 2

Параметр	Тип озонаторных модулей		
	В-175-165-1-Л-01	В-125-320-1-Л-01	В-250-630-1-Л-01
Производительность по озону, кг/ч	7,5	15	30
Концентрация озона г озонородушной сме си, г/м ³	20	20	20
Потребляемая мощность, кВт, не более: Генератором Модулем	160 180	320 443	630 870
Давление в генераторе. мПа	0,16	0,07	0,06
Расход воздуха, м ³ /ч	380	750	1500
Частота тока, Гц	50	50	50
Напряжение, В	380	380	380
Занимаемая площадь, м	110	220	300

Таблица 3

Параметр	Тип генератора	
	Labo 70	Labo 70
Производительность по озону, г/ч	9,5	9
Габариты, м	0,4x0,85x0,65	0,4x0,65x0,85
Масса, кг	75	80
Частота, Гц	50-60	50-60
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	0,04	0,04

Разработана техническая документация на одно-, трех-, семи- и тринадцати - трубные озонаторы.

Установлено, что состав эмалей в значительной степени влияет на электросинтез озона. Наибольшая производительность получена при использовании эмалей марки 1513Ц УЭС-200. Введение в состав эмали окиси титана позволяет повысить производительность озонатора; уменьшение толщины слоя эмали также влияет на увеличение выхода озона.

Небольшое количество выпускаемых озонаторов приводит к наличию дефицита этого оборудования у нас в стране. Особую остроту эта проблема принимает при проектировании блоков озонирования станций аэрации большой производительности (более 0,5 млн. м³/сут). Для решения этой проблемы Московским НПО "Потенциал" разрабатывается высококачественный генератор озона производительностью 60 кг/ч.

Одним из крупнейших производителей современного озонаторного оборудования является французская фирма "Trailgaz". Фирма выпускает генераторы озона различной производительности. Для лабораторных исследований могут быть использованы генераторы типа "labo" (табл. 3), для станций дезинфекции сточных вод малой и средней производительности - генераторы "Ozobloc", "Monozone", "Monobloc" (табл. 4).

Фирма производит и более мощные генераторы, работающие на частоте 600 Гц с напряжением до 20 кВ. Представителем указанных генераторов является "Topozone" производительностью 30 кг/ч озона, установленный на водопроводной станции "Neuilli-Sur-Marna" (Франция).

В США разработаны две установки производительностью до 400 т/сут. озона и одна производительностью 1 т/сут. озона с изотопным источником излучения. Установки состоят из станции выделения кислорода из воздуха, реактора и системы выделения и очистки озона. Эти установки экономичны лишь при условии использования в качестве источника энергии ядерного реактора тепловой мощностью в несколько сотен мегаватт.

Налажен выпуск оборудования для озонирования сточных вод и в бывших социалистических странах. Представляют интерес генераторы озона производительностью 0,15-5500 г/ч, изготовляемый Институтом прецизионной механики в Польше.

На Херсонском хлопчатобумажном комбинате построена промышленная установка по обесцвечиванию озонном концентрированных сточных вод пряжекрасильного производства.

Эффект обесцвечивания озоном концентрированных сточных вод, содержащих растворимые классы синтетических красителей, составляет 80 % при дозах озона 60-280г/м³ или удельных расходах озона 0,3-0,97 г/г красителя в зависимости от режима крашения.

В технологической схеме обеспечивается эффективное снижение концентрации ПАВ для воды с содержанием АПАВ не более 30-40 мг/л при прямоточном движении фаз без использования орошения и пеногасителя с интенсивностью подачи озоновоздушной смеси 15-18 м³/(м³·ч); для воды с содержанием АПАВ более 40 мг/л и в пределах до 150-200 мг/л НПАВ при противоточном движении фаз с применением одновременно пеногасителя и орошения и интенсивности подачи озоновоздушной смеси 10-11 м³/(м³·ч).

Установлено, что продуктами деструкции гидрофобной части молекул СПАВ озоном являются низкомолекулярные спирты, ацетон, жирные низкомолекулярные кислоты. В результате возрастает отношение БПК/ХПК для озонированной воды в 2-9 раз в зависимости от типа СПАВ.

Исследования по применению озона для очистки сточных вод трикотажных фабрик, проведенные авторами, показали полное обесцвечивание растворов при продолжительности озонирования 5-20 мин, ХПК в среднем снижалось на 70%, концентрации НПАВ и АПАВ более чем на 90%. Вещества, придающие окраску, легко окисляются озоном, что приводит к обесцвечиванию воды. Обработанная вода была совершенно прозрачна.

Таблица 4

Параметр	Тип генератора												
	Мощность, кВт	Ozobloc			Monozone				Monobloc				
		OC4 10	OC4 20	OC4 30	MC4 90	MC4 180	MC4 250	MC 43 90	MC4 600	MC 48 40	MC 41 120	MC 4 400	MC4 720
Максимальная производительность по озону, м ³ /ч	50	18	36	72	150	300	450	700	1000	1500	2000	2500	3000
	60	21	42	85	190	330	540	840	1300	1800	2400	3000	3700
Расход воздуха, м ³ /ч	50	3	5	7	16	26	36	52	75	100	130	160	190
	60	3	5	7	17	31	42	65	86	115	152	185	232
Расход охлаждающей воды, З/ч	50	0,1	0,2	0,4	0,9	1,8	2,5	3,9	6,5	9	12,5	15	20
	60	0,12	0,25	0,5	1,1	2,2	3	4,7	8,6	11,5	15,2	18,5	23,2

Таблица 5

Параметр	Тип озонатора - Improz								
	mini	4	labor	50MF	300MF	750	1500	2MF	5,5MF
Производительность по озону, г/ч	0,12-0,15	4	10	50	300	750	1500	2000	5500
Концентрация озона в озоновоздушной смеси, г/м ³	-	12-20	12-20	12-20	12-20	12-20	12-20	12-20	12-20
Частота, Гц	5000	50	50	600	600	50	50	600	600

Параметр	Тип озонатора - Imroz								
	mini	4	labor	50MF	300MF	750	1500	2MF	5,5MF
Напряжение, кВ	9,2	6-10	16-20	10-16	10-16	16-20	16-20	10-16	10-16
Давление в генераторе, МПа	0,02	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	Охлаждается воздухом	Охлаждается воздухом	0,1-0,2	0,40,6	1,5	2	5	5	10-15
Габариты, мм	170х 80х 80	230х 320х 600	158х 650х 400	700х 600х 2100	2100х 600х 2100	3500х 3300 х 1500	2100х 2950 х 1200	400х 2200 х 3000	3400х 7500 х 1800
Масса, кг	5,5	12	60	300	500	2800	3200	2000	3000
Степень регулировки производительности, %	0	50	0-100	0-100	0-100	80	80	100	100

Снижение дозы озона возможно с применением катализатора, в качестве которого применялось волокно, выпускаемое Мытищинским комбинатом химического волокна. Однако предварительная обработка воды волокном в течение 3-4 ч с последующим озонированием показала некоторое увеличение расхода озона при значительном уменьшении времени озонирования, что свидетельствует о наличии в воде дополнительных веществ органического характера, внесенных волокном. Следовательно, необходимо продолжение поисков катализатора, способного значительно снизить расход озона при улучшении всех показателей обрабатываемой воды.

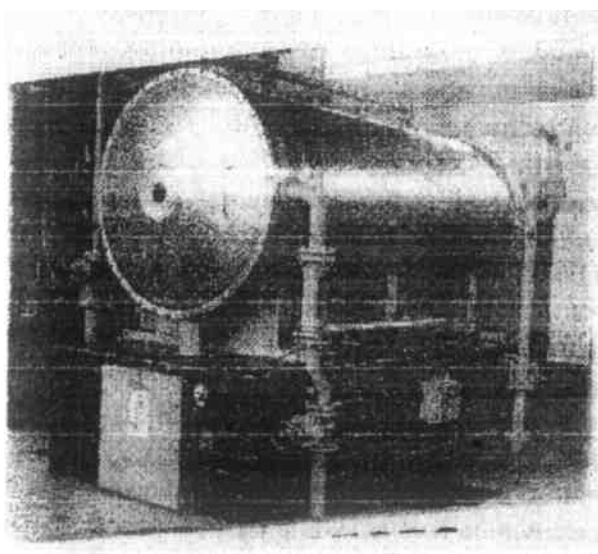


Рисунок 3. Озонатор типа «Imroz» фирмы «Troilligaz» (Франция).

ООО «Озония», созданное в Нижнем Новгороде как российско-швейцарское предприятие. Осуществляет совместное производство высокотехнологичного озонаторного оборудования, а также его сервисное обслуживание. Более двух тысяч установок фирмы «Озония» во всем мире генерируют 70 тыс кг/сут озона, качество оборудования фирмы подтверждено сертификатами ISO 9001 и Госстандарта России.

С сентября 1997 г. успешно работает установка «Озония» производительностью 90 кг/ч озона на водопроводной станции «Малиновая Гряда» в Нижнем Новгороде. Эта озонаторная установка спроектирована для обработки до 280 тыс. м³/сут воды и является одной из самых современных и эффективных не только в России, но и в мире. Горожане и специалисты органов Госсанэпиднадзора и МУЛ «Водоканал» отметили существенное улучшение качества питьевой воды, поступающей к потребителям с водопроводной станции «Малиновая Гряда» после пуска озонаторной установки. Положительный эффект от применения озона стал заметнее в последнее время в условиях дефицита традиционных химических реагентов для обработки воды. Пущены озонаторные на Слудинской водопроводной станции (40 кг/ч озона, 125 тыс. м³/сут воды), после чего 600 тыс. жителей Нагорной части Нижнего Новгорода получают питьевую воду, обработанную озоном. Пущена установка мощностью 60 кг/ч озона на водопроводной станции в Перми.

В России используются также генераторы «Озония» малой производительности (от 50 до 200 г/ч): на пивоваренном заводе «Вена» в С. Петербурге, в составе пилотных установок, эксплуатируемых на сооружениях Водоканалов Москвы, Самары и Перми.

Поколения оборудования, выпускаемого фирмой «Озония», сменялись вследствие разработки и промышленного внедрения новых, более экономичных и эффективных технологий. Оборудование первого поколения синтезировало озон в осушенном воздухе с использованием переменного тока высокого напряжения с частотой 50 Гц. Электропитание второго поколения генераторов озона током средней частоты (500-1000 Гц) позволило снизить удельные энергозатраты на производство озона и уменьшить габариты оборудования. Использование в качестве питающего газа кислорода повысило технико-экономические характеристики оборудования третьего поколения и обеспечило достижение более высоких концентраций озона в газе на выходе. Разработка фирмой «Озония» принципиально новых диэлектрических разрядных модулей, изготавливаемых по передовой АТ-технологии, явилась наиболее существенным практическим достижением последнего десятилетия в области генерирования озона и послужила основой для выпуска четвертого поколения озонаторного оборудования.

Новая технология позволяет получать озон в широком диапазоне концентрации, обеспечивает гибкость управления и значительно повышает энергетическую эффективность синтеза озона. Это подтверждено как результатами длительных испытаний, так и использованием АТ-диэлектриков в промышленных установках большой производительности.

Основными особенностями не стеклянных диэлектрических модулей, изготовленных по АТ-технологии являются: высокая прочность и долговечность, что позволяет фирме предоставлять пятилетнюю гарантию на диэлектрики;

оптимизированные характеристики и широкие пределы регулирования производительности генераторов; пониженное напряжение разряда и повышенный КПД. универсальность использования при питании генераторов воздухом или кислородом; возможность синтеза озона с концентрацией до 18 % по весу.

Генераторы четвертого поколения на АТ-диэлектриках потребляют (по сравнению с предыдущими) на 25-60 % меньше энергии при той же концентрации синтезируемого озона, или позволяют удвоить концентрацию озона при опоставимых энергозатратах АТ-генераторы примерно вдвое меньше по габаритам и массе, не требуют регулярной чистки и обслуживания. Внедрение АТ-технологии привело к качественному изменению и пересмотру традиционных подходов к конструированию озонаторных систем, существенному снижению стоимости оборудования и эксплуатационных затрат.

Фирма «Озония» производит следующие типы озонаторного оборудования:

-мощные генераторы озона единичной производительностью от 3 до 200 кг/ч озона;

-компактные генераторы озона OZAT® производительностью от 2 г/ч до 10 кг/ч озона;

-электролитические генераторы озона MEMBREL® производительностью от 3 до 9 г/ч озона.

Генераторы озона, как правило, являются составной частью целого комплекса оборудования, предназначенного для решения прикладных задач заказчиков, поэтому фирма «Озония» поставляет все необходимое для комплектования установки вспомогательное оборудование: устройства подготовки воздуха или кислорода (PSA. VSA); системы контакта озона с обрабатываемой средой (инжекторы, диффузоры, смесители); деструкторы озона (термальные или каталитические); подсистемы охлаждающей воды; системы управления и мониторинга; КИП.



Рис. 4. Генераторы озона единичной производительностью 48 кг/ч

Мобильные контейнерные установки фирмы «Озония» производительностью до 1,25 кг/ч могут быть использованы для проведения пилотных исследований на месте у заказчика. Параметры установок изменяются в широких пределах для оптимизации и решения специфических проблем. Контейнерные установки могут использоваться как в непрерывных технологических процессах, так и в периодических технологиях обработки.

Мощные генераторы озона. Фирма «Озония» поставляет озонаторные установки большой производительности по спецификациям заказчиков на базе модульного ряда стандартизированных блоков (генераторов озона, блоков питания, систем управления и приборов). Это позволяет достичь наивысших технико-экономических показателей Установок по приемлемым ценам.

Горизонтальное напольное исполнение генераторов (рис. 4) обеспечивает визуальный контроль функционирования через смотровое окно и удобство доступа к отдельным элементам. Генератор озона подключен к собственному блоку питания, который управляет 3 процессом синтеза озона в соответствии с требуемыми объемом и концентрацией.

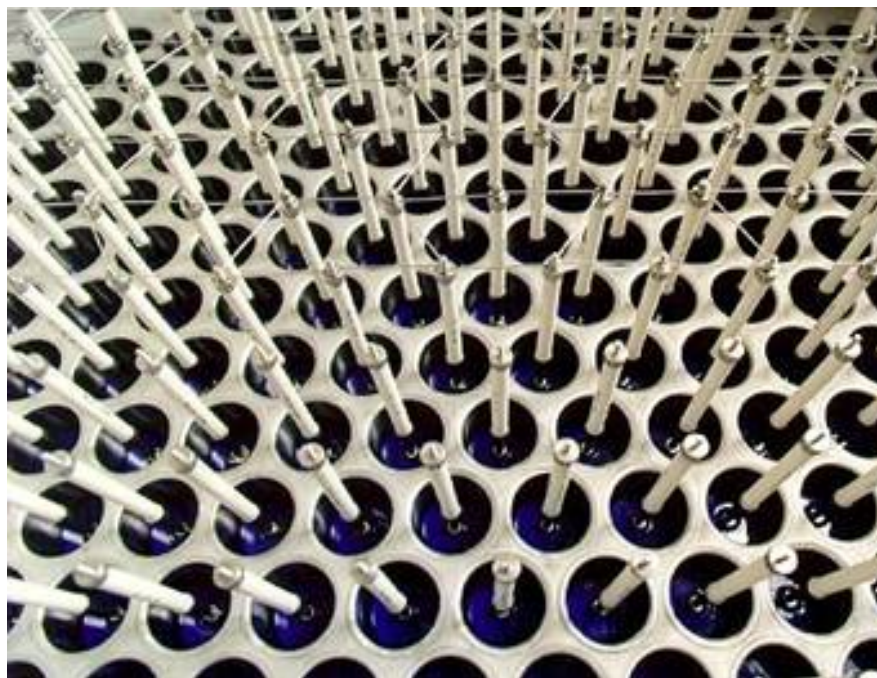


Рис. 5 Встроенные предохранители генератора озона большой производительности

Каждый высоковольтный электрод генератора снабжен отдельным предохранителем (рис. 5), который позволяет автоматически отсечь неисправный электрод и обеспечить бесперебойную работу всего генератора озона. Аварии энергоснабжения, ошибки персонала, внезапный отказ отдельных узлов и отклонения в качестве подаваемого газа не приводят к полному отказу установки. Синтез озона продолжается и после отсечки части электродов генератора, что позволяет продолжать эксплуатацию установки до планового технического обслуживания.

Компактные генераторы озона OZAT[®] разработаны и пускаются для использования в системах с относительно не большой потребностью в озоне. До

недавнего времени многие потенциальные потребители испытывали трудности использовании озона из-за отсутствия надежных и не дорогих генераторов. Они либо обращались к дешевым, менее эффективным технологиям без использования озона, либо оставляли свои проблемы нерешенными. Новая серия генераторов фирмы «Озония», в которых использованы технические решения, апробированные в больших промышленных установках, дает потребителям возможность экономичного получения озона в небольших объемах.

Компактные генераторы, разделенные внутри на два отсека - для электрооборудования и механических компонентов, представляют собой функционально законченные устройства. Для работы генератора OZAT[®] необходимо подать на разъемы, расположенные на корпусе, сетевое напряжение, питающий газ и охлаждающую воду. Технические характеристики компактных генераторов приведены в таблице, внешний вид одного из них - генератора OZAT[®] CFS-3 показан на рис. 6.

Генераторы серии CFS для работы на воздухе или кислороде - это младшая серия генераторов озона OZAT[®]. Они обеспечивают гибкость применения для синтеза озона из воздуха или кислорода, имеют встроенную систему осушки воздуха, применяются в тех случаях, когда кислород не может быть использован в технологическом процессе и, соответственно, для синтеза озона. Генераторы серии CF предназначены для работы на кислороде.

Генераторы OZAT[®] серии CFL для работы на воздухе и кислороде обладают наибольшей производительностью в классе компактных генераторов OZAT[®] и построены на технических решениях, использованных в младшей серии CFS.

Генераторы озона малой производительности серии TOG производительностью от 1 до 13 г/ч могут работать на кислороде, осушенном или атмосферном воздухе, предназначены для работы под давлением или в бескомпрессорных установках, при разрежении. Ряд исполнений генераторов включает встроенную систему осушки воздуха, кислородный концентратор, компрессор.

Таблица 6

Тип генератора	Производительность, г/ч		Потребление энергии, кВА	Габариты, мм	Масса, кг
	на кислороде	на воздухе			
TOG C2	8	1,8/3,6	0,1	330x280x185	7
TOG C8	8	-	0,1	295x550x115 0	25
TOG C13	13	-	0,1	295x550x115 0	35
CFS-1	80	40	0,76	860x380x480	55
CFS-2	160	80	1,4	860x380x480	60
CFS-3	250	120	2,15	860x380x480	65
CFS-6	500	240	4,3	860x380x620	100

Тип генератора	Производительность, г/ч		Потребление энергии, кВА	Габариты, мм	Масса, кг
	на кислороде	на воздухе			
CF-4	820	-	8,1	1400x600x2000	425
CF-5	1650	-	16	1900x900x2000	800
CF-6	2500	-	20	1900x900x2000	855
CFA-4	-	400	7,8	1900x600x2000	550
CFA-5	-	800	15	2000x900x2000	900
CFA-6	-	1200	21	2000x900x2000	1000
CFL-5	5000	2100	63	1700x1200x2000	1200
CFL-10	10000	4300	127	2250x1410x2000	2400

Озон часто применяется для решения типовых задач, не требующих специальной инженерной проработки комплекса озонаторного оборудования – например, для обработки непрерывного потока при бутировании воды, в промышленности и т.п. Фирма «Озония» предлагает функционально законченные комплекты, включающие помимо генератора озона типовой набор вспомогательного оборудования (инжекторы, насосы и т. п.). Такие комплекты, требующие минимальных монтажных и пусконаладочных работ, предназначены для квалифицированных клиентов и фирм, использующих озон в проектируемых системах.

Блоки UVAZONE для плавательных бассейнов.

Традиционные системы хлорирования воды, используемые в плавательных бассейнах, не позволяют обеспечить надежную защиту посетителей от некоторых типов вирусов и трансформируют загрязняющие воду вещества в опасные хлорорганические соединения. Качество циркулирующей в бассейне воды со временем ухудшается и ее необходимо часто менять.

Фирма «Озония» поставляет блоки серии UVAZONE, реализующие методы обработки воды озоном и ультрафиолетовым излучением, позволяющие существенно улучшить качество воды и увеличить в несколько раз интервал ее замены в бассейнах. В состав блока входят кислородный концентратор, генератор озона, инжектор, насос, реактор, ультрафиолетовый облучатель, вентозондеструктор. Модельный ряд включает шесть блоков для пользования в бассейнах объемом от 150 до 1500м³.



Рис. 6. Компактный генератор озона OZAT[®] CFS-3.

Электролитические генераторы озона MEMBREL[®].

Для некоторых специальных случаев озон можно синтезировать из дистиллированной воды. Вода электролитически разлагается на ионообменной мембране, а синтезируемый озон растворяется в воде. Основные преимущества синтеза озона электролитическими системами: отсутствие ионного загрязнения; исключение внешнего загрязнения обрабатываемой среды; озон растворяется в воде непосредственно в момент синтеза.

Эти преимущества делают генераторы MEMBREL[®] особенно подходящими для систем сверхчистой воды, независимо от области применения

Выпускаемые электролитические генераторы озона имеют производительность 3,6 и 9 г/ч.

Вспомогательное оборудование оказывает сильное влияние на технико-экономические показатели и надежность работы озонаторной установки в целом. При проектировании и поставке установок фирма «Озония» уделяет особое внимание вопросам качества всех компонентов и аппаратов.

Устройства подготовки воздуха. Воздух, используется как питающий газ для синтеза озона, должен обладать высокой степенью очистки. Атмосферный воздух необходимо подвергнуть тщательной обработке до подачи в генератор озона. Устройства подготовки воздуха обеспечивают удаление частиц пыли, сжатие воздуха до требуемого рабочего давления и осушение воздуха, для того чтобы остаточная влажность соответствовала атмосферной точке росы менее минус 60°С. Подготовка воздуха в соответствии с вышеуказанными требованиями чрезвычайно важна для надежного и эффективного синтеза озона. В зависимости от параметров генератора озона устройства подготовки воздуха проектируются для работы при низком или среднем давлении и могут содержать компрессоры, после-охладители, осушители, фильтры и регенерируемые адсорберы – влагопоглотители.

Системы контакта озона с обрабатываемой средой. Озоносодержащий газ вводится в контактную систему, где он смешивается с обрабатываемой средой. Фирма «Озония» предлагает несколько методов смешения озона, использующих различные технические решения: пористые или радиально-статические диффузоры; встроенные инжекторы и статические смесители.

Деструкторы озона. Остаточный озон в газе, отсасываемом из контактной камеры, должен быть разрушен до выброса в атмосферу. Для этих целей используются каталитические или термальные системы. В каталитических системах отсасываемый газ проходит через слой катализатора, где происходит разложение озона с образованием кислорода. В термальной системе озон разлагается под воздействием высокой температуры.

Системы управления. Фирма «Озония» предлагает системы для полного контроля технологических процессов и мониторинга озонаторной установки. Озонаторные установки, поставляемые фирмой «Озония», работают в автоматическом режиме и не требуют постоянного присутствия производственного персонала. Системы Управления автоматически запоминают все основные параметры установки и могут быть интегрированы в центральную систему управления заказчика.

Нижегородским архитектурно-строительным институтом разработаны компактные высокочастотные установки синтеза озона производительностью до 1000 г/ч. Техническая характеристика представлена в табл. 8.

Таблица 7

Показатели	Производительность установок синтеза озона, г/ч			
	до 100	до 200	до 500	до 1000
Концентрация O ₂ в воздушной смеси, г/м ³	>20	>20	>20	>20
Габариты шкафа управления, ВхLхН, мм	400х 1000х 1400	400х 1200х 1500	500х 1400х 1600	600х 1600х 1600
Диаметр озонатора, мм	200	260	380	540
Расход охлаждающей жидкости, м ³ /ч	0,15	0,3	0,5	0,8
Расход электроэнергии, кВт ч	До 1,5	До 3	До 6	До 13
Питающая сеть: В	220/380	220/380	220/380	220/380
Гц	50	50	50	50
Рабочая частота, Гц	500	500	500	500

Установка синтеза озона представляет собой единый моноблок, включающий высокочастотный генератор озона, устройство воздухоподготовки с системой запорно-регулирующей, регистрирующей и переключающей арматуры и блок энергообеспечения с автоматической системой управления. Устройство воздухоподготовки с арматурой и система управления установкой расположены в двух секционном шкафу. Устройство воздухоподготовки с арматурой размещается в левой части шкафа. В правой части размещаются пять блоков, блок трехфазного выпрямителя и инверторного преобразователя частоты со схемой управления; блок аппаратуры контроля и управления (выведен на переднюю панель шкафа); блок фильтров LC для сглаживания пульсация постоянного тока; блок повышающего трансформатора; блок автоматического управления работой электромагнитными клапанами.

Известно, что для эффективного синтеза озона воздух должен подвергаться глубокой осушке. Осушка необходима для достижения следующих целей:

- повышения производительности озонатора, так как производительность источника тлеющего разряда (генератора озона) обратно пропорциональна содержанию водяных паров. Отечественные и зарубежные данные показали, что точка росы -40°C обеспечивает производительность генераторов озона, близкую к максимальной, а -50°C гарантируют достижение этого максимума;

- повышения диэлектрической прочности диэлектриков; наличие водяных паров приводит к искрению разряда и возникновению дуги, что помимо ухудшения конечного продукта снижает прочность диэлектриков и вызывает их разрушение;

- поддержания в хорошем состоянии котла-озонатора.

Традиционно для осушки влажного воздуха применяют два основных метода, глубокое охлаждение и использование пористых адсорбентов. В связи с тем, что метод глубокого охлаждения имеет существенные недостатки (большая стоимость хладагентов и эксплуатационных расходов), в состав оборудования должно входить удвоенное количество теплообменников или испарителей, чтобы производить периодическое размораживание. Для размораживания также необходимо оборудование и сложная аппаратура по управлению и регулированию мощности охлаждения.

Применение адсорбентов обеспечивает получение хороших результатов по осушке воздуха. Длительный период эксплуатации адсорберов на различных водопроводных станциях показал, что они надежны и безопасны в работе. Однако и этот процесс не лишен недостатков: большой удельный расход энергии, отнесенный к количеству воды, поглощенной за время цикла, во время регенерации $-2-6$ Вт. ч/г влаги; наблюдается изменение адсорбционной способности гелей с изменением температуры поступающего воздуха.

Установлено, что адсорбционная способность сорбентов тем ниже, чем выше температура и влажность. В случае использования силикагеля она составляет 20% при $5...10^{\circ}\text{C}$ и 8 - 10 % при 25°C в зависимости от абсолютной влажности.

Многолетний опыт эксплуатации устройств технологий воздухоподготовки на озонаторных станциях в нашей стране и за рубежом показал, что наиболее рациональное решение состоит в том, что процессу адсорбции должна предшествовать предварительная обработка воздуха. Это повышает производительность адсорберов и увеличивает степень осушки воздуха.

В установке синтеза озона применен трехступенчатый компактный воздухоосушитель конструкции НАСИ.

Конструкция аппаратов синтеза озона осуществляется в следующих направлениях: улучшение разрядных характеристик за счет создания оптимальных температур в зоне разряда. К этому направлению следует отнести конструкции с различными видами охлаждаемых внутренних электродов; создание оптимальных разрядных зон за счет перемещения электродов относительно друг друга; создание алгоритмов, работающих на повышенной частоте.

На рис.7 схематично изображен высокочастотный генератор озона с внутренним охлажденным электродом. Генератор содержит корпус 1, высоковольтный электрод, выполненный в виде вихревой трубы 2 с сопловым вводом 3 и трубопроводом отвода горячего воздуха 4. Вихревая труба 2 снабжена газонаправляющим кожухом 5 и коаксиально размещена в полости низковольтного цилиндрического электрода 6; область высокого давления вихревой трубы 2 соединена с патрубком провода сжатого осушенного газа 7, а область низкого давления через патрубки холодного воздуха 8 с газонаправляющим кожухом 5. Генератор озона содержит также разрядную камеру 9, патрубок отвода озонозодушной смеси 10, патрубки подвода и отвода охлаждающей жидкости, соответственно 11 и 12, устройство подачи высокого напряжения 13. Корпус 1 выполнен с охлаждающей рубашкой 14.

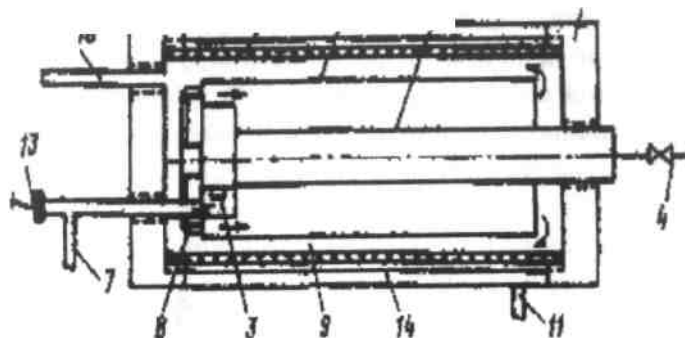


Рис. 7. Высокочастотный генератор озона

Устройство работает следующим образом. Сжатый газ через патрубок 7 и сопловый ввод 3 попадает в вихревую трубу 2, где за счет интенсивности закрутки происходит охлаждение газозодушной смеси. Далее холодный газовый поток через патрубки 8 поступает в газонаправляющий кожух 5, находящийся под высоким напряжением, и, охлаждая как вихревую трубу 2, так и сам газонаправляющий кожух 5, попадает в разрядную камеру 9, где под действием электрического коронного разряда происходит синтез озона. Теплоту, выделяемую в результате синтеза озона, отводят с охлаждающей жидкостью, подаваемой в камеру охлаждающей воды 14 через патрубок 11 и отводимой через патрубок 12. Горячий газозодушный поток отводится от генератора озона через трубопровод 4 и используется для регенерации адсорбентов, которые применяются в системе воздухоподготовки.

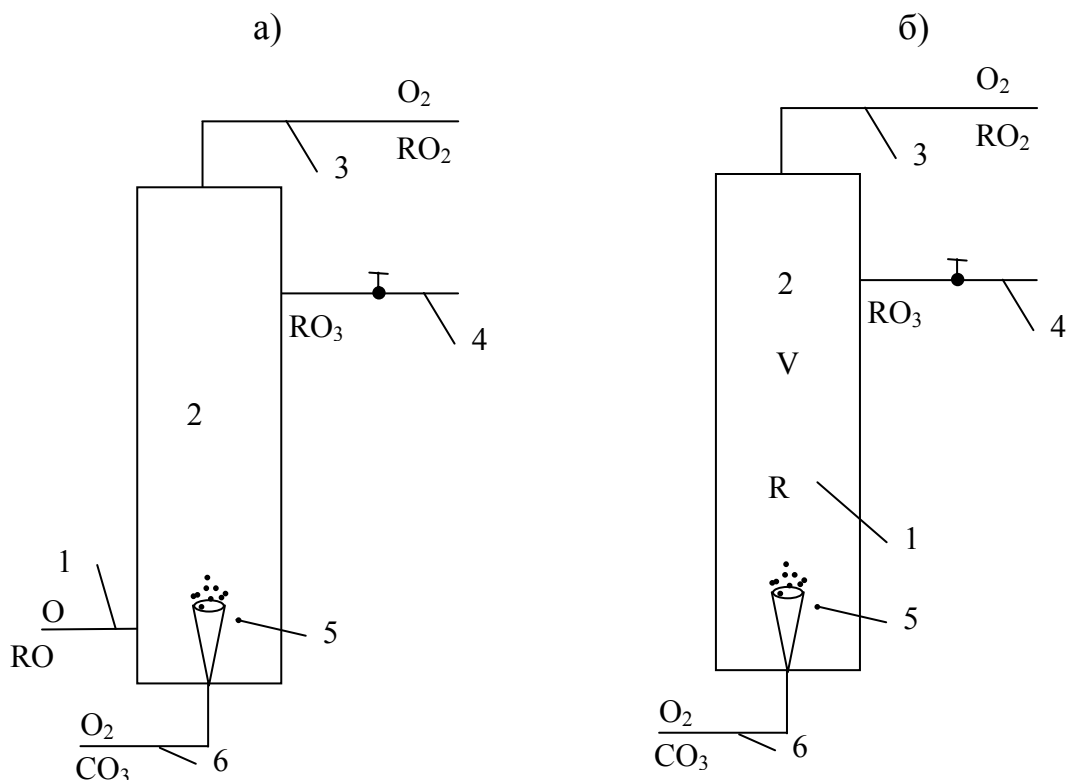
Выпускаются промышленные образцы генераторов озона круглой и прямоугольной формы производительностью 200 г/ч, а также высоковольтный трансформатор для установки синтеза озона производительностью 1000 г/ч.

Механизм бактерицидного действия озона объясняется его влиянием на обмен веществ в живой клетке, при котором нарушается равновесие превращения активной сульфидной группы в неактивные дисульфидные формы [38]. Озон очень эффективен при обеззараживании спор, патогенных микроорганизмов и вирусов.

Из-за своих высоких окислительных свойств озон действует как окислитель на элементы стенки клетки до проникновения внутрь микроорганизма и окисления определенных важных компонент (протеины ферментов, ДНК, РНК). Когда большая часть мембраны разрушена, клетка погибает. Если мембрана разрушена частично, она может соединиться с другой клеткой, что объясняет наблюдаемые иногда сублетальные повреждения.

Поскольку реакции озона с загрязнениями, встречающимися в природных и сточных водах, непредсказуемы и недостаточно изучены, необходимым этапом в разработке технологии озонирования является проведение предварительных технологических исследований. В отличие от хлорирования сточных вод, когда для определения необходимой дозы вводимого хлора достаточно установить величину хлоро-поглощаемости воды в лабораторных условиях, исследования по озонированию должны проводиться на представительной опытной установке, которая наиболее полно воспроизводит проведение процесса в реальных условиях очистных сооружений. Основные принципы и методология проведения исследований описаны в [39-42].

Принципиальная схема процесса озонирования в статических («на контакте») и динамических («на потоке») условиях показана на рис. 8, из которого видно, при всей схожести статического и динамического методов моделирования имеется существенная разница в определении основных параметров процесса.



$$\begin{aligned}
 G &= G_O + G_R + G_B & G &= G_O + G_R + G_B \\
 G &= [CO_3] Q_B & G &= [CO_3] Q_B T_K \\
 G_O &= RO \cdot Q & G_O &= RO \cdot V \\
 G_R &= [RO_3] \cdot Q_B & G_R &= [RO_3] \cdot V \\
 Q_B [CO_3] &= RO \cdot Q + RO_3 \cdot Q + [RO_3] \cdot Q_B & Q_B &= [RO_3] = Q \cdot T_K \\
 \eta &= \frac{G - G_B}{G} = 1 - \frac{G_B}{G} = 1 - \frac{[RO_3]}{[CO_3]} & Q_B &= [CO_3] \cdot T_K = RO \cdot V \cdot RO_3 \cdot V + [RO_3] \cdot Q_B T_K \\
 \frac{[CO_3] \cdot Q_B \eta}{Q} &= RO + RO_3 & \eta &= \frac{G - G_B}{G} = 1 - \frac{G_B}{G} = 1 - \frac{[RO_3]}{[CO_3]} \\
 D_{O_3} &= \frac{[CO_3] Q_B}{Q} = \frac{RO + RO_3}{\eta} & \frac{T_K [CO_3] \cdot Q_B \eta}{V} &= RO + RO_3 \\
 RO &= \eta D_{O_3} - RO_3 & D_{O_3} &= \frac{T_K [CO_3] Q_B}{V} = \frac{RO + RO_3}{\eta} \\
 & & RO &= \eta D_{O_3} - RO_3
 \end{aligned}$$

Рис. 8. Принципиальная схема процесса озонирования воды

а - динамический (квазистатический) режим, б - статический режим, 1, 4 - исходная и обработанная озоном вода; 2 - контактная камера; 3, 6 - исходная и отработанная озоно-воздушная смесь; 5 - пористый диффузор; G - количество введенного озона; G_O - количество озона, израсходованного на окисление загрязнений, G_R - количество остаточного озона в воде; G_B - количество остаточного озона в газовой смеси; Q - расход обрабатываемой воды, $m^3/ч$; V - объем обрабатываемой воды, $m^3/ч$; Q_B - расход озоно-воздушной смеси, $Нм^3/ч$; RO - озонопоглощаемость исходной воды, $мг/л$; $[CO_3]$ - концентрация озона в озоно-воздушной смеси после озонатора, $г/Нм^3$; $[RO_3]$ - концентрация озона в озоно-воздушной смеси после контактной камеры, $г/Нм^3$; η -КПД использования озона (КПИ); D_{O_3} - доза озона, $г/м^3$; T_K - время контакта озоно-воздушной смеси с водой, мин.

Характерной ошибкой при статическом моделировании является неточный учет времени контакта, которое определяется независимо от концентрации остаточного озона в газе $[RO_3]$. Поскольку в этом случае процесс насыщения воды озоном имеет интегральный характер, время контакта следует определять не по формуле $T_K = 60(V/Q)$, мин (Q измеряется в $m^3/ч$, V - в m^3), которая применяется в квазистатическом (динамическом) эксперименте, а как отрезок времени с начала подачи в обрабатываемую воду озоно-воздушной смеси из озонатора до появления измеряемых количеств озона в выходящей из контактной камеры отработанной озоно-воздушной смеси, т. е. в этом случае недопустим вариант $[RO_3] = 0$ ($\eta=1$). Кроме того, если при динамическом моделировании в установившемся квазистатическом режиме величина η не только характеризует степень полезного использования вводимого озона, но и позволяет сравнивать между собой различные конструкции контактных камер, то при статическом моделировании она показывает только количество растворенного и израсходованного на окисление загрязнений озона.

Таким образом, предпочтительным является вариант динамического (квазистатического) моделирования процесса озонирования воды. Используя основные принципы химико-технологического моделирования, можно определить некоторые требования к опытным установкам озонирования сточных вод: диаметр контактной камеры 50—150d (d — диаметр пузырьков озоно-

воздушной смеси); глубина слоя воды в контактной камере не менее 3 м (желательно, чтобы глубина воды равнялась глубине реальной контактной камеры); концентрация озono-воздушной смеси на входе контактной камеры 18-22 г/м³, что обеспечивает лучшие условия перехода озона из газовой в жидкую фазу.

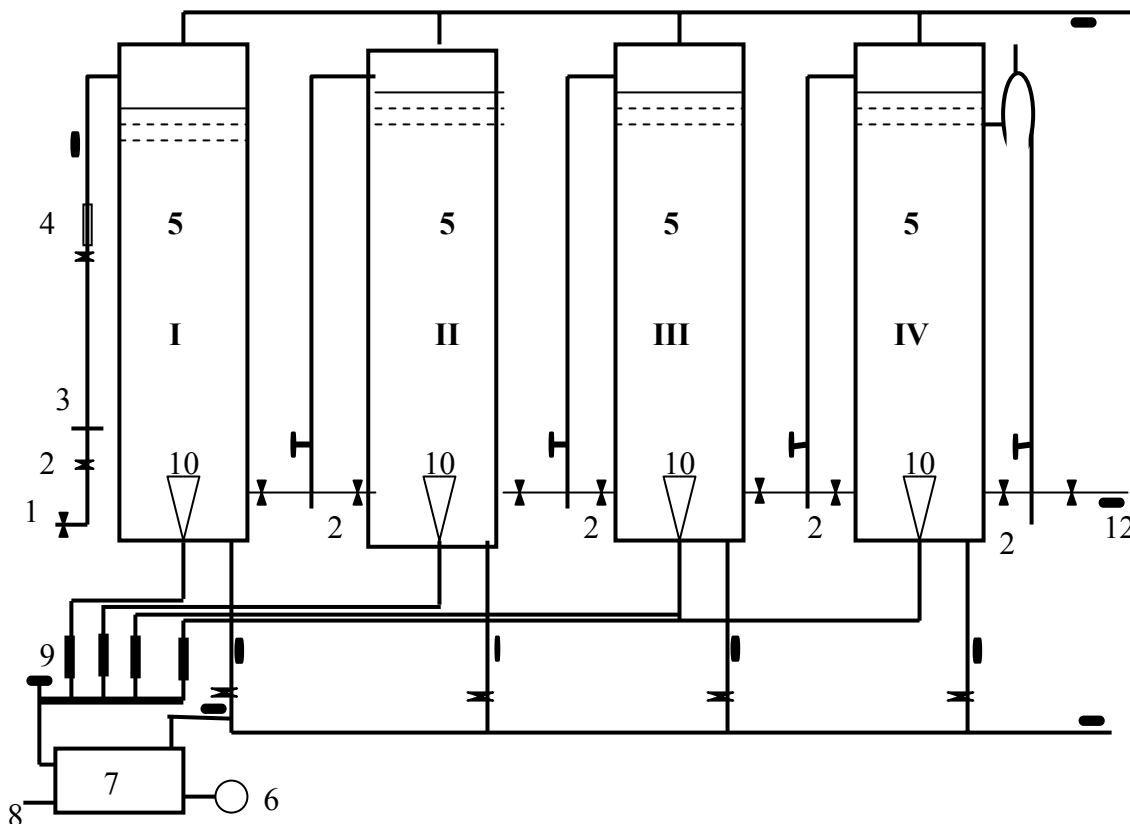


Рис. 9. Схема опытной установки

1 - подача исходной воды; 2 - пробоотборник; 3 - термометр; 4 - ротаметр; 5- контактная колонна; 6- компрессор; 7- озонатор; 8 - вода охлаждения озонатора; 9 - ротаметры озono-воздушной смеси; 10 -пористый диффузор; 11 - выброс отработанной озono-воздушной смеси; 12 - отвод обработанной воды; 13 - сброс в канализацию.

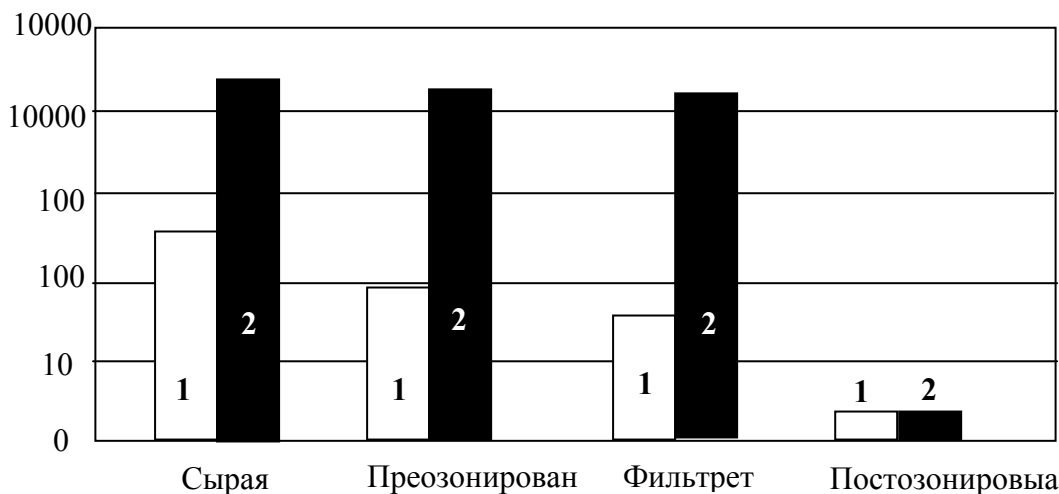


Рис. 10. Обеззараживание озонem воды Кронштадтской водопроводной станции
1-ОМЧ, кл/мл; 2- БГКП. кл/л

Опытная установка (рис.9) позволяет практически полностью моделировать процессы озонирования сточных вод, протекающие в реальных контактных камерах, в том числе и осуществлять распределение общего потока озон-воздушной смеси по отдельным колоннам (секциям контактной камеры), а также регулировать направление потока жидкости по отношению к потоку газа (проведение процесса в попутном потоке или в противотоке), что имеет место в реальных условиях.

Результаты технологических исследований по озонированию воды на Кронштадтской водопроводной станции приведены на рис.10 и в табл.8. Технико-экономический анализ полученных результатов показал, что в рассматриваемом случае экономически приемлемым является преозонирование сырой воды, что позволит повысить качество очищенной воды и снизить расход хлора на ее вторичное хлорирование. В 1994г. сооружения преозонирования были введены в постоянную эксплуатацию, которая в целом подтвердила результаты технологических исследований.

Таблица 8

Показатель	Преозонирование	Постоозонирование
Время контакта, мин	2,5-3,5	7-10
Озонопоглощаемость воды, мг/л	0,7-0,9	1-2,2
Остаточный растворенный озон, мг/л	0,1-0,2	0,8-1
КИИ озона	0,75-0,9	0,75-0,8
Доза вводимого озона, мг/л	1,9-2,4	3-4
Эффект снижения, %:		

Интерес к применению озона для обработки сточных вод возник в последние годы в связи с его потенциально меньшей опасностью для водоема-приемника, поскольку остаточный растворенный в воде озон полностью разлагается за 7-10 мин и, следовательно, в водоем не поступает. Как правило, использование озона для обработки сточных вод имеет двойную цель, обеспечить обеззараживание и улучшить качество очищенной воды

Основными показаниями к применению озона для обработки сточных вод являются: недопустимо высокое содержание хлора и необходимость дехлорирования; невозможность по каким-либо причинам использования хлора; необходимость одновременно с обеззараживанием улучшения качества воды; при образовании в результате хлорирования канцерогенных соединений. Применение озона позволяет одновременно с обеззараживанием сточных вод проводить их частичную доочистку, а также существенно снижать количество сбрасываемых в водоем канцерогенных хлорорганических соединений.

Исследования проводились на трех станциях аэрации - Центральной (ЦСА), Северной (ССА) и Кронштадтской (КрСА). Результаты исследования приведены в табл. 9

Таблица 9

Показатель	ЦСА	ССА	КрСА
Время контакта, мин	20	18	15
Озонопоглощаемость воды, мг/л	15,1	12,8	8,7
Остаточный растворенный озон, мг/л	0,8	0,8	0,9
КПИ озона	0,94	0,91	0,9
Доза вводимого озона, мг/л	16,9	15	10,7

На Кронштадтской станции аэрации дополнительно испытали насадочную фильтрационную контактную камеру (табл. 10), а также провели сравнительные исследования хлорирования и озонирования биологически очищенных сточных вод, результаты которых показаны в табл.11

Таблица 10

Показатель	Тип контактной камеры	
	барботажная	насадочная
Доза вводимого озона, мг/л	7,5-14,5	4,5-8
Остаточный растворенный озон, мг/л	0,9-1	0,2-0,4
КПИ озона	0,9-0,92	0,65-0,85
Время контакта, мин	15-18	20-40
Взвешенные вещества, мг/л	6,5-12	1,5-8
БПК5, мг/л	2,7-5	2,2-3
ХПК, мг/л	30-60	6-20
Индекс ЛКП, кл/л	22-730	20-600
Микробное число, кл/мл	1-30	1-20

Таблица 11

Показатель	После хлорирования	После озонирования
Технологический:		
Доза реагента: вводимого в воду, мг/л	4,5	16
остаточная в воде, мг/л	1,5	0,8
время контакта, мин	30	18
Микробиологический:		
Индекс ЛКП, кл/л	980	270
Микробное число, кл/мл	40	20
Энтерококки, кл/л	480	520
Колифаги, кл/л	2	4
Сальмонеллы, кл/л	0	0
Химический:		
Взвешенные вещества, мг/л	14,8	10,2
БПК5, мг/л	6,4	4,2
ХПК, мг/л	60	50

Хлорорганические соединения, мкг/л:		
хлороформ	ПО	13
четырёххлористый углерод	20	5
дихлорбромметан	1	Отсутствует
бенз(а)пирен	6	Следы

Как видно из полученных данных, при применении контактной камеры фильтрационного типа повышается эффективность очистки сточных вод по химическим показателям и в 1,5-2 раза снижается доза вводимого озона, а следовательно, и производительность озонаторной станции, но при этом уменьшается и величина КПИ озона.

Проведенные технологические исследования показали, что применение озона для обработки биологически очищенных сточных вод позволяет не только обеспечить их нормативное обеззараживание с одновременной доочисткой по основным нормируемым показателям, но и резко снизить поступление в водоемы галогенпроизводных, образующихся при хлорировании сточных вод. Эффективность обработки сточных вод озоном показана в табл. 12.

Таблица 12

Показатель	Эффект снижения, %
Бактериологический	
Индекс ЛКП	99,99
Микробное число	99,12
Энтерококки	99,78
Фекальные стрептококки	99,7
Бактериофаги	99,91
Сальмонеллы	100
Химический	
Взвешенные вещества	30-50
БПК5	5-25
ХПК	15-20
Окисляемость перманганатная	20-30
СПАВ и нефтепродукты	99
Нитриты	99
Железо и марганец	30-50

Исследовано влияние [45] катионов Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} и анионов SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- на антимикробное действие озона в воде в отношении тест-микроорганизма *Escherichia coli*. Установлено, что наличие катионов Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} и анионов SO_4^{2-} , Cl^- в воде в количестве, характерном для поверхностных вод Украины, не влияет на дезинфицирующее действие озона. Присутствие бикарбонат-ионов в воде $>61 \text{ мг/дм}^3$ (щелочность одного мг-экв/дм^3) приводит к удлинению латентной фазы, снижению скорости отмирания тест-микроорганизмов во второй медленной фазе и не влияет на скорость первой

быстрой фазы. Внесение в воду HCO_3^- ($\text{pH} > 8,8$) приводит к увеличению дозы поглощенного озона, необходимой для достижения определенной степени обеззараживания, что обусловлено его разложением в воде.

Доза вводимого хлора и время его контакта с обрабатываемой водой (табл. 14) регламентируются СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения», методическими указаниями и рекомендациями АКХ.

Хлор - наиболее дешевый из применяемых окислителей, но одновременно и самый слабый из них. Недостатком хлора является его способность вступать в реакции замещения с образованием хлорированных углеводородов. Так, при обеззараживании сточных вод жидким хлором на [43] Кронштадтской станции аэрации (КрСА) при обычных для станций такого типа параметрах проведения процесса (доза вводимого хлора $3,1 \pm 0,8$ мг/л, концентрация остаточного активного (хлора $1,45 \pm 0,14$ мг/л, время контакта 20 мин.) после хлорирования обнаружили хлороформ, четыреххлористый углерод, дихлорбромметан и бенз(а)пирен (табл. 15). При этом индекс ЛКП биологически очищенных сточных вод снижался с $4,5 \cdot 10^6$ до $(1-1,7) \cdot 10^4$ (табл.16) энтерококки, фекальные стрептококки, бактериофаги и сальмонеллы не обнаружены.

Как видно из полученных данных, для надежного нормативного обеззараживания сточных вод, согласно СанПиН 4630-88 «Санитарные нормы и правила охраны поверхностных вод от загрязнения», доза вводимого хлора должна составлять 9,5 мг/л против 3-5 мг/л, согласно СНиП 2 04.03-85, что подтверждается и данными других исследователей.

Таблица 13

Сточные воды	Доза хлора, мг/л	Остаточный хлор, мг/л, при времени контакта, мин.		
		15	30	60
Неочищенный сток	20-30	4-5	3-4	-
После механической очистки	10	34	1,5-3	
После механохимической или неполной биологической очистки	5	1,5-2	1,5	1
После полной биологической, физико-химической и глубокой очистки	3	1,5-2	1,5	1

Таблица 14

Показатель	Концентрация после хлорирования, мкг/л	ПДК или ОДУ в воде водоемов, мкг/л	Лимитирующий признак вредности	Класс опасности
Хлороформ	110	60	Санитарно-токсикологический	2
Четыреххлористый углерод	20	200	Органолептический	4
Дихлорбромметан	1	30	Санитарно-токсикологический	2
Бенз(а)пирен	6	0,0005	Санитарно-токсикологический	1

Таблица 15

Показатель	Значение показателя					Коэффициент вариации, %
	минимальное	среднее	максимальное	наиболее вероятное	95%-ной обеспеченности	
ОМЧ ₃₇ , кл/мл	5	33	120	31-87	48	22,8
ЛКП, кл/л	40	1,7-10 ³	9,5-10 ⁴	1,8*10 ⁶ - 4,8*10 ⁶	1,6*10 ⁸	33,5

Повышение в последние годы требований безопасности при транспортировке, хранении и применении жидкого хлора вызвало новый толчок к развитию и практическому применению для обеззараживания сточных вод гипохлорита натрия, получаемого на месте электролизом поваренной соли. При этом не следует забывать, что в процессе электролиза идет и образование хлорита натрия NaClO_2 и хлората натрия NaClO_3 . Поскольку их содержание в воде водоема нормируется СанПиН 4630-88 (табл.17), необходимо контролировать их наличие в рабочем растворе гипохлорита натрия и сбрасываемых сточных водах, а также учитывать при расчете ПДС сточных вод в водоем по соответствующим группам лимитирующих показателей вредности.

В последние годы на предприятиях ГУЛ «Водоканал Санкт-Петербурга» получили распространение новые модели электролизеров производительностью до 100 кг/ч по активному хлору, выпускаемые различными предприятиями. Сравнительные характеристики электролизеров различных фирм, имеющих на рынке С.Петербурга, приведены в табл.17. Так, с апреля 1996 г. установка ЭГН-100 ЗАО НПФ «Озон» производительностью 100 кг/сут активного хлора успешно эксплуатируется на канализационных очистных сооружениях пос. Понтонный Колпинского Водоканала, а установка НПК «Эколог» производительностью 200

кг/ч активного хлора с октября 1998 г. работает на Петродворцовых канализационных очистных сооружениях.

В качестве смесителей, как правило, используются водоизмерительные лотки Вентури и Паршалья, а в качестве контактных резервуаров обычно применяют вертикальные, ячеистые или горизонтальные отстойники. Расчет контактных резервуаров сводится к определению их объема $W_{рез}$, м³, и геометрических размеров при заданном времени контакта с хлором T_k (30-60 мин), причем в это время входит и время протока сточных вод по трубопроводу до оголовка выпуска:

где l - длина выпуска, м;

V - скорость протока сточных вод по трубопроводу выпуска, м/с.

Исследования по обеззараживанию биологически очищенных сточных вод озонированием проводились на трех станциях аэрации - Центральной (ЦСА), Северной (ССА) и Кронштадтской (КрСА). Результаты исследований приведены в табл.18.

В результате проведенных технологических исследований установлено, что применение озона для обработки биологически очищенных сточных вод позволяет не только обеспечить их нормативное обеззараживание с одновременной доочисткой по основным нормируемым показателям, но и резко снизить поступление в водоемы хлорирования галогенпроизводных, образующихся при сточных водах.

В 1978-1979 гг. совместно с НИИ ЭФА им. Д. В. Ефремова в ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» выполнили серию поисковых исследований по определению возможности применения ускорителей электронов ЛУЭ-5-2 и ЛУЭ-8-5 для обеззараживания биологически очищенных сточных вод Пушкинской станции аэрации. Нормативного обеззараживания удалось достигнуть при дозе облучения 70 кРад и мощности дозы облучения 25 кРад/с.

Таблица 16

Показатель	ПДК в воде водоемов, мг/л	Л имитирующий признак вредности	Класс опасности
Натрия хлорат $NaClO_3$	20	Органолептический, привкус	3
Натрия хлорит $NaClO_2$	0,2	Санитарно-токсикологический	3

Таблица 17

Предприятие	Расход на 1 кг активного хлора		Необходимость кислотной промывки	Характеристика	
	соли, кг	электроэнергии, кВт/ч		соли	воды
НПФ «Озон»	4	4,5	Есть	Любая	Любая
НПК «Эколог»	3,5	6,5	Нет		
Завод «Коммунальник»	6-7	5	Есть	Очищенная	Мягкая
«Синтез»	5-6	5			
НПФ «Юпитер»	5	5			

Таблица 18

Показатель	ЦСА	ССА	КрСА
Время контакта, мин	20	18	15
Озонопоглощаемость воды, мг/л	15,1	12,8	8,7
Остаточный растворенный озон, мг/л	0,8	0,8	0,9
КПИ озона	0,94	0,91	0,9
Доза вводимого озона, мг/л	16,9	15	10,7

Таблица 19

Способ обеззараживания	Укрупненные удельные затраты на обеззараживание сточных вод, р/м ³		
	капитальные	эксплуатационные	годовые приведенные
Хлорирование	6,5	0,74	1,52
Хлорирование с дехлорированием	6,94	0,92	1,75
Озонирование	15	7,48	9,74
Обработка ускоренными электронами	455,75	5,4	60,04
Обработка УФ-излучением (без учета замены источников излучения)	11	1,8	3,12

Исследования доказали принципиальную возможность использования линейных ускорителей электронов для обеззараживания биологически очищенных сточных вод, однако технико-экономическая оценка данного метода показала, что по годовым приведенным затратам он почти в 40 раз дороже обеззараживания жидким хлором, а удельные энергозатраты составили 250-300 Вт/м³ обрабатываемых сточных вод. Кроме того, при применении данного метода возможно образование побочных высокотоксичных химических соединений, а также весьма высока вероятность сублетальных повреждений бактериальных клеток, что может привести к появлению устойчивых штаммов микроорганизмов.

С учетом этих соображений дальнейшие работы по применению линейных ускорителей электронов для прямого обеззараживания сточных вод не проводились, хотя НИИ ЭФА активно работает в направлении использования ускорителей для получения озона, который предполагается внедрить в технологию очистки природных и сточных вод. Технико-экономическая оценка (в ценах 1991г.) методов обеззараживания сточных вод (табл.19) показывает, что наиболее экономичным методом является хлорирование.

Вместе с тем оценку стоимости обеззараживания нельзя проводить в отрыве от оценки экономического ущерба, наносимого водоприемнику сбросом сточных вод, содержащих активный хлор и галогенсодержащие вещества, образующиеся при хлорировании. Оценка социально-экономического ущерба, причиняемого Невской губе сбрасываемыми в нее сточными водами, выполненная в 1990г. по методике АН СССР (табл.20), показала, что при хлорировании сточных вод С.-Петербурга ущерб от их сброса мог бы составить 4,43 млрд.р. (в ценах 1991г.) даже без учета образующихся при хлорировании галогенпроизводных.

Учитывая рекреационное значение Невской губы и необходимость сохранения мест нереста ценных промысловых рыб, озонирование и УФ-обработка сточных вод представляют большой практический интерес.

Вопрос о применении того или иного метода обеззараживания сточных вод должен решаться с учетом требований СанПиН 4630-88 и рекомендаций в комплексе с оценкой величины НДС вредных веществ, экологических особенностей и экономического ущерба, наносимого водоприемнику сбросом сточных вод, также стоимости оборудования и расхода электроэнергии.

Таблица 20

Показатель	Хлор	Взвешенные вещества	БПК	Нефтепродукты	СПАВ	Суммарный удельный ущерб
Показатель относительной опасности, р/т	5*10 ⁴	0,142	0,33	20	2	-
Хлорирование: концентрация, мг/л удельный ущерб, р/тыс.м ³	1,5 5076	15 0,145	15 0,145	2,5 3,384	4 0,541	5060,41
Хлорирование с дехлорированием: концентрация, мг/л удельный ущерб, р/тыс.м ³	0,1 338,4	15 0,145	15 0,145	2,5 3,384	4 0,541	342,81

Показатель	Хлор	Взвешенные вещества	БПК	Нефтепродукты	СПАВ	Суммарный удельный ущерб
Озонирование: концентрация, мг/л удельный ущерб, р/тыс.м ³	-	8 0,077	8 0,177	0,05 0,68	0,5 0,068	0,39

На заводе «Курганхиммаш» разработаны и выпускаются комплектные установки очистки воды с озонированием последующим ее фильтрованием типа Р6, предназначенные для очистки подземных и поверхностных вод с доведением качества природных вод до требований СанПиН 2.1.4. 559-96. Техническая характеристика установок представлена в табл. 21.

В зависимости от вида водоисточника установка включает блок озонирования, сорбционный угольный или песчаный фильтр. Для конкретных условий в состав установки могут входить одновременно песчаный и угольный фильтры, а также они могут быть дооборудованы узлами реагентной обработки с использованием коагулирования воды, заключительного обеззараживания с применением УФ-облучения или гипохлорита натрия.

За последние три года заводом поставлено около 20 установок типа Р6 в Тюменскую, Челябинскую и другие области. Они обеспечивают питьевой водой небольшие населенные пункты, отдельных потребителей, а также успешно используются в производстве высококачественных напитков.

Остановимся подробнее на опыте эксплуатации установки Р6-12 (производительность 300 м³/сут), используемой для очистки подземной воды пос. Северный г. Копейска Челябинской обл. В состав установки входят: озонаторный блок (компрессор, блок осушения воздуха, озонатор, контактные аппараты), песчаные и угольный фильтры, пульт управления. Установка смонтирована на общей раме и поставляется заказчику в собранном виде.

Подземные воды характеризуются содержанием железа на уровне 2,4-3,3 мг/л, наличием сероводородного запаха и плесени. Эксплуатацию установки в пусконаладочный период проводили в двух режимах: аэрационно-фильтровальном и озонофильтровальном. В обоих случаях концентрация железа снижалась соответственно до 0,2 и 0,04-0,13 мг/л. Результаты анализов качества подземной и очищенной воды приведены в табл. 22. Доза озона изменялась в пределах от 0,8 до 2,5 мг/л.

Как видно из представленных данных, озонирование воды и последующее фильтрование на песчаной и угольной загрузках обеспечивают глубокое удаление железа, снижение мутности, полное удаление запахов природной воды, уменьшение органических загрязнений, определяемых показателем перманганатной окисляемости и аммиака. При работе установки отмечалось некоторое повышение содержания нитритов и нитратов в воде, обработанной озоном, что связано с трансформацией соединений под его действием.

Эксплуатационные и технологические показатели установки Р6-12 доказали ее эффективность. Новая озонофильтровальная установка (рис.11) отличается от традиционных автоматическим управлением ее работой в зависимости от местных условий с помощью регулируемого электропривода. Автоматизация

работы установки заключается в поддержании давления и расхода воды в соответствии с требуемыми у потребителя. Давление воды в сети контролируется манометром и поддерживается на постоянном уровне.

Таблица 21

Показатель	Тип установки				Р6-6П* (передвижная)
	Р6-0,5	Р6-6	Р6-12	Р6-25	
Производительность по обрабатываемой воде, м ³ /ч (м ³ /сут.), не более	0,5 (12)	6 (144)	12 (288)	25 (600)	6 (144)
Производительность по озону, г/ч	10	45	45	400	45
Концентрация озонородной смеси, г/м ³ , не более	15	15	20	20	15
Давление обработанной воды на выходе, МПа (кгс/см ²), не более	0,2-0,92)				
Электропитание, В; Гц	380; 50				
Установленная мощность, кВт	1,7	8	11,3	23,1	5,5-8
Удельный расход электроэнергии на обработку воды, кВт/м ³ , не более		0,4	0,4	0,4	0,4
Габариты установки (длина x ширина x высота), м, не более	1,7x0,6 x1,86	27x2,1 x2,5	4,6x2,1 x2,5	4,5x2 x4,6	4x2,4 x2
Масса транспортная, кг, не более	450	1800	2800	5000	12300
Режим работы	Автоматический				
*Установка Р6-6П смонтирована на шасси автомобиля «Урал 43206-1451» и предназначена для получения питьевой воды в любых полевых условиях из поверхностных и подземных источников воды, а также в чрезвычайных ситуациях (загрязнение источника водоснабжения в результате действия химического и бактериологического оружия или техногенного загрязнения при авариях).					

Таблица 22

Показатель	Подземная вода	Очищенная вода	
		данные МП «Водоканал»	данные ЦГСЭН
Железо, мг/л	2-3,3	0,06-0,2	0,04-0,13
Цветность, град	10-13	10	12
Мутность, мг/л	0,9-1,1	0	[0,76
Запах, балл	2 - сероводородный,	0	0-1
Окисляемость, мг/л	2,1-2,9	1,6-1,8	0,6-0,8
рН	6,7	6,7	6,7
Аммиак, мг/л	0,2-0,42	Н/о	0,08-0,26
Нитриты, мг/л	0,002	0,01-0,43	Н/о
Нитраты, мг/л	1,9	1,9-2,2	-
Хлориды, мг/л	70,5	70,5	-
Жесткость, моль/л	6,9	6,9	-

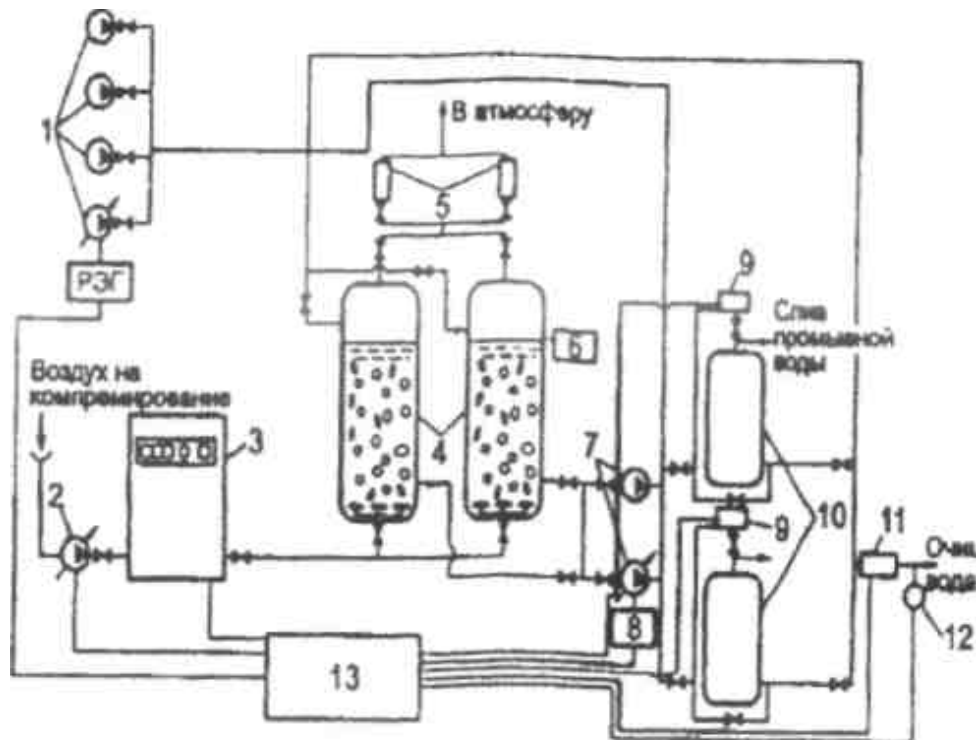


Рис. 11. Структурная схема озонифильтровальной установки производительностью 12 м³/ч по обрабатываемой воде

1 - насосы первого подъема. 2 - компрессор. 3 - озонатор; 4 - аппарат обработки воды озон. 5 - дегазатор остаточного озона; 6 - сигнализатор уровня; 7 - насосы второго подъема; 8 - регулируемый электропривод; 9 - реле протока; 10 - фильтр осветительный вертикальный; 11 - расходомер воды; 12 - манометр электронный; 13 - пульт управления.

Расход очищенной воды контролируется расходомером, где фиксируются количество поданной воды и время. Одновременно на вторичном приборе расходомера показывается и фиксируется мгновенный расход воды.

При снижении потребления воды до 60% автоматически подается сигнал на отключение одного из насосов, работающих без регулирования подачи. В это время насос с регулируемой подачей должен компенсировать отключение этого насоса за счет увеличения своей производительности. Если потребление воды продолжает снижаться (например, в ночное время), то при достижении 30% потребления воды происходит отключение второго насоса с нерегулируемой подачей. Таким образом, в работе остается один насос с регулируемой подачей воды, который поддерживает давление в сети.

При увеличении расхода воды (что наблюдается утром) начинается автоматическое поочередное включение насосов (которые ранее были автоматически отключены), а насос с регулируемой подачей, уменьшая или увеличивая обороты, поддерживает давление в сети потребления.

Автоматизацией станции преследовались две цели: стабильность работы водопроводной сети (устранение режима повышенного напора, механических и гидравлических ударов); снижение потребления электроэнергии с 20 до 70%.

По результатам имеющегося опыта предлагаются три режима работы установок:

озонофильтровальный - предусматривается для работы в периоды года, когда очистка воды от железа и других загрязнений методом аэрации и фильтрования не дает желаемых результатов;

аэрационно-фильтровальный - применяется с целью экономии энергоресурсов в те периоды года, когда этим методом достигается должная очистка;

фильтрационный — является упрощенным методом очистки и применяется только при чрезвычайных ситуациях (авариях).

Эффективность работы установок в каждом режиме зависит от многих факторов и определяется экспериментально при пусконаладочных работах и в процессе эксплуатации.

3.6.2 Обеззараживание и очистка озоном природных и сточных вод

Первые опыты по дезинфицированию воды озоном были осуществлены в 1886г. во Франции в лаборатории Меритана, в 1891г. в Германии были проведены опытные испытания промышленной установки по дезинфицированию воды, в 1893г. осуществлено строительство промышленных озонаторов в Голландии, в 1896г. проведено озонирование вод р. Мари (Франция), в Ницце была введена установка по озонированию воды на станции производительностью 80000м³/сут.

В 1979г. работали установки по озонированию в 29 странах: Франция -594, Швейцария -150, ФРГ -136, Австрия - 42, Канада -23.

В основе всех зарубежных озонаторных установок стоит электрический разряд и образование озона из кислорода воздуха. При этом электрод низкого напряжения представляет собой цилиндр из нержавеющей стали, в котором с зазором установлен полый цилиндрический стеклянный диэлектрик, покрытый с внутренней стороны тонким слоем металла. Электрод высокого напряжения размещен строго по центру стеклянного диэлектрика. Диэлектрик исключает появление разрядов дуговой формы и обеспечивает равномерную структуру лучистого разряда.

При электрическом разряде выделяется тепло, которое уносится охлаждающей водой.

В последних моделях озонаторов материалом плазмо-химического (высоковольтного электрода) разрядного элемента является керамика или металлокерамика. Кроме того, генераторы озона работают на повышенной частоте электрического тока до 800Гц, что значительно снижает расход электроэнергии и увеличивает выход озона. Концентрация озона в газовой смеси на выходе из генератора равна 10-15%.

Расчет озонаторных установок как для целей обеззараживания природных и сточных вод, так и для окисления загрязняющих веществ и последующей очистки, может быть произведен по литературе [46].

Доочистку бытовых сточных вод после биологической очистки в Европе впервые осуществили на станции Коломб близ Парижа. Озонирование позволило дополнительно снизить содержание взвешенных веществ на 60%, БПКполн. - на

60-70%, ХПК - на 40%, содержание ПАВ уменьшить на 90%, фенолов - на 40 %, азота ($NH_4^+NO_2^-$) 20%, а также обесцветить воду на 60%, при одновременном ее обеззараживании.

Для доочистки бытовых сточных вод после биологической очистки в Калифорнии применяют озон (рис.12).

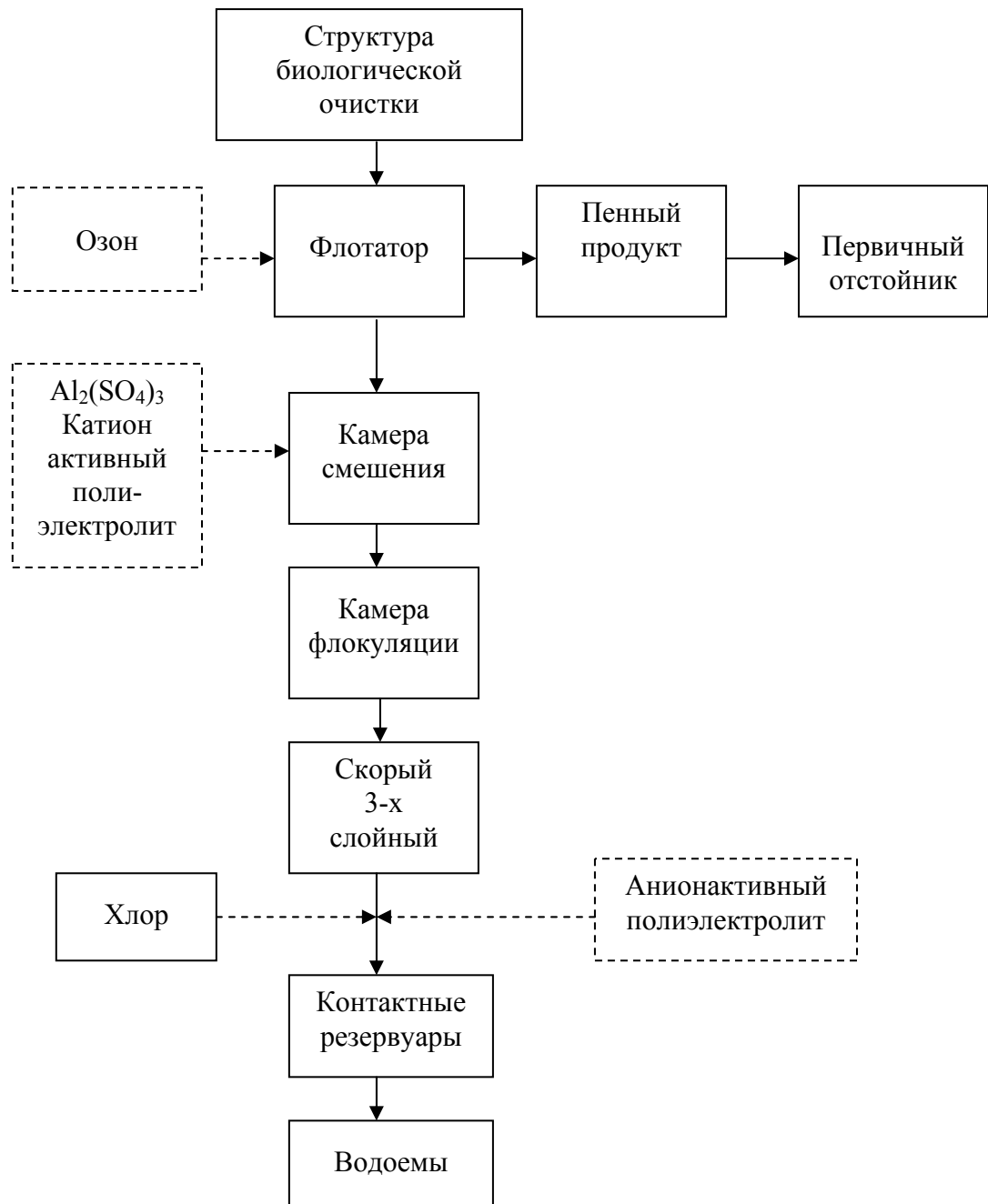


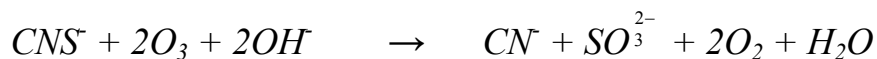
Рис. 12. Технологическая схема доочистки бытовых сточных вод на станции Шино - Базин (Калифорния).

Озонирование применяют для очистки сероводородных вод, при этом происходят следующие реакции:



Оптимальное рН 5-9. Дозу озона определяю, из расчета 06-1,4 мг O₃ на 1мг, содержащихся в воде соединений серы (H₂S, HS⁻, S²⁻), при этом необходимо учитывать расход озона на окисление других загрязнений в сточных водах.

Окисление роданидов и цианидов озоном в сточных водах идет по уравнениям:



доза озона 5-7 мг/дм³ время контакта 10-15 мин.

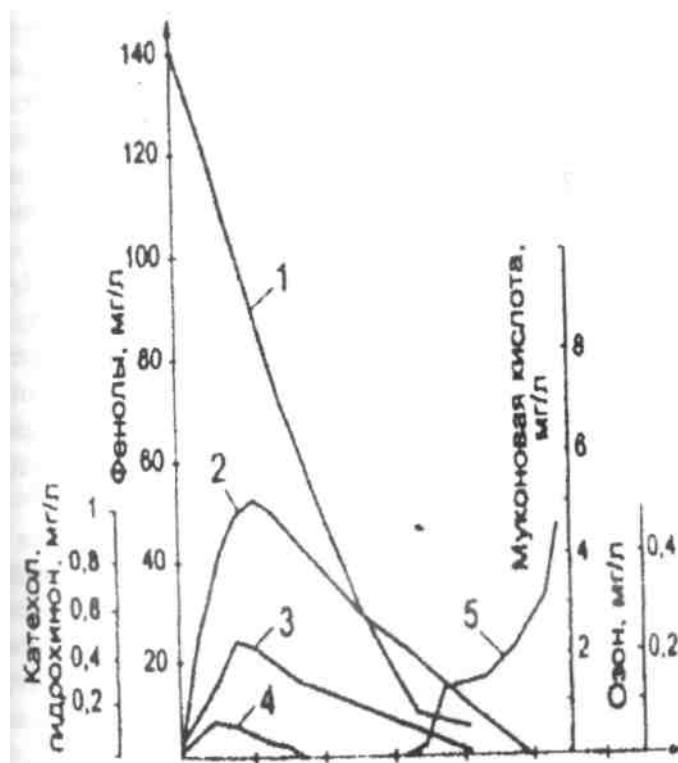


Рис. 13. Озонирование фенолов

- 1 – фенолы;
- 2 - муконовая кислота;
- 3 - гидрохинон;
- 4 - катехол;
- 5 - остаточный озон.

Извлечение специфических загрязнений

Озон способен извлекать из воды и некоторые специфические загрязнения типа детергентов, фенолов, цианидов. На рис. 13, представлено извлечение фенолов в процессе озонирования, когда появляются продукты разложения фенолов, которые сами взаимодействуют с озоном, и лишь появление остаточной концентрации O_3 свидетельствует о завершении окислительной обработки.

Некоторые вещества, будучи стойкими по отношению к озону, оказываются подверженными с различной степенью интенсивности воздействию так называемых «радикалов» OH^0 , энергично формирующихся при одновременном введении H_2O_2 . Такой процесс реализуется в способе PEROZONE, используемом, прежде всего (например, на станции «Мон-Валерьен» в окрестности Парижа) для извлечения хлорорганических растворителей и (или) пестицидов.

Недостатком применения сочетания « $O_3+H_2O_2$ » является полное отсутствие в воде остаточного озона, что ставит проблему обеспечения одновременного обеззараживания воды. Этот недостаток преодолевается компанией «ДЕГРЕМОН» в специально разработанном трехкамерном контактном реакторе озонирования, который последовательно обеспечивает: полное удовлетворение немедленной химической потребности в озоне (первая камера); полное обеззараживание по критерию CT (вторая камера); окисление специфической органики радикалами OH^0 , интенсивно образующимися благодаря введению в нее H_2O_2 в количестве примерно 0,4 г/г (третья камера). Давно известно благоприятное действие предварительного хлорирования исходной воды до ее подачи в технологическую линию водоподготовки, которое, однако, из-за неизбежного формирования галоформ сегодня все более часто заменяется на предварительное озонирование. Последнее не только способствует более эффективной последующей обработке воды (коагуляция - флокуляция - отстаивание), но одновременно полностью решает проблему галоформ и содействует прогрессивному снижению доз коагулянта.

Обычно предварительное озонирование осуществляют при небольшом времени контакта (2-3 мин) с дозами O_3 , составляющими примерно 10-40% его дозы на стадии пост-озонирования. Следует избегать наличия остаточного озона в воде, направляющейся на последующую обработку, поскольку речь еще не идет об обеззараживании воды. В таком случае необходимо избегать попадания солнечного света на отстойник для того чтобы препятствовать развитию в нем водорослей в условиях отсутствия в воде окислителя.

Проблема вторичных продуктов озонирования

В частности, можно рассмотреть броматы, которые формируются из бромидов в определенных условиях (рН, доза O_3 , время контакта) и, согласно последним оценкам, являются более токсичными, чем исходные окисляющиеся озоном загрязнения.

При озонировании природных вод, содержащих бромид -ионы на уровне 100мкг/л, в воде появляются токсичные (канцерогены) бромат-ионы и броморганические соединения. Связано это с тем, что озон эффективно окисляет

Br_2 до гипобромида Br_2O , который взаимодействует с растворенными органическими веществами или подобно ClO окисляется озоном до Br_2O_3

Бромат-ион оказывает токсичное действие при концентрации в питьевой воде на уровне 5мкг/л. В то же время после озонирования воды при дозе озона более 1мг/л содержание Br_2O_3 может достигать десятков мкг/л. [47] Кроме того, при озонировании природных и сточных вод, образуются озониды (MeO_3 , где Me - металл) - весьма токсичные соединения. Однако эти соединения весьма неустойчивы и быстро разлагаются при обычных условиях. Эту проблему можно решить путем оптимизации (на основе соответствующих тестов и, возможно, испытаний) условий озонирования в процессе проектирования, пуско-^наладки и (или) эксплуатации сооружений. Адаптированные решения уже найдены и успешно применяются: жесткий контроль (управление) за величиной рН и дозированием O_3 , введение в обрабатываемую воду ингибиторов формирования броматов, предварительное извлечение бромидов.

Современная технология подготовки питьевой воды

Теоретически применение озона в обработке поверхностных вод возможно в нескольких точках технологической линии, однако приоритетными являются предварительное озонирование и сочетание « $\text{O}_3 + \text{ГАУ}$ » на стадии доочистки. что сегодня уже стало признаком современной технологии подготовки питьевой воды. Только из богатой практики компании «ДЕГРЕ-МОН» можно упомянуть несколько десятков станций, применяющих озонирование питьевой воды, во Франции - Иври, Морсанг, Мон-Валерьен, Лувенсьенн и др.; в Велико-британии - Графхам, Ханнингфельд и др.; Германии -Лангенау, Сипплингер Берг и др.; США - Лос-Анджелес, Сан-Андреас, Мартл Бич и др.; Швейцарии - Лозанна, Лахен; Испании - Барселона; Нидерландах -Дордрехт; Италии - Фирензе; Югославии - Белград; Южной Кореи -Пуссан, Хуамьонг; Сингапуре - Бе-док; Сирии - Алеп; Индонезии -Джакарта. Такой подход к озонированию нашел свое подтверждение и в специфических условиях Москворецкого источника природной воды в ходе успешных пилотных испытаний, проведенных совместно компанией «ДЕГРЕМОН» и МГП «Мосводоканал» в 1997-1998 гг. на Рублевской водопроводной станции.

Промежуточное озонирование (до песчаного фильтра) оказывается целесообразным лишь в особых случаях, озонирование воды перед резервуарами имеет негативные последствия в отношении исходной поверхностной воды, а в конце технологической линии - оно разумно лишь для предварительно глубоко очищенной воды.

В процессе эксплуатации из-за истощения грязеемкости и проницаемости фильтров качество и количество очищенной воды неизбежно падают. Возникает необходимость достаточно частой регенерации и замены загрузок, патронов или фильтрующих материалов (до 2-3 раз в год). Таким образом, невысокий ресурс и высокая стоимость обслуживания являются основным недостатком этих технологий.

На установки локальной водоочистки исходная вода, как правило, подается из подземных источников, основными загрязнителями которых являются

растворенное железо, антропогенные органические загрязнения и повышенная жесткость воды.

Для водоснабжения коттеджей и других малых объектов ООО «НТЦ ЭКОС» созданы озонсорбционные установки «OzoW» производительностью 0,4 и 1 м³/ч, разрабатывается установка производительностью 20 м³/ч. Принципиальная схема установок приведена на рис. 17.

При открытии входного клапана исходная вода после первичного озонирования подается на фильтр с зернистой загрузкой, где при фильтровании через загрузку вода очищается от железа. После зернистого фильтра вода подается в контактный аппарат, где происходит обработка воды озоном. Ввод озонвоздушной смеси в воду осуществляется с помощью эжектора. Нерастворенный остаточный озон с потоком воздуха подается на каталитический деструктор озона. После контактного аппарата вода подается на фильтр с активированным углем и далее - в накопитель чистой воды. По мере потребности вода из накопителя поступает к потребителю.

Установка работает полностью в автоматическом режиме и управляется сигналами датчиков уровня (давления). При уменьшении уровня (давления) воды в накопителе открывается входной клапан, включаются насосы, и подается озон. Установка работает до заполнения накопителя чистой водой. Блок управления установкой имеет регулируемый таймер, по сигналу которого включается режим обратной и прямой промывки зернистого и угольного фильтров. Обратная и прямая промывка зернистого фильтра осуществляется исходной водой, промывка угольного фильтра - водой из контактного аппарата. Озонирование воды при этом отключается.

Наиболее сложным блоком озонсорбционной установки является озонатор ООО «НТЦ ЭКОС» разработан ряд озонаторов «OzoSB» производительностью от 2 до 1500 г/ч. Озонаторы основаны на коронном разряде с диэлектрическим барьером и разработаны для генерации озона с высокой концентрацией из осушенного воздуха или кислорода. Озонаторы «OzoSB» состоят из разрядной камеры из нержавеющей стали с кварцевым диэлектрическим барьером, источника питания и панели управления, размещенных в металлическом корпусе.

Особенности и преимущества озонаторов «OzoSB» высокая производительность при небольших размерах; простая конструкция и возможность масштабирования; высокая концентрация генерируемого озона; длительный срок службы диэлектрика; высокочастотный источник питания на основе 10ВТ транзисторов.

Имеется два варианта озонаторов «OzoSB» - для работы на кислороде и на воздухе (кислороде). Концентрация озона, г/м: для варианта «воздух (кислород)» =< 35(120); для варианта «кислород» =< 200. Максимальное рабочее давление в озонаторе (атм. абс.): воздух (кислород) - 2, 5/2; температура охлаждающей воды =<25°С; класс защиты озонаторов IP54/55. Для осушения воздуха, подаваемого на озонирование, и некоторого повышения концентрации кислорода используется блок на основе короткоциклового безнагревной адсорбции.

К настоящему времени изготовлено и поставлено заказчику несколько установок озонсорбционной очистки воды производительностью 0,4 и 1 м³/ч. Основные технические характеристики установок приведены в табл. 25.

Ряд установок находится в опытной эксплуатации более года. За это время установки работали безотказно, замена фильтрующих сред не проводилась

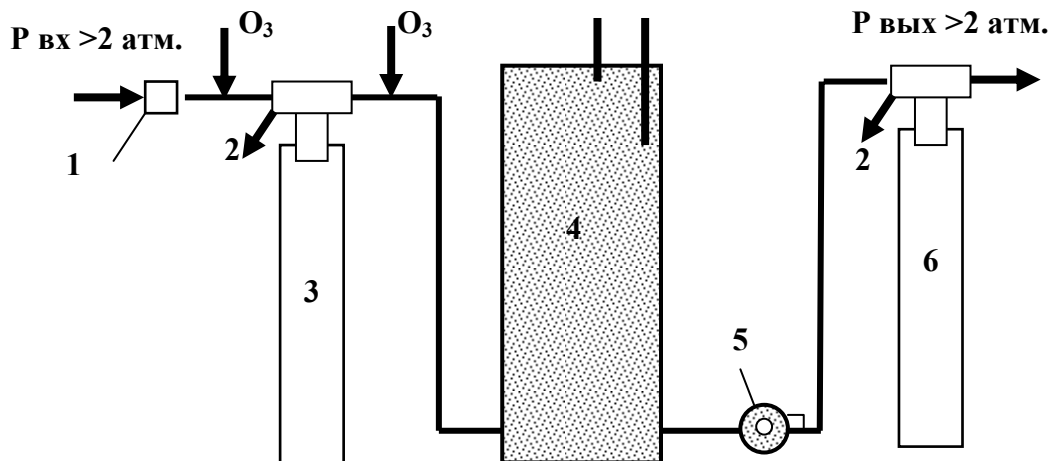


Рис 17. Принципиальная схема установки

- 1 клапан;
- 2 - промывка фильтров;
- 3 - зернистый фильтр;
- 4 –контактный аппарат;
- 5 -насос,
- 6 – фильтр из активного угля.

Таблица 25

Показатель	Тип установки	
	Ozo W-0,4	Ozo W-1
Производительность по воде, л/ч	400	1000
Элеткропитание, В, (Гц)	220 (50)	
Потребляемая мощность блока озонирования, Вт	500	600
Степень защиты	IP54/55	
Производительность озонатора, г/ч	1-2	1-10
Содежание конав воде на выходе, мг/л	0,1	
Габариты без накопителя чистой воды (ширина x глубина x висота), м	2x0,4x1,7	2,5x0,5x7
Температура в помещении, °С	От 5 до 45	

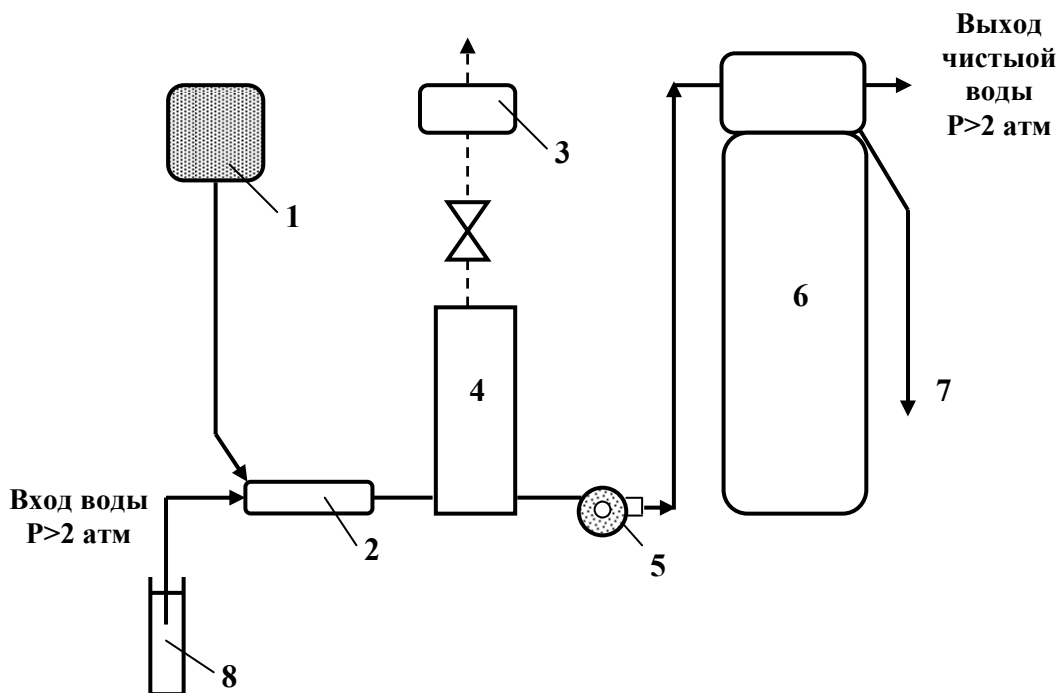


Рис. 18 Принципиальная схема упрощенной установки для очистки воды от соединений железа и марганца.

- 1 - озонатор;
- 2 - эжектор;
- 3 - деструктор озона;
- 4 - газоудалитель;
- 5 - насос;
- 6 - фильтр;
- 7- промывка;
- 8 – скважина

Для удаления растворенного железа и марганца, а также сероводорода разработан и выпускается упрощенный (и удешевленный) вариант установки без контактного аппарата I и без угольного фильтра. Схема такой системы представлена на рис.18.

Некоторые результаты измерений эффективности очистки воды, полученные на установке «Ozo W-1», используемой для очистки артезианской воды от железа и удаления запаха (остальные показатели качества артезианской воды соответствовали норме), и на установке «Ozo W-0,4», используемой для дополнительной очистки водопроводной воды и для очистки воды из закрытого колодца, приведены в табл. 26.

Таблица 26

Показатель	Артезианская вода		вода из закрытого колодца	
	исходная	после очистки	исходная	после очистки
Железо общее, мг/л	1,82	0,1	31,8	0,24
Мутность, ед. ЕФМ	-	-	53	0,86
Цветность, град.	16	3	48	5
Запах, балл	2 (землисто-сточный)	отсутствует	-	-
Содержание солей		Практически не изменилось		Практически не изменилось
Колииндекс, кл/л	-	-	6	< 3
Окисляемость, мг/л	-	-	8,8	3,5
Аммоний, мг/л	-	-	0,91	0,12
Растворенный кислород, мг/л	-	-	3,7 (47% нас.)	7,5 (85% нас.)

Данные табл. 26 показывают, что разработанные установки обеспечивают хорошие органолептические свойства воды, насыщение ее кислородом, очистку от взвешенных частиц, соединений железа и марганца, органических веществ и микробиологического загрязнения. Формальдегид в воде после озонсорбционной «чистки» не обнаружен. Установки могут дополнительно комплектоваться блоком умягчения воды.

Успешная опытная эксплуатация установок «OzoW» сравнительно невысокая стоимость и низкие эксплуатационные затраты позволяют использовать их для локального водоснабжения малых жилых, производственных и социальных объектов.

Расчет озонаторных установок производят по литературе [46 стр.78-80], а выбор оборудования по данной книге.

4. Физические методы обеззараживания вод

Из физических методов обеззараживания наибольшее применение нашел ультрафиолетовый метод обработки как безреагентный и экологически чистый. Другие физические методы обеззараживания, такие как обработка γ -излучением, высоковольтными разрядами, электрическими разрядами малой мощности, переменным электрическим током, термообработка, обработка ультразвуком микрофильтрация используется редко из-за их высокой энергоемкости или сложности аппаратуры, а также из-за отсутствия последствия и не изученности образующихся и процессе обработки воды соединений. Многие из методов находятся на стадии чисто научных разработок. Однако следует отметить нарастающий интерес к различным видам электрических разрядов. При проведении предварительных испытаний по обеззараживанию сточных вод с применением электроимпульсного высоковольтного разряда, установлено, что получение нормативного содержания *E.coli* достигается в течении нескольких секунд, энергоемкость в пилотных исследованиях составила $0,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3$, т.е. сопоставима с методом озонирования. Этим методам посвящен раздел этой главы в этой книге.

4.1. Общие сведения по ультрафиолетовому методу обработки вод

Из физических методов обеззараживания наибольшее применение нашел ультрафиолетовый метод обработки, как безреагентный и экологически чистый. Создание мощных источников излучения, новые конструктивные решения УФ-установок, снабженных чувствительными датчиками, позволяющими измерять и контролировать интенсивность излучения в обрабатываемой воде и обеспечивать автоматическое регулирование интенсивности в зависимости от качества обрабатываемой воды, сделали этот метод конкурентоспособным и сравнимым по Мнимости с хлорированием. Начиная с 80-х годов, на Западе эта технология интенсивно развивается для водоочистки и водоподготовки промышленных и сточных. За последние 10-15 лет в США, Канаде и Западной пущены и действуют около 150 УФ станций обработки воды с расходом от 10 до $350 \text{ м}^3/\text{сут}$. УФ – технология получает большее распространение в Новой Зеландии, на Ближнем Востоке.

США для войск, геологов и туристов создан ультрафиолетовый прибор в виде чайной ложки для обеззараживания воды. В ложечке имеется миниатюрный, но мощный аккумулятор. В течение нескольких минут вода может быть дезинфицирована в стакане, в чашке до необходимых для питья норм.

В Томске фирмой «Имкоитех» изготавливаются малогабаритные автономные установки для очистки и обеззараживания (УФ - излучением) питьевой воды ($0,1 - 1 \text{ м}^3/\text{час}$) для геологов, военных и лесозаготовителей.

Интенсивное внедрение УФ - дезинфекции воды в средних и больших объемах связано с такими основными преимуществами данной технологии [1]:

- энергозатраты в промышленных УФ - установках составляют 50-100 Вт·ч/м³ сточной воды; 15-50 Вт·ч/м³ воды из поверхностных источников водоснабжения; 2-10 Вт·ч/м³ воды из подземных источников, т. е. в 3-4 раза меньше общего энергопотребления озонаторных систем;

- степень УФ-дезинфекции не линейно, а экспоненциально растет с увеличением дозы УФ-излучения, поэтому незначительное увеличение УФ-мощности при заданном расходе обрабатываемой жидкости в несколько раз повышает степень дезинфекции. В случае передозировки отсутствуют отрицательные эффекты в отличие от окислительных технологий;

- современные УФ-комплексы на основе дуговых ламп низкого давления работают на промышленном питании с напряжением 110, 220, 380В, озонаторные комплексы - от 8 до 30 кВт, что приводит к обеспечению к более высоким требованиям по электробезопасности и квалификации обслуживающего персонала;

- современные бактерицидные ламповые системы и пускорегулирующая аппаратура обеспечивают высокую степень надежности и простоту эксплуатации УФ-комплексов дезинфекции, а автоматизация крупных систем, требующая регулировки исключительно электрических параметров, существенно проще, надежнее, чем для хлора или озона;

-отсутствие газообразного (жидкого) технологически опасного ингредиента (озон, хлор) при УФ-дезинфекции воды обеспечивает принципиально больший запас безопасности и надежности системы;

-УФ-комплексы и их периферийные устройства по компактности не уступают, а в ряде случаев и превосходят системы хлорирования и озонирования.

-использование УФ-дезинфекции не меняет окислительных характеристик воды; радиобиологические и химические исследования показали отсутствие нежелательных последствий при дозах УФ-излучения, значительно превышающих практически необходимые для дезинфекции, т. е. отсутствие побочных эффектов;

-минимум основных параметров, определяющие расчеты установок: максимальный расход обрабатываемой воды, процент передачи УФ-излучения через воду, заданный уровень обеззараживания;

-минимальная продолжительность обработки (сек);

-в сравнении с озонированием, обеззараживание требует в два раза меньше капиталовложений и в пять раз меньше - эксплуатационных затрат. Это связано с незначительными затратами электроэнергии, отсутствием потребности в дорогостоящих реагентах, простотой эксплуатации, отсутствием необходимости в специальном обслуживающем персонале, а также отсутствием требований по организации специальных мер безопасности. Кроме того, ввод комплексов УФ-обеззараживания в действующие очистные сооружения обеспечивается без значительных строительно-монтажных затрат и не требует строительства отдельных зданий;

-исключить попадания в водоемы таких токсичных и экологически опасных веществ как хлор, хлорорганических соединений и хлорамины;

-полностью отказаться от эксплуатации опасных производственных объектов - хлораторных и необходимости их дооснащения специальными техническими средствами в соответствии с ПБХ;

-разлагать диоксины под действием УФ-облучения;

-для периодического обеззараживания разводящих сетей (г. Берлин, центральный район, г. Тольятти, г. Новокуйбышевск).

Обеззараживающий эффект бактерицидных ультрафиолетовых лучей в основном обусловлен фотохимическими реакциями, в результате которых происходят необратимые повреждения ДНК. Помимо ДНК, УФ-лучи действуют и на другие структуры клетки, в частности на РНК и клеточные мембраны. Наибольшим воздействием на бактерииобладает ультрафиолет при длине волны 200-280 НМ. Максимум бактерицидного действия наблюдается при л 250-260 НМ. В качестве источников УФ-излучения используют ртутные лампы низкого и высокого давления. При применении для обеззараживания воды УФ-излучения ртутных ламп низкого давления в среде не образуется токсичные побочные продукты, тогда как под действием УФ-излучения ртутных ламп высокого давления химический состав воды может изменяться за счет сопотствующих бактерицидному эффекту фотохимических превращений растворенных в воде веществ [1].

Одним из основных параметров процесса обеззараживания с помощью УФ-излучения является доза, представляющая собой мощность излучения на единицу площади за определенное время, В свою очередь доза излучения будет зависеть от мощности излучения источника в бактерицидной (ультрафиолетовой) области; степени поглощения бактерицидного излучения обеззараживаемой водой; чувствительности микроорганизмов к УФ-излучению и их исходного количества в обеззараживаемой воде, а также от необходимой или желаемой степени обеззараживания.

Степень обеззараживания (или отношение числа живых микроорганизмов (N) после облучения к их первоначальному количеству (N₀) зависит от дозы облучения (D) согласно соотношения:

$$N/N_0=10^{-kD}$$

Значение коэффициента пропорциональности k зависит от вида микроорганизма и определено в лабораторных условиях для большинства водных микроорганизмов. На практике эта зависимость отличается от теоретической и имеет свои: характерные особенности. Определение вида зависимости степени обеззараживания от дозы облучении является одной из основных задач при оценке возможности применения УФ-установки для конкретной воды [53].

В настоящее время накоплен обширный материал по воздействию УФ-излучения на различные виды микроорганизмов, которые по устойчивости к ультрафиолету располагаются в ряд: вегетативные бактерии>вирусы>бактериальные споры>цисты простейших (приложение). Отмечена повышенная, по сравнению с бактериями и вирусами, устойчивость дрожжей и грибов к воздействию УФ-излучения. Относительно вирусом имеются противоречивые данные, вероятно, из-за различий методик в

определении их жизнеспособности. Вирусы более устойчивы к УФ-облучению, чем вегетативной формы бактерий, а среди них вирусы, содержащие двухнитевую ДНК (например, реовирусы) более устойчивы, чем с однонитевой ДНК (вирус полиомиелита). Для инактивации последних (на 99,9 %) требуется доза облучения в 3-4 раза выше, чем для *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella sonnei* ($28-42 \text{ мВт}\cdot\text{с}/\text{см}^2$) [54,55].

Установлено, что УФ-излучение действует на вирусы намного эффективнее, чем хлор [1]. Проведенные исследования по обеззараживанию на природной контаминированной вирусами воде показали, что УФ-облучение при дозе $25 \text{ мВт}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ является более вирулицидным, чем хлорирование, даже если доза статочного составляет $1,25 \text{ мг}/\text{дм}^3$ при продолжительности контакта 18 мин [1]

В обзорах [1] приведены дозы для инактивации широкого круга микроорганизмов. Имеющиеся в литературе различия в величине доз для инактивации микроорганизмов объясняются отсутствием стандартных методик для оценки их жизнеспособности, использованием исследования разных штаммов одного и того же микроорганизма, трудностями при определении обеззараживающей дозы.

В регламентирующих документах ряда стран принято, что для эффективного обеззараживания воды необходима доза УФ-излучения не менее $16 \text{ мВт}\cdot\text{с}/\text{см}^2$. Эта величина получена в результате обобщения опыта применения УФ технологии на городских очистных сооружениях Западной Европы и Америки. В ряде работ приводятся более высокие дозы УФ-излучения, необходимые для эффективного обеззараживания воды, прошедшей обработку - чаще всего $25 \text{ мВт}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ [59, 60], однако встречаются и более высокие показатели, например, $74 \text{ мВт}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ для обеззараживания поверхностной воды [1]. Чаще всего дозы облучения колеблются в пределах $16-40 \text{ мВт}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ в зависимости от качества обрабатываемой воды, ее назначения, применяемого оборудования и других факторов.

Большое влияние на эффект обеззараживания воды УФ-лучами оказывает мутность и цветность воды, уменьшающие интенсивность излучения в толще воды. Степень этого влияния может быть оценена по коэффициенту пропускания (поглощения) воды в ультрафиолетовой области [1].

Влияние жесткости воды pH и температуры незначительно.

При обеззараживании воды контроль за выполнением норм подачи дезинфектанта является обязательным требованием. В случае применения ультрафиолета необходим контроль за дозой УФ-излучения. Практика применения УФ-облучения показывает, что основными причинами снижения дозы облучения в УФ-реакторе являются: выход из строя ламп (контролируется по напряжению или току на одной или группе ламп); снижение их интенсивности за счет старения - современные УФ-источники обладают стабильным временем работы (~ 1 год), и их ресурс может определяться по счетчику времени наработки; загрязнение кварцевых чехлов или резкое ухудшение качества воды (коэффициента поглощения УФ-лучей) - определяется по показаниям ультрафиолетового селективного датчика.

Несмотря на значительные преимущества, УФ-обработка воды обладает слабо выраженным последствием. Применение УФ-дезинфекции на крупных станциях водоподготовки осуществляется лишь при определенных требованиях к качеству

водопроводных магистралей и систем хранения воды. Поэтому, как правило, для предупреждения вторичного загрязнения в водопроводных сетях при сомнительном их санитарно-техническом состоянии используется дополнительное хлорирование воды. При внедрении УФ-технологии в системах с протяженными групповыми водоводами целесообразно осуществлять УФ-обеззараживание как перед подачей воды в сеть (после очистных сооружений, накопительных резервуаров, насосных станций), так и непосредственно перед потребителем (разводящая сеть).

Существуют ограничения и по качеству обрабатываемой воды. Приемлемым, с точки зрения энергетической целесообразности, принято считать следующие характеристики воды: цветность $\leq 50-60$ град; содержание взвешенных веществ ≤ 30 , солей железа $\leq 2-3$ мг/дм³. Именно в этих границах УФ-технология дезинфекции остается конкурентоспособной. Ранее считалось, что УФ-обеззараживанию могут подвергаться только прозрачные воды из подземных источников. Так, согласно СНиП 2. 04. 02-84, рекомендуется обеззараживать воду из подземных источников УФ-излучением при следующих условиях: коли — индекс ≤ 1000 , содержание железа $\leq 0,3$ мг/дм³, мутность ~ 2 мг/дм³, цветность ~ 20 град, прозрачность ≥ 30 см.

Недостатком УФ-излучения является также фотореактивация поврежденных микроорганизмов. Установлено [1] что после обычного для практики водообработки УФ-облучения реактивируется до 30 % бактерий. Вторичный рост бактерий наблюдается, когда обработанная вода длительное время находится под воздействием солнечного света (световая фотореактивация). При правильно подобранной технологической дозе УФ-излучения фотореактивация не наблюдается, что позволяет применять УФ-обеззараживание без последующего ввода консервирующих доз хлора [1].

В настоящее время УФ-излучение используется для обеззараживания питьевых, поверхностных, а также сточных вод как до, так и после их биологической очистки. За рубежом УФ-дезинфекция в результате значительных достижений в области УФ-технологии и получения конкурентно-приемлемых параметров и эксплуатации за последние 15 лет успешно внедряется в городских системах очистки сточных вод. Особенно широко эта технология получила распространение в США [1], где в настоящее время только в Северной Америке 1500 муниципалитетов используют эту технологию. Крупнейшая в мире УФ-станция расположена в г. Калгари (Канада) и имеет производительность > 1 млн. м³/сут [1]. По данным американских ученых, при обработке сточных вод с Удержанием взвешенных частиц 15 мг/дм³, расходы на обеззараживание в два раза ниже, чем при хлорировании. В ближайшие годы установки УФ-облучения планируется смонтировать на большинстве очистных сооружений США.

Успешно развивается эта технология в настоящее время и в России и в Украине. В ходе полупромышленных и промышленных испытаний доказана высокая эффективность и экономичность УФ-обеззараживания как для обработки сточных вод, так и при полной или частичной замене на станциях централизованного водоснабжения первичного хлорирования на УФ-обработку.

4.2. УФ-облучение в целях обеззараживания питьевой воды

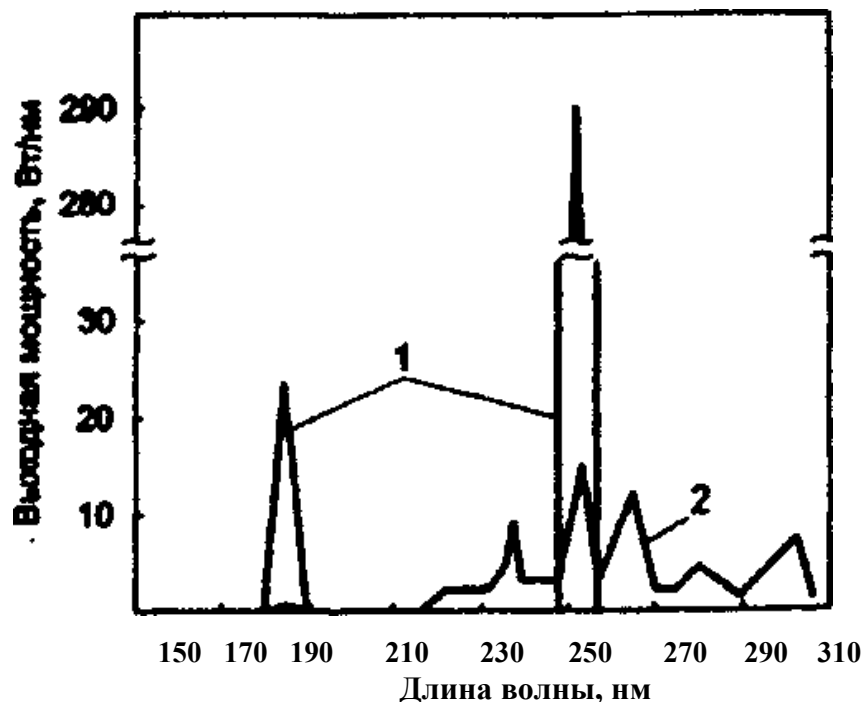


Рис. 17. Сравнение спектров УФ-излучения ртутных ламп низкого (1) и среднего (2) давления, нормированных на мощность 3675 Вт

В последние годы все большее внимание уделяется использованию для целей обеззараживания природных и сточных вод ультрафиолетового (УФ) излучения - без применения химикатов. Тем самым устраняется потребность в хранении, транспортировке или производстве опасных растворов и газов. Для достижения необходимого эффекта обеззараживания требуется всего несколько секунд (по сравнению с 15-30 мин при обработке хлором или озоном).

Бактерицидное действие УФ-света хорошо известно. Спектр "бактерицидного действия" УФ-света совпадает со спектром поглощения ДНК (= 260 нм). Бактерицидный свет эффективно разрушает молекулы ДНК бактерий, вирусов, водорослей и многих других видов микроорганизмов, присутствующих в природных и сточных водах.

На рис. 17 представлены спектры излучения некоторых источников УФ-излучения. Видно, что лампы низкого давления являются эффективными источниками бактерицидного излучения ($\lambda = 254$ нм), и около 10% энергии приходится на свет длиной волны 185 нм, не пропускаемый обычным кварцевым стеклом.

Американские специалисты (Purac Inc., 1992 г.) провели сравнительную оценку стоимости квантов УФ-света и реагентов, используемых в процессах водоподготовки и водоочистки (табл. 26).

Квант бактерицидного света ламп низкого давления оказывается самым дешевым "реагентом". Бактерицидный квант ламп низкого давления во много раз дешевле бактерицидного кванта ламп среднего или высокого давления. Лампы низкого давления работают при низкой температуре, трансформируют 40-50 (до 70) % электрической энергии в энергию бактерицидного излучения. Недостатком выпускаемых промышленностью ламп низкого давления является относительно

низкая удельная мощность единичного источника - не более 100 Вт (электрической мощности). Для достижения высокой объемной плотности УФ — излучения необходима компоновка большого количества ламп на единицу объема обеззараживаемой воды. Создание нового поколения высокоинтенсивных ртутных ламп низкого давления [49] позволит в ближайшей перспективе в несколько раз повысить производительность УФ-установок на базе имеющихся конструктивных решений.

Лампы среднего и высокого давления характеризуются сплошным спектром излучения, начиная с 220 нм. При этом мощность единичного источника достигает 6 (до 10) кВт, однако доля электрической энергии, переходящей в энергию УФ-излучения ($\lambda < 300$ нм), невелика и составляет 5-10%. Остальная энергия выделяется в виде теплоты и видимого света, в силу чего эти лампы работают в высокотемпературном режиме.

В соответствии со спектральными особенностями лампы низкого давления целесообразно использовать для обеззараживания воды, тогда как лампы среднего (высокого) давления - для деструктивной очистки воды от растворенных органических соединений.

Эффективность обеззараживающего действия бактерицидного излучения при дозе $20 \text{ мВт} \cdot \text{с} / \text{см}^2$ представлена в табл. 27. Типичные значения УФ-дозы лежат в пределах $16-40 \text{ мВт} \cdot \text{с} / \text{см}^2$ в зависимости от качества обрабатываемой воды, ее назначения, применяемого оборудования и других факторов.

В отличие от хлорирования или озонирования при правильном выборе источника и дозы УФ-излучения обеззараживание воды не сопровождается изменением ее химического состава или появлением каких-либо токсичных побочных продуктов. Связано это с тем, что эффект обеззараживания достигается при гораздо меньших дозах бактерицидного излучения по сравнению с фотохимической трансформацией загрязняющих веществ. Многие загрязняющие вещества характеризуются низкой фотохимической активностью в отношении света с длиной волны 254 нм: либо они слабо поглощают этот свет, либо квантовый выход трансформации мал. Фотохимическое разрушение загрязняющих веществ происходит эффективно под действием более жесткого УФ-излучения, наряду с прямым фотолизом для интенсификации процесса используются упомянутые выше системы продвинутого окисления.

Таблица 26

Химикат, квант УФ— света	Стоимость 1 моля, USD
Cl_2	0,16
ClO_2	0,3
FeSO_4	0,95
O_3	0,1(+осушка воздуха)
H_2O_2	0,05
Фотоны 240-303 нм (Hg- лампа среднего давления, выход 11%)	0,094
Фотоны 185, 254 нм (Hg - лампа низкого давления, выход 40 %)	0,025

Таблица 27

Организм	Инактивация, %	Организм	Инактивация, %
Бактерии:		<i>Shigella dysenteriae</i>	99,9999
<i>Bacillus anthracis</i>	99,9964	<i>Streptococcus faecalis</i>	99,9972
<i>Clostridium tetani</i>	97,8456	<i>Vibro cholera</i>	99,9162
<i>Corynebacterium diphtheria</i>	99,9999	Вирусы:	99,9997
<i>Escherichia coli</i>	99,9999	Influenza virus	99,997
<i>Legionella pneumophila</i>	99,9999	Poliovirus	99,7846
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	99,9536	Rotovirus (Reovirus)	98,3014
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	99,9769	Дрожжи:	
<i>Salmonella paratyphi</i>	99,9999	<i>Saccharomyces cerevisiale</i>	99,8179

Большинство бактерицидных УФ-установок предназначено для обеззараживания небольших объемов воды. Они представляют собой камеру облучения в виде трубы небольшого диаметра, куда коаксиально вмонтирован источник УФ—излучения, помещенный в защитный кварцевый кожух (рис. 18 а). Такие установки врезаются в магистральный водопровод и рассчитаны на рабочее давление до 10 атм. В одной камере УФ-облучения монтируется 1-3 лампы и пропускная способность такой камеры не превышает 50 м³/ч. Увеличение производительности до 150 и даже до 1000 м³/ч [9] достигается параллельной установкой нескольких камер и увеличения количества ламп в одной камере с соответствующим снижением рабочего давления (приложение). Проблема больших объемов обрабатываемой воды снимается при использовании ненапорных водопогружных УФ-установок (рис. 18б). В этом случае обработке подвергается поток воды, движущейся под действием гравитации по лотку, в котором установлены кассеты водопогружных УФ—ламп. Не требуется ни насосов, ни труб, ни дополнительных площадей или строений. Проблема сводится к обеспечению УФ-установки электрической энергией (из расчета 100 кВт на каждые 100 тыс. м³/сут. обрабатываемой воды уточняется в зависимости от качества воды).

Большой опыт по использованию водопогружных УФ-установок для обеззараживания сточных вод имеется в западных странах. Одна из первых таких установок была смонтирована в г. Уолдвике (США, Нью-Джерси) летом 1989 г. на базе ртутных ламп низкого давления. В этой установке вода протекает по двум параллельным открытым каналам (один - резервный). В каждом из каналов установлено по два блока водопогружных УФ-ламп, по 30 кассет в каждом блоке и по 8 ламп в кассете. Очистка наружных поверхностей защитных кварцевых чехлов от механических обрастаний производится не чаще двух раз в месяц, замена ламп после снижения их интенсивности на 30-40 % производится один раз в год. Кассеты обслуживаются автономно. Особое значение придается поддержанию постоянного уровня воды в канале. Для достижения

необходимой степени обеззараживания нефильтованной точной воды доза бактерицидного УФ-излучения составляет $30 \text{ мВт}\cdot\text{с}/\text{см}^2$, тогда как для обеззараживания сточных вод после их предварительной очистки - от 16 до $20 \text{ мВт}\cdot\text{с}/\text{см}^2$.

Представляет интерес проведенный разработчиками панной установки сравнительный анализ годовых эксплуатационных затрат на обеззараживание сточных вод г. Уолдвика при нескольких альтернативных решениях (табл. 29).

По данным канадских специалистов (Trojan Technologies Inc., 1993г.), среднесрочные затраты на обеззараживание сточных вод с применением УФ-излучения намного ниже, чем при использовании хлора или озона. Среднегодовая стоимость обработки 1000 м сточных вод за 15 лет эксплуатации, включая капитальные вложения и эксплуатационные расходы, приведена в табл. 29.

В настоящее время в 35 странах мира действуют в общей сложности более 1000 водопогружных УФ-установок по обеззараживанию сточных вод с производительностью 10-30 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$. Современные зарубежные водопогружные УФ-установки, созданные на базе ртутных ламп среднего давления, позволяют обеззараживать сточные воды на 99,99% при производительности до 265 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$ в расчёте на один полностью автоматизированный блок, который компактно монтируется в бетонном открытом канале длиной 12 м, шириной 2,65 м и глубиной 3,5 м. В среднем один раз в году необходима замена УФ-ламп, ресурс которых составляет 8—12 тыс.ч; замена одной лампы занимает минутное время.

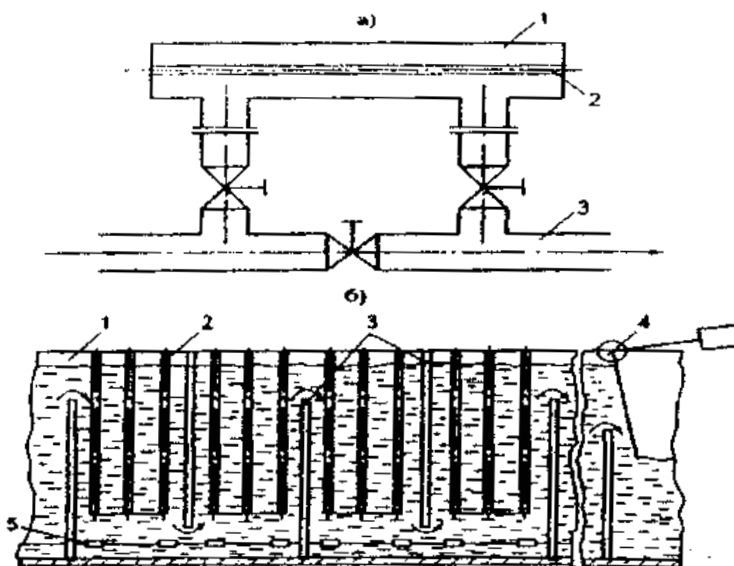


Рис. 18. Типы УФ-установок для обеззараживания воды

а - напорные установки (производительностью 3-50 м³/ч в расчете на индивидуальный источник УФ-излучения;

7 - камера УФ - облучения;

2 - источник УФ - излучения в кварцевом защитном кожухе;

3 - магистральный трубопровод;

6 - водопогружные (ненапорные) УФ-установки кассетно-модульного типа;

1 - лоток;

2 - кассеты (блоки) источников УФ-излучения в кварцевых защитных кожухах;

3 - перегородки для изменения направления движения воды в лотке;

4 - устройство для регулирования уровня воды в лотке;

5 - подача воздуха или воздушно-озоновой смеси в лоток с водой

Таблица 29

Вид обработки воды	Стоимость, тыс. USD
Сжиженный хлор, дехлорирование - SO ₂	107
Сжиженный хлор, дехлорирование – Na бисульфит	ПО
Гипохлорит- SO ₂	115
Гипохлорит- бисульфит	119
УФ — излучение (с учетом стоимости замены ламп)	65
Озонирование	162

Широкое применение находит УФ - излучение в практике обеззараживания питьевой воды. В [49] опубликован анализ накопленного некоторыми европейскими странами опыта эксплуатации УФ - установок для очистки питьевой воды. В Европе УФ-излучение используют для водоподготовки с 1955 г. В Швейцарии, Австрии, Норвегии в 1985 г. насчитывалось 1500 установок производительностью до 1000 м³/ч. В Голландии строится установка производительностью 18000 м³/ч. Под действием УФ—излучения в воде не появляется мутагенной активности, т. е. не образуются хронически токсичные побочные продукты. Эксплуатационные расходы на действующих станциях водоподготовки с применением УФ-излучения составляют 1 USD на обеззараживание 2000 м³ питьевой воды.

Более скромны масштабы применения УФ — излучения в практике водоочистки и водоподготовки в России и в Украине. Хотя в нашей стране УФ — технология внедрялась еще в 50-60-х гг., практическое применение нашли лишь установки напорного типа приложения с ограниченной пропускной способностью (типа БАКТ и ОВ-50). Водопогружные установки типа ОВ-3П-РКС производительностью до 3000 м³/ч, изготовленные экспериментальным заводом коммунального оборудования АКХ на базе ртутных ламп высокого давления, оказались невостребованными. Согласно [49], расход электроэнергии а обеззараживание питьевой воды с использованием отечественных УФ - установок не превышает 10-15 кВт*ч/м³, Тогда как на обработку природной воды из открытых источников водоснабжения - до 30Вт*ч/м³.

Авторы [49] начали свои исследования в области УФ-технологии водоочистки в середине 80-х гг. Первые водопогружные установки модульного типа были созданы в Институте химической физики РАН на базе ртутных ламп среднего давления (ДРЛ-400) и испытаны на очистных сооружениях Белгорода (1985-1987 гг.). В одном модуле, объединенном единой системой механической очистки защитных кварцевых кожухов ламп, монтировалось 6 ламп. Установка состояла из 24 модулей, объединенных попарно в кассеты, и погружалась в поток обрабатываемой воды. При действии УФ — излучения ртутных ламп среднего давления даже при затратах электроэнергии $10 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3$ возможно изменение химического состава сточных вод, выражающееся в скачкообразном изменении величины ХПК, окислении аммонийного азота, снижении содержания в воде ароматических углеводородов, образовании пероксида водорода.

Исследования на различных очистных сооружениях показали, что в коммунально-промышленных сточных водах как поступающих на биологическую очистку, так и прошедших очистные сооружения содержится большое количество веществ-восстановителей, титруемых пероксидом водорода. Попадая в водоем, эти вещества нарушают внутриводоемный круговорот окислительно-восстановительных эквивалентов в пользу формирования токсичного квази-восстановительного редокс-состояния природной водной среды. Сточные воды до их биологической очистки проявляли острую токсичность в отношении тест-организмов (инфузории *Tetrahymena pyriformis*), однако токсичность снималась добавками в воду пероксида водорода в количествах, стехиометрических по отношению к веществам-восстановителям, титруемым H_2O_2 , либо под действием УФ - излучения.

На основании проведенных исследований разработан способ интенсификации биологической очистки сточных вод за счет детоксикации осветленного стока перед поступлением его в аэротенк под действием УФ излучения при использовании водопогружных УФ установок на базе ламп среднего давления. Как показали производственные испытания, детоксикация стока под действием УФ - излучения приводит к улучшению физиологического состояния активного ила, что в свою очередь позволяет увеличить пропускную способность очистных сооружений на 20-30 % при одновременном улучшении показателей очистки сточных вод.

Как указывалось выше, для обеззараживания воды целесообразно использовать лампы низкого давления, характеризующиеся отсутствием высокотемпературных эффектов и простотой пускорегулирующей электроаппаратуры, а главное - обеспечивающие достижение бактерицидного эффекта при неизменности химического состава обрабатываемой воды (отсутствие побочных продуктов). В начале 90-х гг. Институтом химической физики разработаны водопогружные УФ - установки блочно-кассетно-модульного типа на базе отечественных ламп низкого давления (ДБ-60, ДРБ-36, ДРБ-60). Блоки (кассеты) устанавливаются в лоток (канал) обрабатываемой воды в количестве, необходимом для обеспечения требуемой степени обеззараживания воды. При этом объем обрабатываемой воды практически неограничен.

Таблица 29

Вид обработки	Стоимость, 1150, при производительности, тыс. м ³ /сут.			
	4	20	40	400
Хлорирование	8,2	5	4,2	3,5
Хлорирование + дехлорирование	11,5	7	5	4,5
Озонирование	42,5	23,2	20,7	15,7
уф - обработка	4,5	3,5	3,2	3

Водопогруженные УФ — установки кассетного типа с использованием ртутных ламп низкого давления решают проблему обеззараживания сточных вод перед выпуском их в водоемы и водотоки, так и проблему отказа от первичного хлорирования на существующих станциях водоподготовки без значительных изменений и практически без остановки технологического процесса водоподготовки.

В настоящее время действующих станций централизованного водоснабжения с заменой первичного хлорирования на УФ - обработку практически нет [49]. В 1995-1996гг. Институтом химической физики проведены производственные испытания водопогружной установки на Первомайской водопроводной станции г. Новгорода. Основным итог испытаний: УФ - обработка речной воды (р. Ока), поступающей на водопроводную станцию с насосов первого подъема, позволяет практически полностью убрать патогенную микрофлору (коли-индекс ≤ 3) при затратах электроэнергии 30 Вт*ч/м³. Химический состав воды при этом не меняется. Вторичное хлорирование обеспечивает требования ГОСТ к питьевой воде на выходе из резервуара чистой воды. Возникает вопрос, насколько оправдано использование первичного хлорирования с риском загрязнения питьевой воды токсичными веществами.

Будем исходить из трех очевидных положений:

- 1) природная вода, поступающая на станцию водоподготовки, должна быть обеззаражена без образования побочных токсичных продуктов;
- 2) питьевая вода, поступающая со станции водоподготовки в распределительную сеть, должна удовлетворять нормативным требованиям по микробиологической безопасности;
- 3) в распределительной сети должна быть гарантирована невозможность вторичного биологического загрязнения воды.

При этих посылках промежуточное нормирование микробиологических показателей на промежуточных стадиях водоподготовки (рост микроорганизмов в отстойниках и на фильтрах) представляется излишним (ныне действующим СНиП не предусмотрено). В то же время внутренний контроль за состоянием отстойников и фильтров необходим для определения частоты проведения операций по их очистке (дезинфекции).

По второму и третьему из указанных положений в настоящее время придется мириться с существующей (надеемся, временно) практикой вторичного

хлорирования воды. Альтернатива - использование вместо вторичного хлорирования вторичного обеззараживания воды УФ—излучением (до или после РЧВ) и широкое использование локальных УФ—установок для обеззараживания воды непосредственно перед потребителями коллективного или индивидуального пользования (в комбинации с обычными фильтрами и сорбентами).

В настоящее время в России и в Украине действует целый ряд предприятий, выпускающих бактерицидные установки производительностью от 1 до 1000 м³/ч и более. Как у нас в стране, так и за рубежом непрерывно идет совершенствование конструкций УФ-установок за счет применения новых эффективных источников излучения, современных конструкционных материалов, оптимизации геометрии камер облучения, автоматизации контроля и управления работой. Одним из путей совершенствования обеззараживания воды с использованием УФ-облучения является технология комплексного воздействия на обрабатываемую воду УФ-лучей с небольшими дозами окислителей, что может повысить эффективность метода.

Однако методу присущи и серьезные недостатки, существенно ограничивающие область его применения[50]:

1. Обработка воды с более высокими, чем регламентируется, показателями мутности, цветности, содержания железа может представлять опасность для здоровья потребителей. Микроорганизмы, особенно в поверхностной воде, могут быть связаны с компонентами взвеси, находиться внутри конгломератов, что защищает их от действия УФ-лучей.

2. Взвесь в воде неоднородна, различные ее частицы по-разному поглощают, отражают, экранируют УФ-лучи, что учитывалось ранее при определении области применения, наличие взвеси может препятствовать взаимодействию необходимой дозы УФ — лучей с микроорганизмами приводя к недостаточной эффективности обеззараживания.

3. В некоторых условиях применения УФ — облучения возможны замедление роста оставшихся жизнеспособными бактерий, темновая репарация, фотореактивация и стимуляция развития бактерий и некоторых водных простейших. Поврежденные, но вполне жизнеспособные бактерии могут не выявиться в стандартном санитарно-бактериологическом контроле качества питьевой воды, что создает ошибочное суждение об эпидемической безопасности исследуемой воды.

4. При первичном обеззараживании поверхностной воды УФ - облучением создается опасность загрязнения водными организмами очистных сооружений, развития на них бактерий, фито- и зоопланктона, выноса их в фильтрат.

5. Взгляд на УФ-облучение как метод обеззараживания воды, исключаящий влияние на ее химические показатели, поддерживается не всеми исследователями. Имеются научные публикации, в которых высказываются мнения о необходимости дополнительного изучения возможности образования под действием УФ - лучей ассимилируемого органического углерода, повышающего биологическую нестабильность воды, и других нежелательных побочных продуктов, о существовании потенциальной угрозы формирования токсичных продуктов фотолиза, и даже имеется информация о некотором повышении мутагенной активности воды после УФ —обеззараживания [50].

6. Ультрафиолет, не имея пролонгирующего действия, не в состоянии защитить подаваемую в сеть воду от вторичного загрязнения. Необходима «консервация» воды с целью сохранения ее санитарно-микробиологических показателей и эпидемической безопасности. Такую гарантию на сегодняшний день может дать только хлорирование воды, в противном случае последствия непредсказуемы.

7. Известно, что в процессе транспортирования воды по сети ряд показателей ее качества претерпевает изменения, зависящие не только от свойств исходной воды, но и от состояния сети, ее протяженности, наличия резервуаров чистой воды и уровня эксплуатации. Например, развитие в трубопроводах биологических обрастаний и отложений, процессов биокоррозии, вызываемых не только контролируруемыми, но и не нормируемыми в питьевой воде организмами, приводит к ухудшению санитарно-технического состояния распределительных систем, отрицательно сказывается на качестве воды, транспортируемой потребителю, вплоть до несоответствия ее нормативным требованиям по органолептическим, санитарно-микробиологическим показателям. Известно также, что вторичное микробное загрязнение воды в сети возможно и в результате проникновения загрязнения из воздуха, при ремонтно-восстановительных работах или нарушении герметичности трубопроводов вследствие образования трещин, свищей, расстройств стыков и других дефектов, особенно, если при этом в трубопроводах снижается давление и возможно образование частичного вакуума. Отсюда возникает ряд требований к состоянию сети и ее эксплуатации для предотвращения вторичного загрязнения воды в сети при условии отсутствия в ней остаточного хлора или хлорреагента.

В Западной Европе лишь отдельные водопроводы, соответствующие этим требованиям (в основном небольшие и облицованные), работают без химического обеззараживания воды. В Украине и в России, как известно, водопроводная сеть на большинстве водопроводов выполнена из чугунных и стальных труб без внутренней облицовки, подверженных коррозии и обрастанию биопленкой. Степень износа сети достигает 30-70%. Все это приводит к частым авариям и повреждениям, интенсивность которых в расчете на 1 км/год в 2-3 раза выше, чем на Западе. Резервуары чистой воды часто не оборудованы фильтрами-поглотителями, что приводит к проникновению в воду загрязнений из воздуха. К этому следует добавить, что и уровень эксплуатации сети на отечественных водопроводах зачастую ниже, чем за рубежом. Поэтому в наших условиях вероятно вторичного загрязнения воды при ее транспортировании к потребителю существенно выше, чем на зарубежных водопроводах. Нельзя однозначно переносить зарубежный опыт подачи воды в сеть без обеззараживания или только с обработкой УФ - облучением, не рискуя вероятным микробиологическим загрязнением этой воды в сети.

Таким образом, обеззараживание воды УФ - облучением имеет вполне определенную, достаточно ограниченную область применения и никак не может повсеместно рассматриваться как альтернатива надежному в санитарно-эпидемиологическом отношении методу обеззараживания с использованием хлор-реагентов.

К сожалению, в последние годы участились публикации, в которых авторы без должного обоснования пропагандируют расширение области применения

ультрафиолетовых лучей при обработке воды, рекомендуют повсеместное применение «экологически чистого» метода на очистных сооружениях любой производительности. Предлагается практиковать метод в крупных городах, имеющих протяженные водопроводные сети и т. п.

Подобный подход к решению задач обеспечения санитарной надежности систем водоснабжения недопустим. Однако в России он провоцируется введением в действие МУ 2. 1. 4. 719-98 «Санитарный надзор за применением ультрафиолетового излучения в технологии подготовки питьевой воды». Сформулированная область применения документа (п. 1) выглядит корректно, пока это касается только проектирования и эксплуатации УФ-установок. Однако в дальнейшем (п. 3.12; пп. 4.1-4. 3) оказывается, что документу авторы предназначили намного большую область применения, вступив в противоречие со СНиП 2. 04. 02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения», исследовательские работы авторов МУ хорошо известны.

Они широко публикуются [50] и представляют определенный интерес. Однако ни эти работы, ни зарубежные публикации на ту же тему не содержат достаточно убедительных доказательств, позволяющих расширить область применения УФ - обеззараживания при подготовке питьевой воды.

К числу недостатков МУ относится также употребление без специальных пояснений понятий «результаты опытно-технологических испытаний», «технологические исследования», «технологический регламент». Нельзя ограничиться их традиционным толкованием. Требуется уточнить специфические критерии оценки эффективности обеззараживания, методы микробиологического анализа воды, особенности эксплуатации сооружений и т. п. Подобная ситуация сложилась в связи с тем, что к подготовке МУ были привлечены только гигиенисты и совершенно не учитывался опыт специалистов в области водоподготовки и транспортирования питьевой воды, накопленный ими обширный практический материал.

Исходя из сказанного выше, считаем, [50] что изложение в МУ вопроса применения УФ - излучения в технологии подготовки питьевой воды в системах коммунального водоснабжения является неприемлемым. С нашей точки зрения, [50] необходимо продолжить более углубленное и всестороннее изучение области применения УФ - обеззараживания с учетом различного качества обрабатываемой воды, глубины обеззараживания, возможности влияния на химический «состав воды и его гигиенического значения, на санитарное состояние очистных сооружений и т. п. До получения достоверных результатов следует приостановить действие МУ 2. 1. 4. 719-98 и при подготовке питьевой воды использовать УФ-установки, в том числе нового поколения, в традиционной области применения.

Кроме того, разработанное оборудование рассчитывалось для обеззараживания воды с физико-химическими показателями качества, соответствующими нормативным требованиям на питьевую воду (цветность не более 20 град, содержание железа не более 0, 3 мг/л, мутность не более 1, 5 мг/л). В результате экспериментальных исследований для УФ-установок определили тип и количество УФ - ламп достаточных для достижения коли-индекса < 3 при исходном его значении не более 1000. Попытки применения УФ-установок на воде худшего качества, без изменения конструктивных особенностей и мощности оборудования приводили к неудовлетворительным результатам. Исходя из этого

сложилось устойчивое мнение об ограничении области применения УФ-облучения только для обеззараживания подземных вод с высокими физико-химическими показателями и низким уровнем микробной загрязненности.

Широкое внедрение УФ-обеззараживания в технологию подготовки воды невозможно без всесторонней проработки технологических и нормативных аспектов применения УФ - метода [51]. Поэтому совершенствование характеристик УФ - оборудования производилось на основе результатов опытно-исследовательских работ, выполненных в нашей стране и за рубежом и направленных на выявление эффективности действия УФ - излучения на различные виды микроорганизмов при облучении природных и сточных вод различного качества и состава. Проводились циклы опытно-промышленных испытаний и обобщались результаты эксплуатации промышленных УФ-станций на действующих очистных сооружениях водопровода.

Наибольший интерес представляет влияние на эффективность обеззараживания УФ - излучением общих физико-химических показателей качества воды: мутность, цветность, содержание железа, а также микробиологической загрязненности. Большой цикл исследований в этом направлении проведен в 1994-1997 гг. в НИИ гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана, в которых, в частности, определялась эффективность воздействия УФ - излучения на индикаторные микроорганизмы: общие колиформы (исходная концентрация до 700 тыс. ед./л), термотоллерант колиформы (до 240 тыс. ед/л), колифаги (до 23 тыс. Нд/л), споры клостридий (до 4, 6 тыс. ед/л). В исследованиях использовалось УФ - оборудование НПО «ЛИТ» на пампах низкого давления. Облучению подвергались поверхностные воды р. Яузы и прудов, отобранных в районе г. Мытищи Московской обл., а также разбавленные сточные воды с цветностью в пределах 5-50 град, мутностью 0, 25-30 мг/л, перманганатной окисляемостью 6-14 мг/л. Установлено, что при выборе достаточной дозы облучения по всем тестируемым микроорганизмам возможно обеспечить обеззараживание до нормативного качества питьевой воды. В этих экспериментах наибольшая устойчивость к воздействию УФ - излучения отмечалась у спор клостридий [51].

Таблица 31

Место проведения исследований	Водо-источник	Дата	Мутность, мг/л	Цветность, град.	общин колиформы		Лаборат.
					исходная вода, ед./л	вода после облучения, ед./300 мл	
г. Тверь	р. Волга	июнь 1998г.	3,9	80	6200	Отсутствует	ГЦСЭН г. Твери
г. Кострома	р. Волга	январь 1997г.	3,2	51	240		ВОС
		март 1997г.	2,1	32	70000		
г. Ктнель	р. б. Кинель	январь 1997г.	-	20	1100000		РайЦГС
г. Невинномыск	р. Кубань, большой Ставропольский канал	ноябрь 1999г.	23,6	15	3000		ВОС
Ставропольская ГРЭС	Новотроицкое	июль 2000г.	6,3	25	3600	ОСХПВ	

	водохранилище					
г. Пермь	р. Кама	октябрь 1997г.	2	48	7000	НФС

Экспериментальные работы по выявлению эффективности УФ - обеззараживания при различном качестве воды продолжили серией исследований на действующих сооружениях водоподготовки из подземных и поверхностных источников водоснабжения. Такие исследования НПО «ЛИТ» проводил совместно со специализированными лабораториями на более чем 40 объектах водоснабжения. УФ-облучению подвергалась вода с различными физико-химическими и микробиологическими показателями. Некоторые результаты этих исследований приведены в табл. 31. Влияние качества воды на УФ - обеззараживание наблюдалось также в процессе эксплуатации промышленных УФ - станций. В табл. 32 приведена выборка результатов обеззараживания воды р. Б. Кинель при эксплуатации УФ - станции в г. Отрадном в экстремальные (в отношении качества воды) периоды. В ходе проведенных работ получен большой объем экспериментальных данных, подтверждающих вывод о возможности эффективного обеззараживания УФ - излучением в широком диапазоне качества воды. В то же время абсолютные значения требуемых для качественного обеззараживания доз облучения различаются в зависимости от источника водоснабжения.

Таблица 32

Дата	Показатель исходной воды			ОКБ после обеззараживания, ед./100мл	
	ОКБ, ед./ 100 мл	мутность, мг/л	прозрачность, см	после УФ -установок	на выходе НФС
22.02.1998г.	2500000	3,1	>30	Отсутствует	Отсутствует
21.04.1998г.	98000	107	3		
20.04.1999г.	13000	107	2		
19.07.1999г.	280000	3,8	>30		
26.11.1999г.	360000	2,9	>30		
21.04.2000г.	909	107	3		
13.04.2000г.	17000	85	3		

Поэтому очень важным для УФ - технологии является определение минимальной дозы облучения, при которой обеспечивается стабильность результатов обеззараживания воды. В настоящее время в России и в Украине, санитарными нормативами [51] установлена минимальная доза УФ - облучения для обеззараживания при водоподготовке не менее 16 мДж/см². Этот нормативный показатель определен с учетом обобщения многолетнего практического опыта применения УФ — метода в системах: водоснабжения Европы и Америки, где давно установлены подобные нормативы. Аналогичные результаты получены в процессе исследований, проведенных на специальном гидравлическом стенде, позволяющем тестировать эффективность обеззараживания УФ - установок производительностью от 1 до 200 м³/ч. В экспериментах на УФ - установки подавалась вода с содержанием микроорганизмов по колииндексу 23-

7000 ед./л. Эффективность обеззараживания определялась в НИИ гигиены им Ф.Ф. Эрисмана по пробам воды до и после обеззараживания. Различные дозы облучения в установках обеспечивались за счет изменения величины коэффициента пропускания водой УФ — излучения. В результате экспериментов установлено, что при значении дозы УФ — излучения выше 15 мДж/см^2 достигается 100-процентная эффективность обеззараживания. При более низких дозах имели место результаты с коли-индексом от 3 до 23 ед./л даже при исходном значении по колииндексу до 1000 ед./л. Обеспечение в УФ — установке достаточной дозы УФ-излучения является также полной гарантией решения проблемы возможного восстановления (реактивации) жизнеспособности микроорганизмов после УФ — обеззараживания, так как известно, что при высоких дозах процессы повреждения становятся необратимыми [51].

В последние годы за рубежом проведено большое количество экспериментальных исследований возможности применения УФ — метода при решении проблемы обеззараживания воды в отношении вирусов и простейших. Установлено, что доза облучения 16 мДж/см^2 может обеспечить снижение концентрации вирусов гепатита А до 3 порядков, ротавирусов до 2 порядков, цист лямблий и ооцист криптоспоридий более чем на 2, 5 порядка [51]. При необходимости достижения более высокой степени инактивации этих микроорганизмов дозы облучения могут быть увеличены. Даже сравнительно высокие дозы УФ-излучения практически не вызывают образования побочных веществ, негативно влияющих на живые организмы. Подробный анализ работ по этой теме приведен в обзоре Американского агентства по защите окружающей среды 118 EPA [52]. При этом не утверждается, что во всех случаях не происходит изменение химического состава воды. Однако количество образующихся побочных соединений при обработке воды УФ — излучением несравнимо меньше, чем при хлорировании и озонировании. Именно этот факт обуславливает значительный рост распространения УФ — технологии за рубежом.

Интересным представляется опыт долговременной эксплуатации промышленных станций УФ — обеззараживания большой производительности в системах подготовки воды из поверхностных источников. В настоящее время наиболее крупной является УФ — станция производительностью 400 тыс. м³/сут на очистных сооружениях водопровода Автозаводского района г. Тольятти Самарской обл. Внедрению УФ — станции предшествовал комплекс научно-технических исследований, проведенных ГНЦ РФ НИИ ВОДГЕО на очистных сооружениях и направленных на разработку технологических решений, позволяющих обеспечить требования СанПиН 2. 1. 4. 559-96. В ходе исследований установили, что основной проблемой являлось наличие в составе питьевой воды повышенного содержания ХОС (хлорорганических соединений), образующихся при двухступенчатом хлорировании воды, отбираемой из Куйбышевского водохранилища. Определено, что в основном ХОС образуются на стадии первичного хлорирования, и выявлена практически линейная зависимость количества ХОС от суммарной дозы вводимого хлора (рис. 19). На основании результатов технологических исследований и опытно-промышленных испытаний на установке, моделирующей технологическую схему очистных сооружений, рекомендовано максимально сократить дозы первичного хлорирования, вплоть до полного его исключения, внедрить для обеспечения

качественного обеззараживания УФ — оборудование перед смесителями очистных сооружений и оптимизировать технологию коагуляционной обработки воды, позволяющую снизить содержание органических соединений.

Для выявления практической эффективности и стабильности УФ - обеззараживания речной воды в 1995 г. внедрена первая очередь УФ - станции. Результаты контроля в течение года эксплуатации УФ - комплекса производительностью 100 тыс. м³/сут, проводимого ЦГСЭН Автозаводского района по программе, разработанной НИИ гигиены иМ. Ф. Ф. Эрисмана, показали высокую эффективность и стабильность обеззараживания речной воды при отсутствии первичного хлорирования. Эти результаты опубликованы в журнале «Водоснабжение и санитарная техника» № 12 за 1996 г.

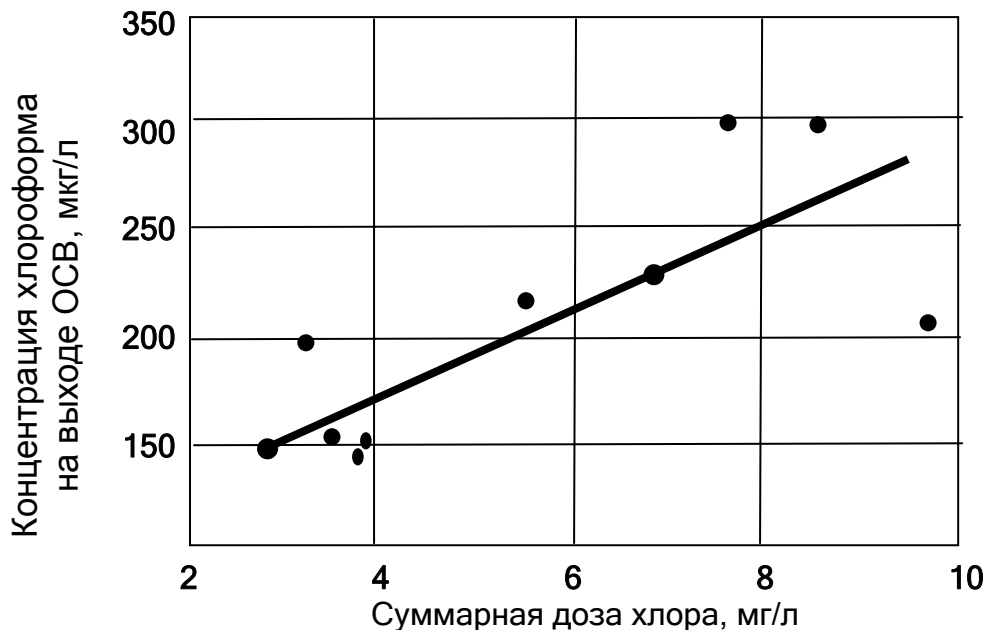


Рис.19. Зависимость концентрации хлороформа в питьевой воде от дозы хлора на ОСВ г. Тольятти

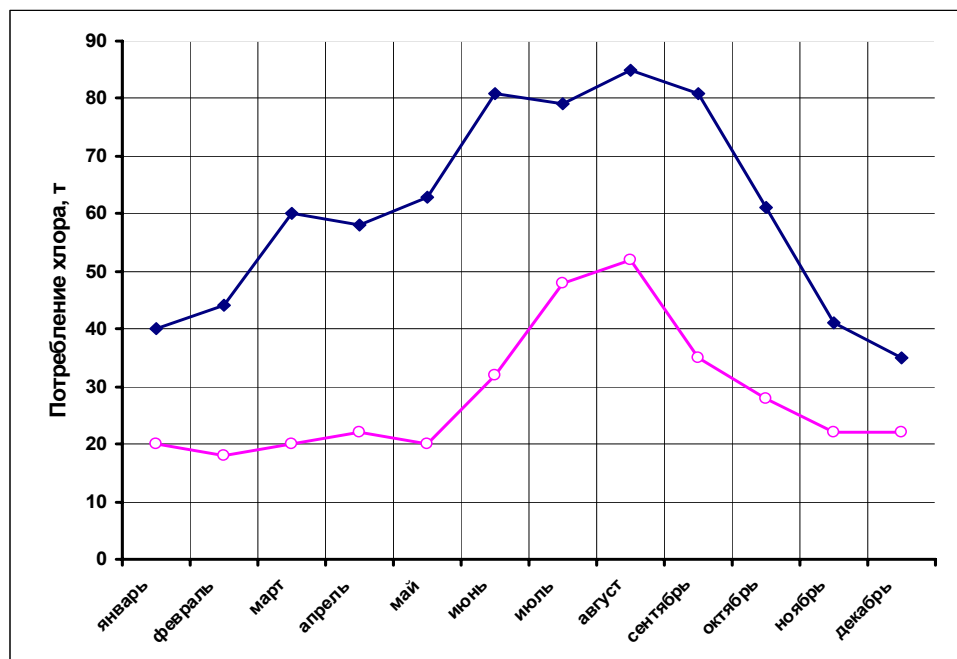


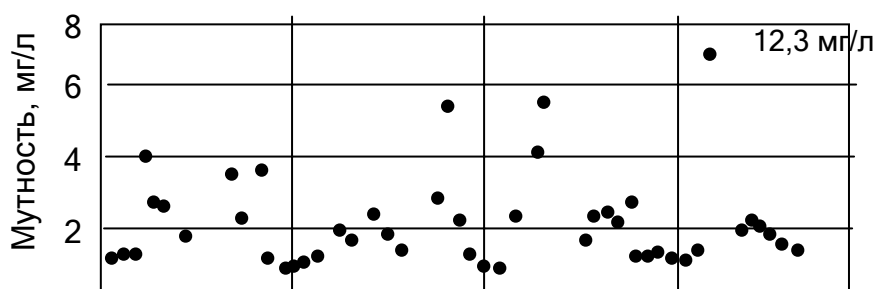
Рис.20. Потребление хлора ОСВ г. Тольятти
1 - 1995 г.; 2 - 2000 г.

В 1997 г. введен в эксплуатацию полный комплекс станции УФ — обеззараживания, 16 установок УДВ 1000/288 производства НПО "ЛИТ" установлены в технологической схеме на начальном этапе очистки - перед смесителями очистных сооружений. Результаты работы очистных сооружений за три последних года свидетельствуют о том, что применение УФ — обеззараживания позволило полностью отказаться от первичного хлорирования речной воды в холодное время года и более чем в 4 раза (с 6 до 0, 5-1, 5 мг/л) снизить его дозу в летний период. Как следствие, на очистных сооружениях значительно сократилось потребление хлора. На рис. 20 приведены фактические данные по использованию хлора в 1995 г. до внедрения УФ — оборудования и в 2000 г. после его внедрения. С учетом прироста потребления воды за этот период сокращение потребления хлора составило 350 т/год.

В 1998-2000 гг. НИИ ЭЧи-ГОС им А. Н. Сысина и ГНЦ Ф НИИ ВОДГЕО в различные периоды года проводили Расширенные исследования химического состава речной и питьевой воды. Определялось более 100 соединений, которые наиболее распространены в поверхностных источниках или могут образовываться при обеззараживании. Из них в концентрациях более порога чувствительности метода обнаружено 36 веществ. После УФ облучения заметных изменений состава воды не обнаружено. После вторичного хлорирования периодически обнаруживалось только 3 вещества (винилхлорид, хлороформ, дихлорбромметан) в концентрациях порядка 0 ПДК, т. е. практически решена проблема снижения содержания ХОС в питьевой воде.

За весь рассматриваемый период наблюдалась высокая эффективность обеззараживания. В таблице 33 приведены статистические данные контроля микробиологических показателей качества воды, выполненного ГЦСЭН Автозаводского района г. Тольятти в речной воде до и после УФ — обеззараживания, на выходе очистных сооружений и в распределительной водопроводной сети города. За четыре года эксплуатации обеспечивалось стабильное обеззараживание речной воды УФ излучением до нормативных требований, а при использовании комбинированной схемы обеззараживания (УФ вторичное хлорирование) не зафиксировано ни одного неудовлетворительного результата в сети городской водопровода.

Физико-химические показатели качества речной воды за этот период приведены на рис. 23, из которой следует, что нормативное обеззараживание стабильно достигалось в достаточно широком диапазоне: мутности до 12, 3 мг/л, цветность - до 35 град, окисляемость - до 10,7-мг/л.



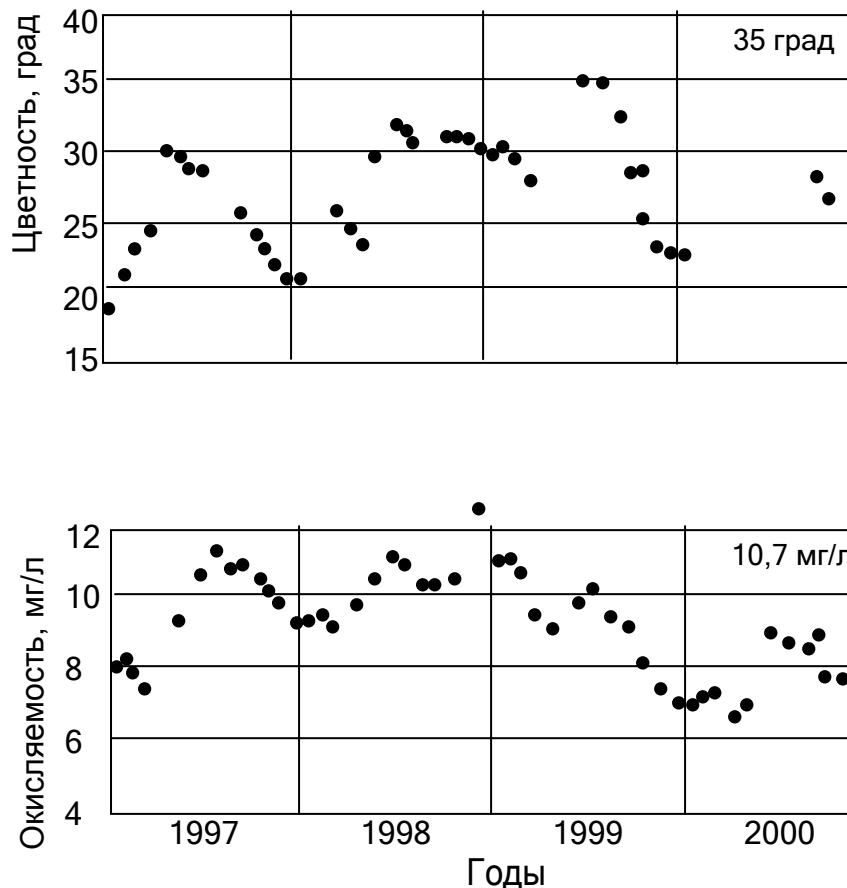


Рис. 23. Показатели качества воды, поступающей на УФ — обеззараживание на ОСВ г. Тольятти

Источником централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения г.Отрадного является р. Б. Кинель. Большую часть года (за исключением периода паводка) качество речной воды по физико-химическим показателям соответствует источнику водоснабжения первого класса согласно ГОСТ 2 761-84, питьевая вода на выходе НФС по физико-химическим показателям соответствует требованиям СанПиН 2. 1.4. 559-96.

В то же время вода р. Б. Кинель характеризуется чрезвычайно высоким уровнем микробиологического загрязнения. По результатам анализа бактериологической лаборатории НФС за 1997-2000 гг. среднее количество бактерий группы кишечной палочки в исходной воде составило 20 тыс. ед./л, а максимальное достигало 3600 тыс. ед./л. До октября 1998 г. обеззараживание воды на НФС г. Отрадного производилось только методом хлорирования. Хлор вводился в двух точках: в речную воду (на входе очистных сооружений) и перед резервуарами чистой воды. В связи с высоким уровнем микробной загрязненности речной воды на НФС постоянно применялось прехлорирование воды. Практика работы НФС показала, что для обеспечения нормативов бактериологического качества питьевой воды на выходе НФС требовалась концентрация остаточного хлора до 2 мг/л, а в определенные периоды до 2, 5-3 мг/л. Однако до 9 % проб на выходе НФС не соответствовали нормативным требованиям.

Таблица 33

Индекс ЛКП исходной воды	Результаты обеззараживания воды			
	после УФ - установок	на выходе сооружений	в распределительной сети города	
	количество отобранных проб, шт.	% отрицательных проб		
$\leq 50 - 2 \cdot 100$ (ЛКП)	1207	2,8	<1	<1

С целью увеличения надежности обеззараживания, исключение перехлорирования воды и снижения концентрации остаточного хлора в октябре 1998г. на НФС г. Отрадного внедрили станцию УФ - обеззараживания производительностью 75 тыс. м³/сут. четыре установки типа УДВ1000/288 поместили перед смесителями очистных сооружений в здании камеры переключения.

Контроль за эффективностью обеззараживания воды на УФ — комплексе ведется ежедневно в микробиологической лаборатории НФС. Контрольные отборы проб периодически осуществляются городской ЦГСЭН. Всего за период эксплуатации провели более 650 анализов воды после УФ — установок. На рис. 24 приведены результаты уф — обеззараживания воды по колииндексу за 1999г. Несмотря на высокое исходное микробиологическое загрязнение воды, УФ — комплекс уже на предварительном этапе очистки обеспечивает стабильное снижение показателя коли-индекса практически до качества питьевой воды. Даже в период паводка, когда мутность воды достигала 130 мг/л, а доза облучения в УФ — установках снижалась ниже 16 мДж/см², отмечалась высокая эффективность обеззараживания (70 % проб имели качество питьевой воды). Согласно заключению ЦГСЭН г. Отрадного, внедрение УФ — комплекса позволило значительно улучшить микробиологическое качество питьевой воды на выходе НФС. Количество проб питьевой воды, имеющих превышение норматива по содержанию остаточного хлора в распределительной сети города, снизилось с 60 до 4, 7 %. С целью увеличения надежности обеззараживания, исключения перехлорирования воды и снижения концентрации остаточного хлора в октябре 1998 г. на НФС г. Отрадного внедрили станцию УФ — НФС г. Отрадного. Внедрение станции УФ — обеззараживания позволило изменить регламент подачи хлора, значительно снизив его дозы. Графики потребления хлора в 1997 г. до внедрения станции и в 2000 г. после внедрения приведены на рис. 25, количество используемого на НФС хлора сократилось на 65 т/год.

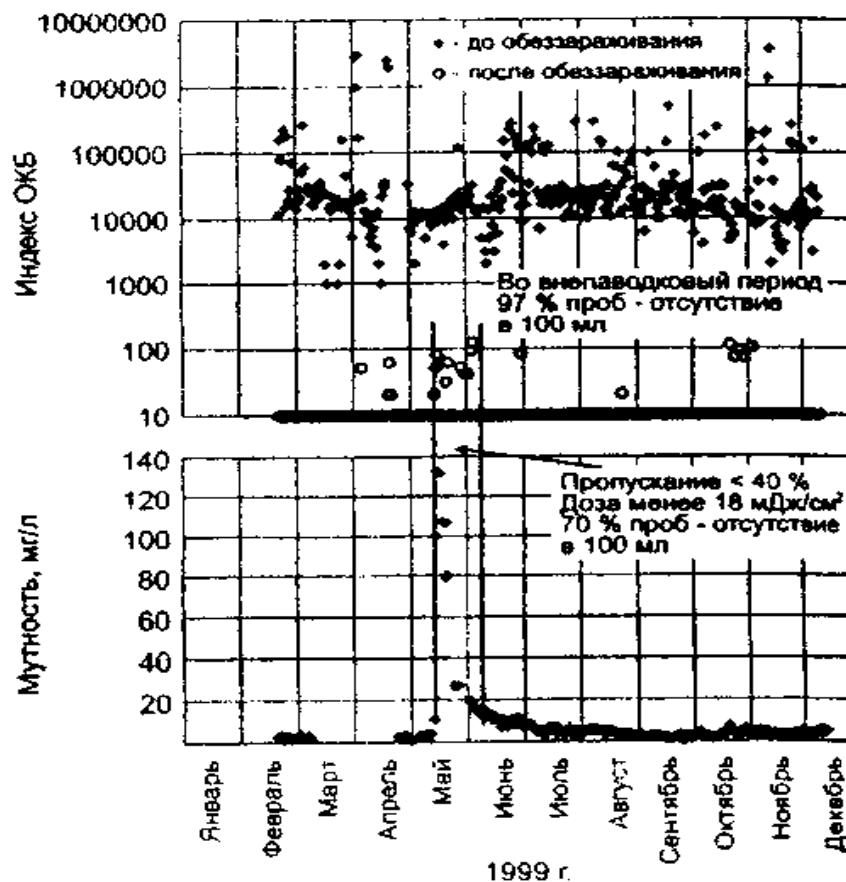


Рис. 24. Эффективность УФ-обеззараживания и мутность воды на НФС г. Отрадного

При эксплуатации новых схем обеззараживания на ОСВ г. Тольятти и НФС г.Отрадного практически не возникало проблем с поддержанием санитарного состояния емкостных сооружений.

Результаты экспериментальных исследований и опыт долговременной промышленной эксплуатации УФ комплексов большой производительности подтверждают возможность эффективного применения УФ — метода в широком диапазоне качества воды по физико-химическим и микробиологическим показателям.

Таким образом, вполне реально можно рассматривать применение УФ — метода при подготовке воды из поверхностных источников водоснабжения при решении задач по обеззараживанию до требований санитарных нормативов и сокращению содержания ХОС в питьевой воде посредством снижения доз первичного хлорирования или полного его исключения. Роль и место УФ — излучения должно рассматриваться исходя из конкретной технологической схемы и в сочетании с ней. Размещение УФ — оборудования возможно перед очистными сооружениями или после резервуаров чистой воды (г. Хельсинки). При этом УФ — излучение используется для обеззараживания воды непосредственно на очистных сооружениях, а консервирующее обеззараживающее действие в

разводящих водопроводных сетях во всех случаях обеспечивается посредством ввода хлора или хло-раминол [51].

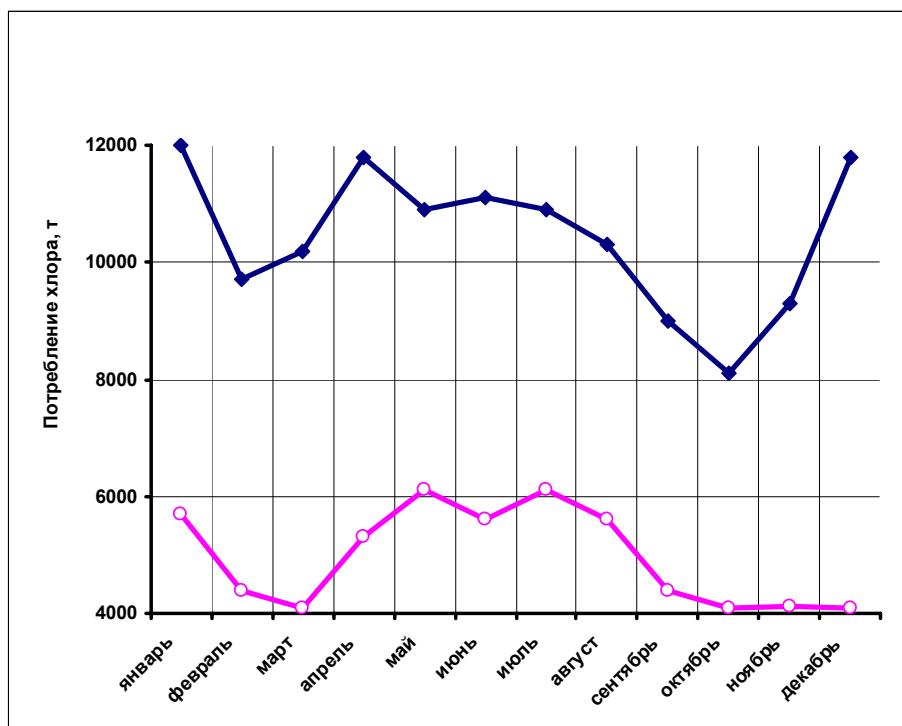


Рис 25 Потребление хлора НФС г. Оградного
1-1996г.; 2-2000 г.

Обеззараживание - важнейший этап подготовки воды, целью которого является создание барьера при поступлении патогенных микроорганизмов к человеку. Известно, что чувствительность различных видов микроорганизмов к воздействию дезинфектантов неодинакова. Например, эффективность действия хлора уменьшается в десятки раз последовательно в ряду; бактерии - бактериальные споры - вирусы - цисты простейших [53]. При этом выбор максимальных рабочих доз для конкретного метода обеззараживания должен производиться исходя из необходимости удаления наиболее устойчивых микроорганизмов. Учитывая, что именно вирусы и простейшие являются пороговыми микроорганизмами, определяющими эффективность обеззараживания, эти показатели внесены в новый СанПиН. Мониторинг содержания колифагов и вирусов в водоисточниках и питьевой воде в Украине и в России свидетельствует о недостаточной эффективности существующих схем водоподготовки, использующих хлорирование. Так Госсанэпиднадзор Украины регулярно публикует данные о вспышках вирусных инфекционных заболеваний водного происхождения.

В США и странах Западной Европы наличие в поверхностных и сточных водах цист патогенных простейших рассматривается как одна из наиболее серьезных проблем водоподготовки, поскольку эти микроорганизмы являются самыми устойчивыми к воздействию хлора. Институтом медицинской паразитологии и тропической медицины им. Е. И. Марциновского проведены исследования поверхностных источников и питьевой воды в Московской, Астраханской, Ленинградской, Амурской, Белгородской областях, Хабаровском и Приморском

краях, Чукотском, Таймырском автономных округах. Результаты исследований показали, что по паразитологическим показателям вода небезопасна для здоровья населения. В поверхностных водоемах они обнаруживались в 56, 8 %, в питьевой воде - в 13 % исследованных проб. Таким образом, объективно существует проблема обеспечения качества питьевой воды по вирусным и паразитологическим показателям.

В настоящее время в системах водоподготовки и водоотведения активно внедряется метод УФ — обеззараживания. Накоплен большой статистический материал, доказывающий высокую эффективность ультрафиолетового излучения по отношению к патогенным и индикаторным бактериям. Однако опубликованные данные по воздействию ультрафиолетовых лучей на вирусы и цисты патогенных простейших противоречивы. В ряде зарубежных исследовательских работ, проведенных в 1997-2000 гг., утверждается, что УФ — облучение дозами 16-40 мДж/см² достаточно для инактивации вирусов и цист на 3-4 порядка [53]. В то же время в литературе отсутствуют данные о результатах обеззараживания воды в отношении вирусов и цист патогенных простейших в процессе промышленной эксплуатации УФ-систем.

Учитывая важность проблемы, в 2001 г. НПО «ЛИТ» совместно с лабораторией санитарной микробиологии НИИ экологии человека и охраны окружающей среды им. А. Н. Сысина и отделом медицинской гельминтологии ИМП и ТМ им. Е. И. Марциновского провели цикл работ по изучению эффективности воздействия УФ — излучения на вирусы, колифаги, цисты и ооцисты патогенных простейших. Работы выполнялись в несколько этапов. Вначале проводились испытания в лабораторных условиях при переменных дозах УФ — излучения и различной исходной концентрации микроорганизмов. На втором этапе исследованиям подвергались пробы воды, отобранные на промышленных станциях УФ — обеззараживания до и после УФ-облучения. На первом этапе исследований в Дехлорированную питьевую воду вносилась лабораторная сыворотка вируса полиомиелита с различной концентрацией микроорганизма - порядка 100, 1000 и 10 000 ед. в 100 мл - и лабораторная сыворотка, содержащая колифаги MS-2 в таких же концентрациях. Облучение проводилось УФ - лампами низкого давления дозами 10-60 мДж/см² на приборе ПИКЧ. Всего в этой серии экспериментов проведено 108 модельных облучений. В качестве тест-объектов для исследования эффективности воздействия УФ — излучения на простейшие использовались максимально очищенные взвеси жизнеспособных (в 92-98 %) ооцист *Cryptosporidium parvum*, полученные от больных криптоспоридиозом телят, и цисты *Lambia intestinalis*, выделенные от доноров - лиц-цистоносителей. Концентрация цист и ооцист составляла 100, 1000, 10 000 экземпляров патогена (с 5-процентным отклонением в ту или другую сторону) в 1 мл взвеси. В общей сложности проведено 414 исследований, 378 из которых сопровождались заражением животных, а 108 исследований были контрольными.

На втором этапе отбор проб производился на очистных сооружениях водоподготовки городов Отрадного и Тольятти Самарской обл., в схемах которых используется УФ-обеззараживание. Источником централизованного питьевого водоснабжения в г. Отрадном является р. Большая Кинель. Производительность городских очистных сооружений (НФС) 75 тыс. м³/сут. В составе станции УФ-

обеззараживания с 1998 г. эксплуатируются четыре установки типа УДВ 1000/288 на УФ-лампах низкого давления. На водопроводных очистных сооружениях Автозаводского района г. Тольятти производительностью 405 тыс. м³/сут. очистке подвергается вода из Куйбышевского водохранилища. Станция УФ-обеззараживания введена в эксплуатацию очередями в 1995-1996 гг. и включает 16 установок типа УДВ 1000/288 с УФ-лампами низкого давления. Отбор проб производился до и после УФ-установок и из резервуара чистой воды. Исследуемая вода в объеме 30 л коагулировалась и отстаивалась, после чего осадок доставлялся в НИИ МПиТМ для проведения анализов. Работы проводились с сентября 2000г. по июнь 2001 г.

Анализы на содержание колифагов выполнялись по методикам, изложенным в МУ 4. 2. 671-97. Посев осуществлялся на газон *E. coli*. Учет (БОЕ/л) производился путем подсчета количества выросших бляшек в пересчете на посеянный объем. Анализ на содержание энтеровирусов осуществлялся путем посева исследуемых проб на культуру рабдомиосаркомы матки. Количественный учет производился по характерным очагам поражения, вызванным вирусом полиомиелита.

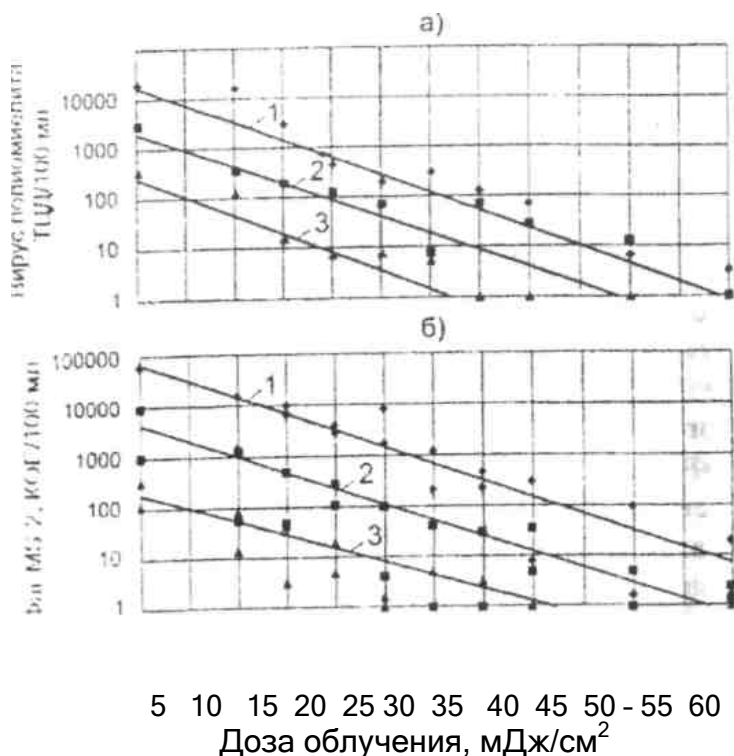


Рис.26. Зависимость степени обеззараживания микроорганизмов от дозы облучения а - вирус полиомиелита

а – вирус полиомелита. ТЦД₅₀/100 мл: 1 - 24000; 2 - 2600; 3 - 400;
б - колифаги, БОЕ/100 мл: 1 – 60 000; 2 – 3000; 3-200

Таблица 34

Доза облучения, мДж/см ²	Количество мышей в опытах при исходной концентрации патогенных простейших в воде			
	100 экз/мл		1000 экз/мл	
	всего	заболевших	всего	заболевших
Цисты лямблий				
0	9	9	9	9
16	15	0	15	6
40				1
80				
Ооцисты криптоспоридий				
0	9	9	9	9
16	15	0	15	5
40				0
80				

Для изучения инвазионных свойств ооцист и цист протозойных патогенов до и после облучения использовались биопробы на 2-5-дневных белых мышах (для криптоспоридий) и месячного возраста и старше (для лямблий). Инвазионный материал вводился перорально в объеме 0, 2 мл. По истечении 7-8-дневного срока исследовались фекалии животных на присутствие в них ооцист криптоспоридий и цист лямблий с использованием специфической для ооцист криптоспоридий окраски карболовым фуксином по Цилю-Нильсону, 2-процентным раствором Люголя для цист лямблий, а также метода иммунофлуоресцентной микоскопии с использованием моноклональных сывороток к ооцистам *Cryptosporidium parvum* и цистам *Lambliia intestinalis* (Yiardin lamblia тесе-система США Cy51-A-01oKк). Наличие цист и ооцист изучаемых протозойных патогенов в фекалиях зараженных мышей свидетельствовало о реализации инвазии.

Таблица 35

Доза облучения, мДж/с м ²	Содержание цист лямблий при различных исходных концентрациях патогена в воде					
	внешне неизмененных		жизнеспособных		инвазионных (при 50-процентной инфицирующей дозе 5 экз.)	
	100 экз/мл	1000 экз/мл	100 экз/мл	1000 экз/мл	100 экз/мл	1000 экз/мл
0	94	986	92	975	Не определено	
16	26	866	2	56	0	1-5
40	10	774	0	35		
80	3	6%		16		

Результаты, полученные в экспериментах с облучением лабораторных культур, внесенных в питьевую воду, приведены на рисунке 26 в табл. 34 и 35. Из рисунка видно, что степень обеззараживания колифагов и вирусов полиомиелита имеет экспоненциальную зависимость от дозы облучения. Снижение колифагов М8-2 (наиболее устойчивых к внешним воздействиям в ряду колифагов) на один порядок обеспечивается при дозе облучения 16 мДж/см^2 и практически не зависит от начальной концентрации микроорганизмов. Для вируса полиомиелита доза, необходимая для снижения концентрации вирусов на один порядок, составляет 14 мДж/см .

В табл.34 приведены статистические данные по заболеваемости мышей лямблиозом и криптоспориديозом после введения им воды, облученной различными дозами Ультрафиолета. В результате исследований установлено, что полное губительное действие дозы УФ-облучения 16 мДж/см^2 отмечается при содержании патогенных простейших в концентрации до 100 экз/см^3 . Выраженное обильное воздействие при дозе облучения 40 мДж/см отмечено и при более высокой (1000 экз/см^3) концентрации патогенов. Полученные результаты значительно отличаются от опубликованных ранее данных, в которых утверждалось что для обеззараживания цист патогенных простейших необходимы намного более высокие дозы УФ-облучения - до 400 мДж/см^2 . Это разногласие связано с тем, что, исходя из механизма воздействия УФ-излучения на микроорганизмы, стандартные методы прямого подсчета цист лямблий и ооцист криптоспоридий не отражают истинной степени их эпидемической опасности. Поэтому для оценки эффективности УФ-обеззараживания предложено инвазионные свойства этих микроорганизмов определять биологическими методами, например, основанными на инфицировании мышей. Для сравнения, в табл. 35 приведены усредненные величины содержания цист лямблий, полученные при различных методах подсчета. Первые два метода анализа, проведенного в соответствии с [54], определяют количество внешне неизменных и жизнеспособных цист лямблий. Видно, что хотя УФ-облучение и не приводит к значительным внешним повреждениям, практически все цисты являются эпидемически безопасными.

Таблица 36

Дата	Исходная вода				Вода после УФ-установок				Питьевая вода			
	цисты лямблий, экз.	ооцисты криптоспоридий, экз.	мыши		цисты лямблий, экз.	ооцисты криптоспоридий, экз.	мыши		цисты лямблий, экз.	ооцисты криптоспоридий, экз.	мыши	
			все	заболевшие			все	заболевшие			все	заболевшие
Очистные сооружения водопровода в г. Тольятти												
Ноябрь 2000 г.	13	24	3	2	0	0	3	0	0	0	3	0
Январь 2001 г.	8	19		3								
Март 2001 г.	13	24			5	8		1				
Апрель 2001 г.	26	52			4	5		0				

Июнь 2001 г.	9	16		2	3	5						
Насосно-фильтровальная станция в г. Отрадном												
Сентябрь 2000г.	7	12	-	-	0	0	3	0	0	0	3	0
Ноябрь 2000г.	4	6	3	1								
Январь 2001г.	12	4		2	6	2						
Март 2001 г.	7	17		3	3	1						
Июнь 2001 г.	21	12			0	2						

Отбор проб на содержание цист лямблий и ооцист криптоспориций на водопроводных очистных сооружениях в городах Тольятти и Отрадном проводился в сентябре и ноябре 2000 г., в январе, марте, апреле и июле 2001 г. Источники водоснабжения в этих городах имеют значительное различие в бактериальной загрязненности: р. Большой Кинель характеризуется как сильнозагрязненная, а в Куйбышевском водохранилище микробиологические показатели лишь незначительно превышают норматив на питьевую воду. В то же время количество протозойных микроорганизмов в обоих водоисточниках примерно одинаковое: среднее количество цист лямблий 19; ооцист криптоспориций - 12 (табл. 36). До УФ-облучения инвазия мышей наблюдалась во всех пробах (от 30 до 100 %) при количестве жизнеспособных цист от 4 до 12 и ооцист от 6 до 52. УФ-облучение обеспечило стабильный эффект обеззараживания. Отбор проб в период паводка в апреле также показал отсутствие заражения у всех подопытных мышей. В пробах из резервуаров чистой воды ни одного экземпляра цист или ооцист обнаружено не было.

4.3 Обеззараживание сточных вод УФ-излучением

Сегодня в России обеззараживание сточных вод ультрафиолетом производится на более чем 50 очистных сооружениях канализации [53]. В настоящем разделе описываются четыре действующие УФ-комплекса, имеющие различную производительность и работающие на сточных водах различного состава и качества (табл. 37).

Очистные сооружения канализации пос. Прибрежного Самарской обл. введены в эксплуатацию в 1976 г. Сооружения обеспечивают очистку производственных и бытовых сточных вод, проектная производительность сооружений 10 тыс.м³/сут. Ранее для обеззараживания сточных вод использовался гипохлорит натрия, получаемый электролизом из раствора поваренной соли в установках типа ЭН-25. К моменту строительства УФ-станции это оборудование полностью вышло из строя, и сточные воды отводились в р. Волгу без обеззараживания. Станция УФ-обеззараживания введена в эксплуатацию в октябре 1998 г., в состав станции входят две установки УДВ-

250/144 производительностью до 400 м³/ч каждая (приложение). Для размещения УФ-оборудования использовали здание электролизной. Сточные воды поступают на обеззараживание после вторичных отстойников в самотечном режиме.

Контроль эффективности обеззараживания сточных вод осуществляет Красноглинский районный ЦГСЭН г. Самары два раза в месяц по показателям: общие колиформы, термо-толлерантные колиформы, колифаги, патогенные микроорганизмы. Всего за два года эксплуатации отобрали 69 проб воды. Результаты по колииндексу до и после УФ-установок приведены на рис. 27. По колииндексу за весь период эксплуатации отмечено только два случая превышения величины 1000 КОЕ/л. В отношении термотоллерантных колиформ, колифагов, патогенных микроорганизмов нормативные требования выполнены на 100%.

Таблица 37

Очистные сооружения канализации	Ввод в эксплуатацию технологии УФ-обеззараживания	Расход сточных вод, тыс. м ³ /сут	Показатель качества очищенных сточных вод, (среднее/максимальное), мг/л			
			взвешенные вещества	нефтепродукты	ХПК	ВПК ₅
Пос. Прибрежного Самарской обл.	Октябрь 1998г.	10	13.2/29	-	62/107	10/27
Автозаводского района г.Тольятти	Март 2000 г.	290	9. 5/24	0/0,5	38/64	5, 1/9.2
Саратовского НПЗ	Октябрь 1999г.	35	3. 1/15.3	0,27/1,36	49, 6/200	2,25,4,3
Самарского НПЗ (данные после биологической очистки)	Апрель 2000 г.	42	17, 1/29,7	1,03/3,15	90 160	6,8/20

Качество поступающих на УФ-установки очищенных сточных вод по физико-химическим в значительных пределах. По данным лабораторного контроля за 1998-2000 гг., концентрация взвешенных веществ составила 5-50 мг/л, ВПК₅ 2-27 мг/л, ХПК 40-120 мг/л. В процессе эксплуатации УФ-комплекса выявлено, что изменение качества воды не ухудшает эффективности УФ-обеззараживания. Результаты физико-химических и бактериологических анализов в дни наихудшего и наилучшего качества воды приведены в табл. 38, из которой видно, что несмотря на изменение исходного коли-индекса более чем на 3 порядка, а физико-химических показателей почти на порядок, сохраняется стабильность результатов УФ — обеззараживания.

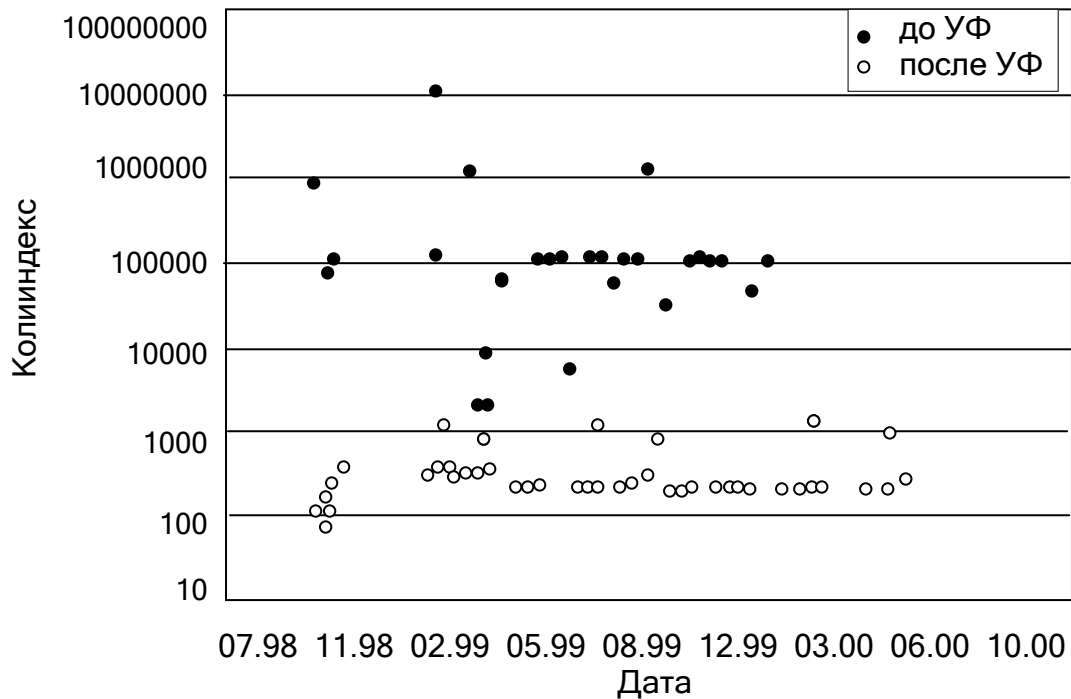


Рис. 27. Результаты обеззараживания сточных вод на ОСК пос. Прибрежного

Опыт эксплуатации УФ-станции пос. Прибрежного показал, что обслуживание Уф-оборудования не требует значительного объема работ. Ранее для обслуживания электролизеров в штате очистных сооружениях работало четыре человека, в настоящее время для УФ-станции специальный персонал не предусмотрен, регламентные работы осуществляются дежурной сменой аппаратчиков. Промывка УФ-установок производится один раз в два месяца, для контроля режима работы УФ-оборудования на пульт в диспетчерской выведена сигнальная система.

Периодически проводится контроль дозы облучения в камере обеззараживания и определяется степень загрязнения кварцевых чехлов. В течение 20 месяцев эксплуатации загрязнение не носило накопительного характера. Химическая промывка, проводимая в паспортном режиме, полностью восстанавливает исходную кварцевых чехлов в УФ-диапазоне.

Таблица 38

Дата	Величина коли-индекса		Взвешенные вещества, мг/л	БПК ₅ , мг/л	ХПК, мг/л
	до УФ-установок	после УФ-установок			
20.10.1998г.	720 000	222	27,5	2,3	61
12.01.1999г.	11000000	< 300	24,0	5,2	119
09.02.1999г.	11000	< 300	5,0	2,0	79
23.02.1999г.	2 300	< 300	20,	10,5	107
02.03.1999г.	9 300	< 300	11,0	3,2	45
12.05.1999г.	> 110000	< 300	16,0	2,0	42
30.06.1999г.	> 110000	< 300	39,0	27,2	101
27.07.1999г.	46 000	< 300	8,0	2,8	62

Таблица 39

Показатель	Значение		
	минимальное	максимальное	среднее
Колииндекс в 1 л	60	4300 (>1000-6% проб)	426
Колифаги в 100 мл	Отсутствуют		
ОМЧ в 1 мл	Отсутствует	350	82
Патогенная микрофлора в 100 мл	Отсутствуют		

Очистные сооружения канализации Автозаводского района г.Тольятти [56] имеют производительность до 290 тыс.м³/сут. и предназначены для очистки производственно-бытовых сточных вод. В состав ОСК входят сооружения механической и биологической очистки, в настоящее время ведется строительство системы доочистки (каркасно-засыпных фильтров). Очищенные сточные воды отводятся в р. Волгу. Ранее обеззараживание сточных вод осуществлялось газообразным хлором, необходимость замены хлорирования другим методом обеззараживания базировалась на ряде факторов, связанных как с экологическими проблемами сброса хлорированных стоков в р. Волгу, так и с проблемами безопасности эксплуатации хлорного хозяйства. В марте 2000 г. была введена в эксплуатацию вторая очередь станции УФ-обеззараживания на полную производительность очистных сооружений. В настоящее время комплекс УФ - обеззараживания на ОСК «АвтоВАЗ» является крупнейшим в Европе. УФ-комплекс Расположен в отдельном здании и включает в себя 14установок УДВ-1000/432. Установки разделены на две группы. В первую группу входят 5 установок (4 рабочих и 1 резервная), рассчитанных на работу до давления 10 кгс/см². Во вторую группу входят 9 установок (8 рабочих и 1 резервная), рассчитанных на работу до давления 2 кгс/см². Каждая УФ-установка имеет 432 лампы низкого давления и номинальную пропускную способность 1000 м³/ч.

Контроль качества обеззараживания осуществляется заводской лабораторией и Тольяттинским городским центром Госсанэпиднадзора. Отобрано более 100 проб воды на микробиологические и физико-химические анализы. Анализ полученных данных (табл. 39) показывает высокую эффективность обеззараживания воды после УФ-облучения (до ввода в эксплуатацию каркасно-засыпных фильтров). Снижение коли-индекса обеспечивается в среднем на 99,8 %, общего микробного числа на 98, 5 %. Во всех пробах после облучения в 100 мл не обнаружены колифаги и патогенные микроорганизмы.

Для УФ-комплекса разработан технологический регламент, обеспечивающий порядок контроля за работой комплекса, включение и отключение УФ-установок в зависимости от расхода поступающих сточных вод, выполнения промывок.

Очистные сооружения канализации Саратовского нефтеперерабатывающего завода предназначены для механической биологической очистки и доочистки промышленного стока НПЗ, а также бытовых сточных вод близлежащего микрорайона г. Саратова Максимальный расход очищенных сточных вод составляет 35 тыс. м³/сут. Основной целью внедрения метода УФ-обеззараживания являлось удаление с территории завода хлорного хозяйства. Выбор УФ-оборудования производился на основе результатов технологических исследований, проведенных специалистами НПО «ЛИТ»[57] Комплекс УФ-

обеззараживания, и состав которого входят две установки УДВ-обеззараживания, и состав которого входят две установки УДВ-1000/576, расположен после фильтров в здании блока доочистки. При разработке комплекса применили ряд технических решений, позволивших разместить оборудование в существующем помещении с минимальными затратами на строительные-монтажные работы.

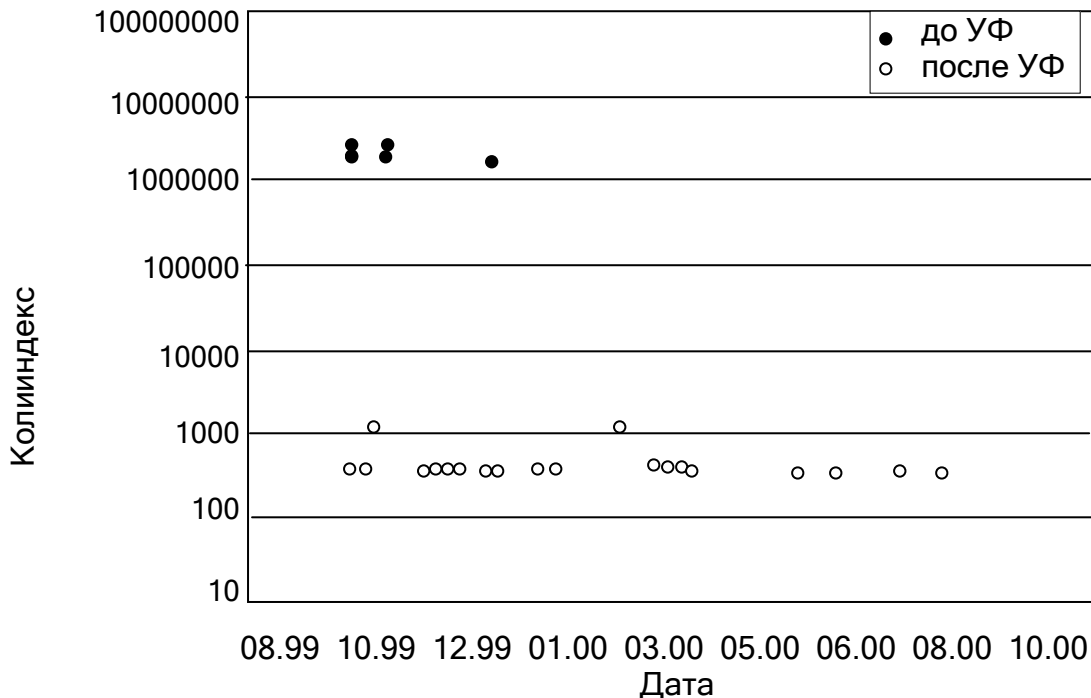


Рис. 28. Результаты обеззараживания сточных вод на ОСК Саратовского НПЗ

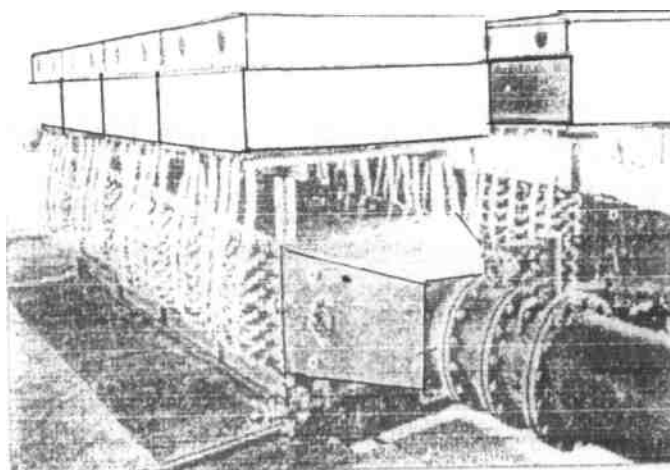


Рис. 29. Комплекс УФ-обеззараживания на ОСК

Уменьшение занимаемых УФ-комплексом площадей было обеспечено за счет выноса блоков пускорегулирующей аппаратуры, контроля и автоматики на площадку над камерами облучения. В установках используются вертикальная компоновка УФ-ламп и одностороннее уплотнение защитных кварцевых колб.

Впервые в отечественных УФ-установках применена микропроцессорная система контроля, позволяющая получать информацию о состоянии каждой УФ-лампы в установке. На дисплей панели управления поступает информация об интенсивности УФ-излучения, количестве включений и времени наработки ламп.

УФ — комплексе введен в эксплуатацию в октябре 1999 г. Контроль за эффективностью обеззараживания осуществляет районный ЦГСЭН с периодичностью отбора проб один раз в месяц. Результаты снижения количества микроорганизмов после обеззараживания (рис. 28) имеют высокую стабильность. Для Саратовского НПЗ согласован норматив сброса сточных вод, имеющих колииндекс не более 5000. За период эксплуатации УФ-комплекса значения колииндекса были менее 5000. и только в двух случаях выявлено превышение его величины - 1000 ОКБ/л.

Очистные сооружения канализации Самарского нефтеперерабатывающего завода имеют производительность до 35 тыс. м³/сут. Обрабатываемые сточные воды последовательно проходят механическую, полную биологическую очистку и доочистку на фитофильтрах с высшей водной растительностью. До последнего времени сброс сточных вод в р. Волгу осуществлялся без обеззараживания. Согласно требованиям Самарского ЦГСЭН в 1998 г., ЗАО «АИР» - организацией, обеспечивающей эксплуатацию сооружений, - начаты работы по определению возможности внедрения на ОСК НПЗ различных методов обеззараживания сточных вод. Проведенные оценки и технико-экономические расчеты показали, что по совокупности экономических, технических и эксплуатационных показателей наиболее предпочтительным является метод обеззараживания УФ-излучением. В течение 1998-1999 гг. на очистных сооружениях проведены модельные и опытно-промышленные испытания по обеззараживанию сточных вод УФ — излучением, результаты, полученные в ходе испытаний, позволили выбрать оптимальное количество и модификацию УФ-оборудования. Комплекс УФ-обеззараживания (рис. 29) введен в эксплуатацию в апреле 2000 г. В состав комплекса входят три установки УДВ-500/288, которые размещены в здании фитофильтров. Сточные воды на обеззараживание подаются в напорном режиме. В соответствии с требованиями методических указаний МУ 2. 1. 5. 732-99 «Санитарно-эпидемиологический контроль за обеззараживанием сточных вод ультрафиолетовым излучением», комплекс УФ — обеззараживания Самарского НПЗ оснащен системами контроля интенсивности УФ — излучения и исправности УФ — ламп, блоком химической промывки для очистки кварцевых чехлов.

В течение трех месяцев после ввода в эксплуатацию проводились работы по разработке технологического регламента эксплуатации УФ-комплекса, в которых участвовали специалисты Самарского НИИ гигиены. Результаты бактериологических анализов показали снижение после УФ — облучения общих колиформ с 200000-1400000 до 45-700 ОКБ/л, термотоллерантных колиформ с 200000-900000 до 20-200 ТКБ/л, колифагов с 15000-20000 до 0-30 БОЕ/л. Показатели эффективности работы УФ-комплекса практически полностью соответствовали характеристикам, определенным в ходе модельных и опытно-промышленных испытаний.

4.4 Изучение УФ - обеззараживания сточных вод в лабораторных условиях

Нами были проведены эксперименты, по сравнительному изучению УФ - обеззараживания с помощью лампы низкого давления и хлорирования.

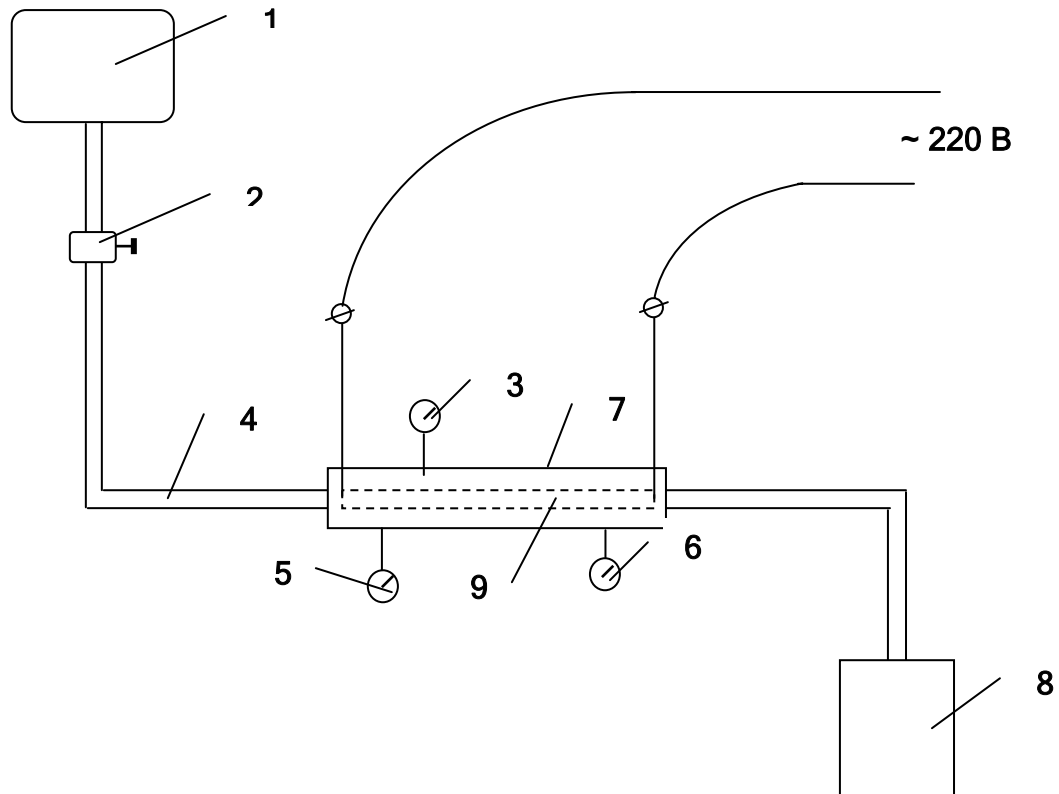


Рис. 30. Схема лабораторной установки

- 1 - бак для исходной сточной воды,
- 2 - кран;
- 3 - датчик интенсивности УФ-излучения.
- 4 - подающий трубопровод диаметром 20 мм:
- 5 - датчик температуры.
- 6 - датчик давления:
- 7 - кожух (камера облучения):
- 8 - бак для обеззараженной воды:
- 9 - лампа бактерицидная низкого давления.

Лампа бактерицидная низкого давления типа ДБ ТУ 16-535.273-55-аргоно-ртутная, ресурс лампы не менее 8000 час, напряжение 220 В, длина лампы - 1000 мм, рабочее давление не более 0,1 МПа (1,0 кг/см²); эффективная УФ^А доза - 20 МДж/см² ультрафиолетовые лучи длиной 2200 - 2800 А.

Для проведения такого эксперимента была создана лабораторная установка, позволяющая сточные воды подвергать УФ - облучению (рис. 30). Для исследования были взяты сточные воды из четырех различных предприятий:

- центральной станции аэрации (г. Днепропетровск)
- Магдалиновского маслозавода (Днепропетровская обл.)
- противотуберкулезного диспансера (г. Днепропетровск)
- Южной станции аэрации.

Все пробы сточных вод были взяты после биологической очистки перед подачей их на хлорирование. Перед проведением эксперимента у всех проб был определен коли-индекс. Затем одну пробу заливали в бак для исходной воды и регулируя расход краном подавали сточные воды в камеру обеззараживания, где они подвергались УФ-излучению. Затем сточные воды после облучения поступали в бак для обеззараженной воды, где у них снова определяли коли-индекс. Полученные данные заносили в таблицу и сравнивали их с данными после хлорирования (табл. 40). Такую операцию проводили со всеми пробами сточных вод. Полученные данные выразили графиком (рис. 28).

Таблица 40

№ з/п	Пробы сточных вод после биологической очистки	Коли-индекс		
		до обеззараживания	УФ-обеззараживание	Х- обеззараживание
1.	Центральной станции аэрации (г.Днепропетровск)	$10^{7,1}$	$10^{3,2}$	$10^{3,4}$
2.	Магдалиновского маслозавода	$10^{6,5}$	$10^{3,0}$	$10^{2,8}$
3.	Противотуберкулезного диспансера (ст. Игрень)	$10^{7,6}$	$10^{3,1}$	$10^{2,95}$
4.	Южной станции аэрации (г.Днепропетровск)	$10^{7,1}$	$10^{3,0}$	$10^{2,9}$

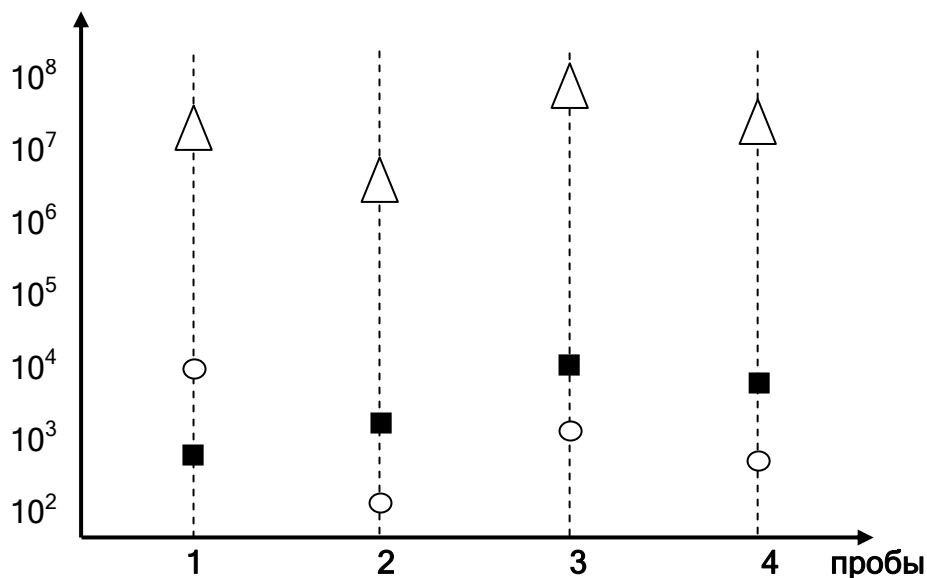


Рис. 31. Результаты обеззараживания сточных вод различными методами

- Условные обозначения:
- △ - коли-индекс до УФ-обеззараживания;
 - - коли-индекс после УФ-обеззараживания;
 - - коли-индекс после хлорирования

Вторая часть эксперимента заключалась в том, что на протяжении всего года на Южной станции аэрации отбирались пробы сточных вод, прошедших биологическую очистку, определялся их коли-индекс до обеззараживания, после хлорирования и после УФ-обеззараживания на экспериментальной установке. Это позволило увидеть, как изменяется коли-индекс сточных вод на протяжении года, прошедших стандартную схему очистки. Полученные данные заносились в таблицу и сравнивались (табл. 41). Для большей наглядности было сделано их графическое изображение.

Таблицы 41

Пробы сточных вод Южной станции аэрации (ЮСА)	Коли-индекс		
	До обеззараживания	УФ-обеззараживания	Хлоробеззараживания
Зимой (декабрь-февраль)	$10^5 - 10^{5,5}$	$10^{2,8} - 10^3$	$10^{2,7} - 10^3$
Весной (март-май)	$10^{5,9} - 10^{6,1}$	$10^{3,2} - 10^{3,3}$	$10^{2,9} - 10^3$
Летом (июнь-август)	$10^7 - 10^{7,2}$	$10^{2,8} - 10^{3,2}$	$10^{2,8} - 10^{3,1}$
Осенью (сентябрь-ноябрь)	$10^5 - 10^6$	$10^3 - 10^{3,1}$	$10^3 - 10^{3,1}$

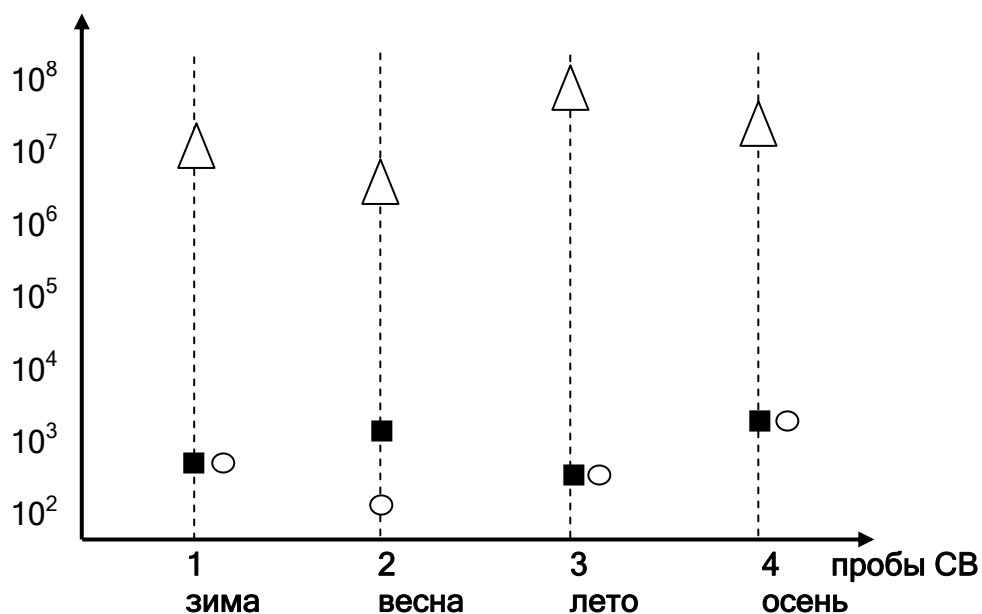


Рис. 30. Сезонное обеззараживание сточных вод ЮСА

Из проведенных данных видно, что УФ-обеззараживание с помощью ламп низкого давления по своей бактерицидности не уступает хлорированию при обеззараживании различных сточных вод.

4.5. Установки УФ-обеззараживания, изготавливаемые в Украине

Установки для УФ-обеззараживания вод предлагаются разными фирмами в различных городах Украины. Эти установки (приложение) могут быть отечественного и зарубежного производителя, но в данной книге хотели бы отметить установки, разработанные Харьковской электротехнической компанией. Этой компанией разработан и производится спектр установок серий «Водограй», «Поток», «Сток» для обеззараживания питьевых и сточных вод бактерицидным УФ-излучением производительностью от 0,5 до 5000 м³/ч, не уступающим лучшим мировым аналогам. Стоимость обеззараживания 1 м³ питьевой воды (с учетом капитальных затрат) на этих установках составляет от 0,02 до 0,18 гривен при гарантийном сроке эксплуатации до 5 лет. Расход электрической энергии для обеззараживания 1 м³ питьевой воды составляет от 0,03 до 0,1 кВт·ч.

- Для обеззараживания питьевой воды разработаны и выпускаются несколько серий аппаратов и установок: серия «Водограй» - аппараты и установки напорного действия с рабочим давлением до 0,8 МПа, предназначенные для обеззараживания любых типов питьевых вод, соответствующих ГОСТ 2874-82, а также «Державному СанГИНу» [8];

- серия «Водолей» - безнапорные установки с рабочим давлением не превышающим 0,15 МПа, предназначенные для обеззараживания чистых и прозрачных артезианских вод с глубоких горизонтов; серия «Поток» - безнапорные установки с рабочим давлением не превышающим 0,15 МПа, предназначенные для обеззараживания питьевых вод из поверхностных источников по ГОСТ 2874-82, а также «Державному СанГИНу» [8].

Для обеззараживания очищенных сточных вод разработана серия безнапорных установок «Сток».

Эти аппараты и установки для УФ-обеззараживания воды успешно работают на многих предприятиях Украины, России, Казахстана Киргизии, Белоруссии, в том числе:

- на предприятиях пищевой промышленности: Алма-атинской, Барнаульской, Кара-Балтский, Одесский ликероводочный завод, Евпаторийский винзавод, Краматорский пивзавод, Велико-Бурлукский сырзавод;

- в лечебных учреждениях.

Одесская противотуберкулезная больница, клиника концерна «Богдан» г.Брюховичи Львовской обл.;

- в школах: средние школы г. Донецка и Донецкой обл. (г. Рубежное)

- в бассейнах: г. Мозырь (Белоруссия) и т.д.

В табл. № 42 дается подробная характеристика установок для УФ-обеззараживания питьевых и сточных вод. Расчет установок для УФ-обеззараживания производится по литературе [46], а выбор оборудования - по разделам данной книги и приложениям.

Фирма «Экополимер» (г. Харьков) является официальным представителем компании «WEDWCO» на территории СНГ, которая занимается внедрением УФ-систем для обеззараживания питьевых и сточных вод (Приложение).

Таблица №42 Аппараты и установки для УФ- обеззараживания питьевых и сточных вод, разработанных Харьковской электротехнической компанией, (1 января 1999 г.)

Таблица 42
Аппараты и установки для УФ-обеззараживания питьевых и сточных вод, разработанных Харьковской электротехнической компанией, (01 января 1999г.)

№ п/п	Название	Тип модуля	Производительность, м ³ /час	Мощность, кВт	Стоимость обеззараживания, 1 м ³ воды, USD	Цена, USD	
						Без НДС	С НДС
1	«Водограй» - напорные установки для обеззараживания питьевой воды, соответствующей ГОСТ 2874-82. Рабочее давление не более 0,8 МПа (8 кг/см ²)	В-1	0,75	0,05	0,024	500	600
		В-10	7	0,1	0,008	2500	3000
		В-20	20	1,35	0,01	2900	3480
		В-50	50	2,5	0,007	3500	4200
		В-100	100	5,0	0,006	4000	4800
		В-200	200	10,0	0,006	7525	9030
		В-300	300	15,0	0,006	11050	12360
		В-400	400	20,0	0,006	14575	17490
		В-500	500	25,0	0,006	18100	21720
		В-600	600	30,0	0,006	21600	25920
		В-700	700	35,0	0,006	25150	30180
		В-800	800	40,0	0,006	28650	34280
		В-900	900	45,0	0,006	32200	38640
В-1000	1000	50,0	0,006	35700	42840		
2	«Водолей» - безнапорные установки для обеззараживания артезианской воды. Рабочее давление не более 0,15Мпа (1,5 кг/см ²)	С-250А	210	2,0	0,0026	12500	15000
		С-500А	420	3,7	0,0025	24420	29304
		Д-1200А	1150	10,6	0,0022	48750	58500
3	«Поток» - безнапорные установки для обеззараживания питьевой воды, соответствующей ГОСТ 2874-82	С-100П	НО	2,0	0,005	12500	15000
		С-200П	210	3,7	0,0049	24420	29304
		Д-600П	580	10,6	0,0044	48750	58500
4	«Дельфин» - напорные установки для обеззараживания воды в плавательных бассейнах.	Д-2	2	0,07	0,028	2500	3000
		Д-8	8	1,35	0,025	2900	3480
		Д-25	25	2,5	0,014	3500	4200

		Д-50	50	5,0	0,014	5000	6000
		Д-100	100	10,0	0,014	10000	12000

Установки серии «Сток» предназначены для обеззараживания очищенных сточных вод бактерицидным УФ-излучением с эффективностью не менее 99,9%.

Установки серии «Сток» предназначены для эксплуатации в закрытых помещениях при температуре окружающего воздуха от 284К (+10°C) до 308 К (+35°C) и относительной влажности воздуха с верхним значением 98% при температуре 25°C и среднегодовым значением 70% при температуре 20°C.

Климатическое исполнение - ОМ 4.2 по ГОСТ 15150-69 (установки предназначены для эксплуатации в макроклиматических районах как с умеренно-холодным, так и тропическим морским климатом.

Класс электробезопасности - 1 по ГОСТ 12.2.007.0-75.

Степень защиты от поражения электрическим током - IP 54 по ГОСТ 14254-80.

Группа механического исполнения - М1 по ГОСТ 17516.1-90.

Питание установок осуществляется от трехфазной сети переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 380 В. Требования к качеству электрической энергии по ГОСТ 13109-87.

Требования к обеззараживаемой воде. Обеззараживаемая вода должна быть чистой, прозрачной и не содержать взвешенных и коллоидных частиц. При этом допускаются следующие значения отдельных показателей:

- мутность, мг/дм, не более - 4,0
- прозрачность, см, не менее - 20,0
- концентрация железа (Fe), мг/дм, не более - 0,3
- максимальное бактериальное заражение воды не должно превышать 1000000 лактозоположительных кишечных палочек на 1 дм³ обеззараживаемой воды.

При отклонении отдельных значений приведенных выше показателей в большую сторону необходимо скорректировать производительность модуля, уменьшив расход воды.

Установки серии «Сток» относятся к безнапорным самотечным установкам, в которых движение обеззараживаемой воды за счет разницы высот входного и выходного патрубков.

Конструктивно установки серии «Сток» (рис.32) состоят из одного или нескольких параллельно соединенных модулей С-50, С-100 или Д-300, блока химической очистки и пульта управления.

Каждый модуль (рис.33) состоит из корпуса, внутри которого на съемной крышке расположены источники бактерицидного излучения, состоящие из кварцевого чехла и помещенной внутрь него бактерицидной лампы. Кварцевый чехол служит для защиты бактерицидной лампы от прямого контакта с водой и стабилизации ее рабочей температуры

В нижней части камеры облучения расположен сливной вентиль, предназначенный для слива промывных вод в канализацию.

На наружной поверхности корпуса расположены датчики наличия воды, интенсивности УФ-излучения, температуры и давления, входной и выходной магистральные патрубки.

Блок химической очистки предназначен для очистки защитных кварцевых чехлов от отложений растворенных в воде солей и органических соединений.

Питание модуля осуществляется от отдельного блока питания. Управление работой установки полностью автоматизировано и осуществляется от общего пульта управления.

Имеется возможность автономного включения каждого модуля в зависимости от мгновенного расхода воды, что особенно удобно при учете неравномерности расхода воды в течение суток.

Система автоматического управления обеспечивает:

- включение и выключение как всей установки в целом, так и отдельных модулей;
- регулирование количества работающих модулей в зависимости от мгновенного расхода воды;
- выдачу команды на открытие магистральных заслонок при включении модуля;
- выдачу команды на закрытие магистральных заслонок при выключении модуля;
- контроль состояния работоспособности всех модулей каждой бактерицидной лампы в отдельности;
- контроль эффективности обеззараживания сточных вод (контроль проводится по уровню интенсивности УФ-излучения в камере облучения);
- аварийное отключение отдельных модулей при наступлении аварийной ситуации.

Принцип действия установок основан на бактерицидном свойстве мощного коротковолнового УФ-излучения. Под воздействием УФ-излучения в клетках находящихся в воде микроорганизмов происходит нарушение межмолекулярных связей, приводящих к разрушению клеток и гибели микроорганизмов. Образующие под воздействием УФ-излучения короткоживущие молекулы озона и свободные радикалы: O_3 , OH , O и другие, оказывают дополнительное губительное воздействие на находящуюся в воде микрофлора.

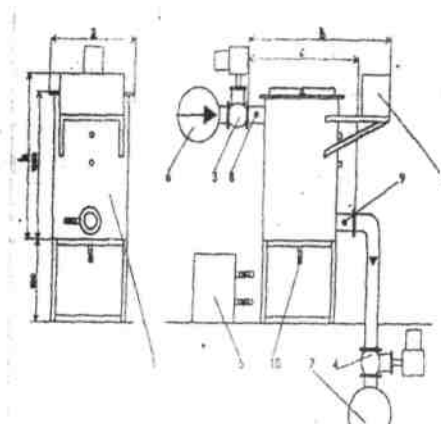


Рис.31. Модуль типа «С»:

- 1-камераоблучения;
- 2 - блок питания;
- 3 - входная,
- 4-выходная магистральные задвижки;
- 5- блок химической очистки;
- 6-входной коллектор,
- 8,9-пробоотборные краны,
- 10-сливной вентиль.

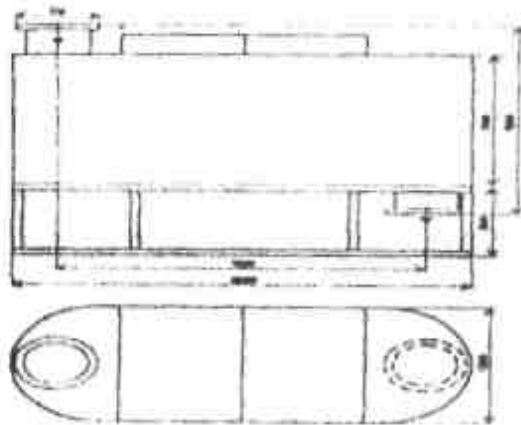


Рис. 32. Модуль «Д-300»

Основные достоинства установок серии «Сток»:

- высокая степень обеззараживающего эффекта (>99,9%);
- полное соответствие микробиологических параметров обеззараженной воды международным требованиям безопасности и действующим санитарным нормам;
- низкое удельное энергопотребление;
- модульность конструкции, позволяющая:
 - регулировать
- высокая степень обеззараживающего эффекта (>99,9%);
- полное соответствие микробиологических параметров обеззараженной воды международным требованиям безопасности и действующим санитарным нормам;
- низкое удельное энергопотребление;
- модульность конструкции, позволяющая:
 - регулировать
 - дозу УФ-излучения (количество работающих λ) в зависимости от уровня микробиологической

зараженности исходной воды;

- количество работающих модулей и бактерицидных ламп в зависимости от мгновенного расхода

обеззараживаемой воды;

- производить мелкий и средний ремонт, а также ежечасное обслуживание установки, не выводя ее из эксплуатации;

- поэтапно наращивать общую производительность установки только к ежедневному осмотру и выполнению регламентных работ по ее техническому обслуживанию;

- высокий уровень автоматизации, сводящий обслуживание установки только к ежедневному осмотру и выполнению регламентных работ по ее техническому обслуживанию;

- высокая надежность и долговечность

Таблица 43.

Основные технические параметры установок типа «Сток»

Наименование параметра	Тип модуля		
	С-50	С-100	Д-300
Производительность, м ³ /ч, не более	50	100	290
Рабочее давление, МПа (кг/см ²), не более	0,15 (1,5)	0,15 (1,5)	0,15 (1,5)
Эффективная УФ-доза для номинальной производительности, мДж/см ²	20	20	20
Тип бактерицидных ламп, ТУ 16-535, 273-75	ДБ 20	ДБ 60	ДБ60
Количество бактерицидных ламп, шт.	26	52	144
Ресурс бактерицидных ламп, ч, не менее	8000	8000	8000
Напряжение, В	380	380	380
Проблемная мощность, кВт, не более	2,0	3,7	10,6
Габаритные размеры:			
- длина (в), мм	1400	1600	3000
- ширина (а), мм	800	1000	1300
- высота (h), мм	1200	1200	1500
- присоединительный размер (с), мм	1200	1400	2400
Условный проход входного и выходного магистральных патрубков	Dy80	Dy100	Dy200
Масса в сухом состоянии, кг, не более	430	700	2500

4.6. Электроимпульсное и электроразрядное обеззараживание сточных вод

МосводоканалНИИпроектом совместно с другими научно-исследовательскими организациями проводились исследования альтернативных хлорированию методов обеззараживания применительно к станциям очистки сточных вод средней и большой производительности [59]. Перспективными

методами следует считать УФ-облучение пдя станций производительностью до 250 тыс. м/сут. и электроимпульсный разряд для станций больших производительностей. Первый метод в настоящее время интенсивно внедряется за рубежом и в России, так как обеспечен выпуском современного надежного оборудования. Разработка второго метода в нашей стране осуществляется Инженерным центром им. М.В. Келдыша совместно с МосводоканалНИИпроектом.

Суть электроимпульсной технологии обеззараживания состоит в воздействии на обрабатываемую воду высоковольтным электрическим разрядом, вызывающим разрушение клеток микроорганизмов (бактерий, вирусов) в первую очередь за счет генерируемой в воде ударной волны. Аппаратурное оформление электроимпульсной технологии состоит из повышающего трансформатора, выпрямителя, токоограничивающего элемента, емкостного накопителя электроэнергии, разрядника-обострителя и электродов, помещенных в емкость с водой.

Идея использования высоковольтного импульсного разряда для обеззараживания воды была высказана в 50-годы Л.А. Юткиным и подтверждена им в ряде опытов. Экспериментальные данные, полученные рядом исследователей в 60 - 70-х годах при использовании сравнительно маломощных импульсных разрядов, послужили основанием для оценок возможностей электроимпульсного метода: прогнозируемая в то время энергоемкость метода составляла в зависимости от единиц одного - двух десятков кВт-ч/м

Таблица 44

Количество импульсов	Наличие обострителя	Коли-индекс исходный	Коли-индекс после	
			проба А	проба В
1	+	$5,8 \cdot 10^5$	$2,1 \cdot 10^2$	$6,3 \cdot 10^2$
2	+	$5,8 \cdot 10^5$	Менее 50	Менее 50
1	-	$5,8 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^2$
2	-	$5,8 \cdot 10^5$	Менее 10^2	Менее 10^2

Успехи в области импульсной энергетики в 80-е годы и, в частности, создание малоиндуктивных емкостных накопителей электроэнергии, коммутирующих разрядников, эффективных (с КПД до 0,9-0,95) зарядных устройств (выпрямитель + токоограничительный элемент) усилили интерес к электроимпульсному методу. Это связано с тем, что при использовании современных мало индуктивных элементов длительность импульса тока при разряде в воде может быть сокращена до 10 мкс. и менее, что позволяет генерировать ударную волну с начальной амплитудой до 10-10 кбар при сравнительно низких удельных энергозатратах. Возможны два подхода при практической реализации электроимпульсной технологии, однократное воздействие импульсным разрядом на выделенный объем воды и многократное воздействие. При современном уровне развития импульсной энергетики режим однократного воздействия (импульсный режим) представляется наиболее рациональным с точки зрения достижения низкой удельной энергоемкости, высокой производительности, приемлемого ресурса работы электротехнических элементов (емкостного накопителя, разрядника). Основная трудность при

ализации этого режима - высокий уровень импульсных механических нагрузок на электроды и стенки камеры или канал. Имеющейся в промышленности опыт электрогидравлической обработки материалов и изделий указывает на возможность преодоления этой трудности за счет усложнения электродного узла, усиления стенок камеры



Рис. 34. Стоимость электроимпульсной установки:
 1 – стоимость разработки;
 2 – себестоимость при серийном производстве

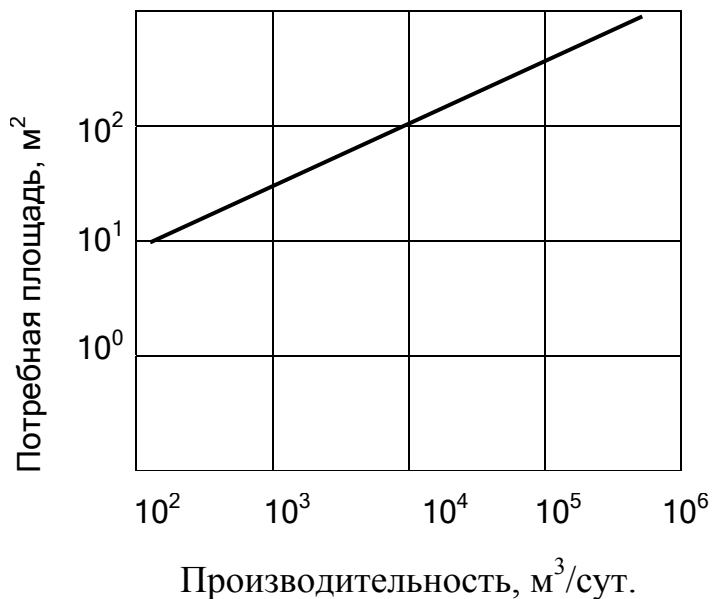


Рис. 35. Требуемая площадь для размещения электроимпульсной установки.

В настоящее время среди новых технологий по очистке и обеззараживанию питьевой воды наиболее перспективными являются окислительные фотохимические технологии, объединенные термином Advanced Oxidation Processes (AOP), включающие методы одновременного воздействия УФ-излучения и естественных для природной среды окислителей. В последнее время электроразрядные технологии очистки воды интенсивно изучаются во многих странах. Используют различные виды разрядов: искровой разряд в воде анодный

микроразряд в воде, искровой разряд в водовоздушной среде, импульсный коронный и квазиобъемный разряды в водовоздушной среде [60].

Необходимо отметить, что акцент исследований постепенно смещается в сторону применения электрических разрядов в водовоздушной среде. Это связано с тем, что разряд в двухфазной среде позволяет генерировать кроме озона и УФ-излучения ряд активных частиц (радикал ОН, атомарный кислород, активные молекулы и возбужденные частицы). Реакционная способность у атомов кислорода во много раз выше, чем у озона, а радикал ОН является одним из самых активных промежуточных частиц. Созданные в достаточных количествах эти частицы в результате последующих превращений способны разложить любое органическое вещество вплоть до полной минерализации (до CO₂ и H₂O) или, по крайней мере, до форм, легко подверженных биodeградации. Соли тяжелых металлов окисляются до высших форм окислов, теряя при этом свою токсичность, и легко могут удаляться фильтрацией.

В данной работе описана электроразрядная технология очистки воды, где в качестве инструмента используется квазиобъемный разряд в водовоздушной среде

На основании результатов исследований созданы водоочистные установки «Импульс», которые работают по схеме приведенной на рис.36. При необходимости к это схеме могут добавляться другие блоки: умягчение, введение реагентов и др.

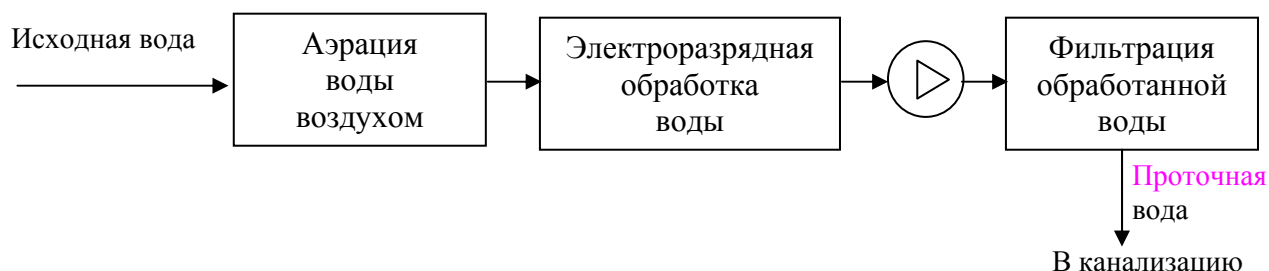


Рис. 36 Основная схема работы водоочистной установки «Импульс»

На рис. 36 показана типовая технологическая схема установки «Импульс». Основными узлами этой установки являются: колонна в комплекте с озонатором и источником питания, бак-реактор, перекачивающие насосы и насос для промывки фильтра, фильтры, блок автоматики с необходимыми датчиками и приборами, трубопроводы, арматура, соединительные и коммутационные элементы. Для установок малой производительности изготавливаются и устанавливаются резервуары чистой воды.

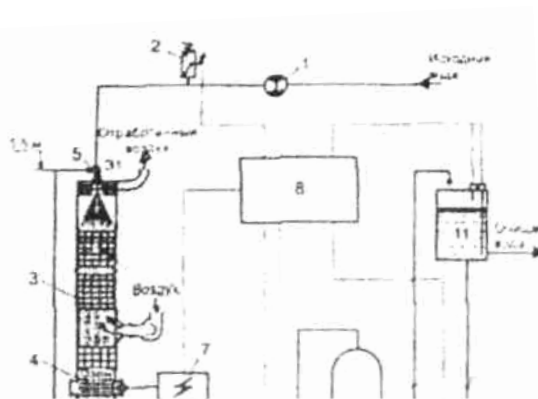


Рис. 37 Типовая технологическая схема установки «Импульс»:

- 1 - счетчик;
- 2 - регулятор давления;
- 3 – аэратор;
- 4 –озонатор;
- 5 - эжектор Э1;
- 6 - бак-реактор;
- 7 - источник питания;
- 8 -блок автоматики;
- 9 - насос;
- 10 - фильтр;
- 11- резервуар чистой воды.

В качестве аэратора используется противопоточная вентиляционная градирня. Входная вода распыляется эжектором Э1 и по загрузке аэратора стекает сверху вниз. Эжектор одновременно является ступенью аэрации. Воздух вентилятором подается навстречу потоку воды снизу вверх. Для улучшения перемешивания воды и воздуха аэратор заполнен полиэтиленовыми призмами типа ПР или полиэтиленовой стружкой. Поддерживающие решетки выполнены из дерева. Система аэрации потребляет около 50 Вт·ч/м³.

Электроразрядный блок представляет собой озонатор, в котором, как и в известных промышленных озонаторах, используется барьерный разряд в газе. Но озонатор, выполненный на основе импульсного барьерного разряда, способен работать в воздухе с влажностью до 100 %. Это отличие позволило разместить озонатор непосредственно в водовоздушном потоке и использовать для обработки воды не только долго живущий озон, но и УФ-излучение, сопровождающее газовый разряд, и коротко живущие атомарный кислород и радикал ОН. При таком подходе удалось реализовать наиболее перспективный технологический процесс - совместное воздействие УФ-излучения и природных окислителей. Максимальные энергозатраты на обработку воды в устройстве составляют всего 30 - 50 Вт·ч/м.

Разработанная технологическая схема подготовки питьевой воды из скважин р. п. Яшкино включала (рис. 40) первичную обработку воды системой «Импульс», перекачку обработанной воды на фильтры и фильтрование в одну ступень. В качестве фильтрующей загрузки использован дробленый кварц, прошедший модификационную обработку. Перед фильтрами предусмотрена обработка воды едким натром и перманганатом калия. Для обеззараживания воды после очистки предусмотрена ее обработка гипохлоритом натрия.

Пусконаладочные работы на водоподготовительных сооружениях показали, что при соблюдении технологического регламента качество воды Соответствует нормативным требованиям. После некоторого срока эксплуатации сооружения из технологии были исключены обработка воды едким натром и перманганатом калия, при этом качество воды осталось очень высоким: содержание железа менее 0,08 мг/л, марганца 0,06 мг/л, фенол не определяется. Органолептические и другие показатели воды также соответствовали требованиям, предъявляемым к питьевой воде. Обеззараживание воды гипохлоритом натрия используется только в аварийных ситуациях и при производстве ремонтных работ. В рабочем режиме система «Импульс» обеспечивает надежное обеззараживание воды. В р. п. Яшкино (Кемеровская обл.) создана уникальная система водоподготовки, использующая для обработки воды совместное воздействие УФ-излучения и природных окислителей. Трехлетняя эксплуатация показала высокую надежность и эффективность созданного оборудования.

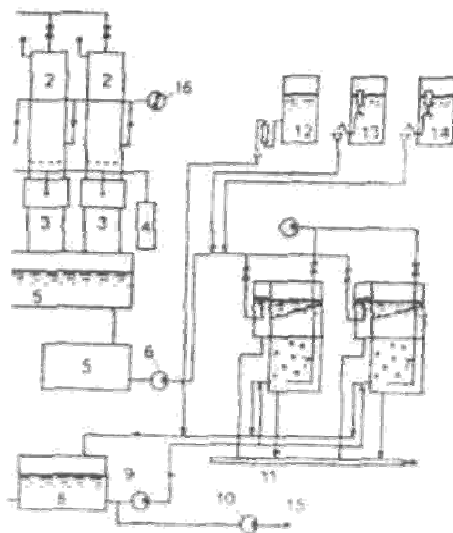


Рис. 38. Технология обезжелезивания и деманганации подземных вод в пос. Яшкино

В последние годы в различных областях промышленности и коммунальном хозяйстве широкое распространение получает обработка воды методом электрохимической активации - ЭХА. Анолит и католит, полученные в результате униполярной обработки, используются в различных процессах в качестве жидкостей, обладающих повышенной химической и каталитической активностью. В частности, электрохимическая обработка маломинерализованных водных растворов хлорида натрия (менее 5 г/л) превращает их в моющие, дезинфицирующие и стерилизующие жидкости. Для синтеза подобных растворов в НПО «ЭКРАН» разработаны и серийно производятся установки типа «СТЭЛ» различных модификаций.

На кафедре «Водоснабжение и водоотведение» (ВиВ) Петербургского государственного университета путей сообщения несколько лет ведутся исследования по использованию ЭХА-растворов в системах водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ). ЭХА-растворы, в частности анолит, в ВКХ

могут применяться для обеззараживания природных или сточных вод, а также водопроводных сетей и сооружений. Впервые для нужд ВКХ анолит успешно использовали на канализационных очистных сооружениях (КОС) ст. Семрино Октябрьской железной дороги (расход сточных вод $400 \text{ м}^3 / \text{сут}$).

На кафедре ВиВ совместно с Российским центром проблем экологии была разработана установка «Экотест» на основе модуля и технологии получения анолита «СТЭЛ». Установка состоит из блока для приготовления раствора и блока дозирования раствора. Технологическая схема установки приведена на рис.39.

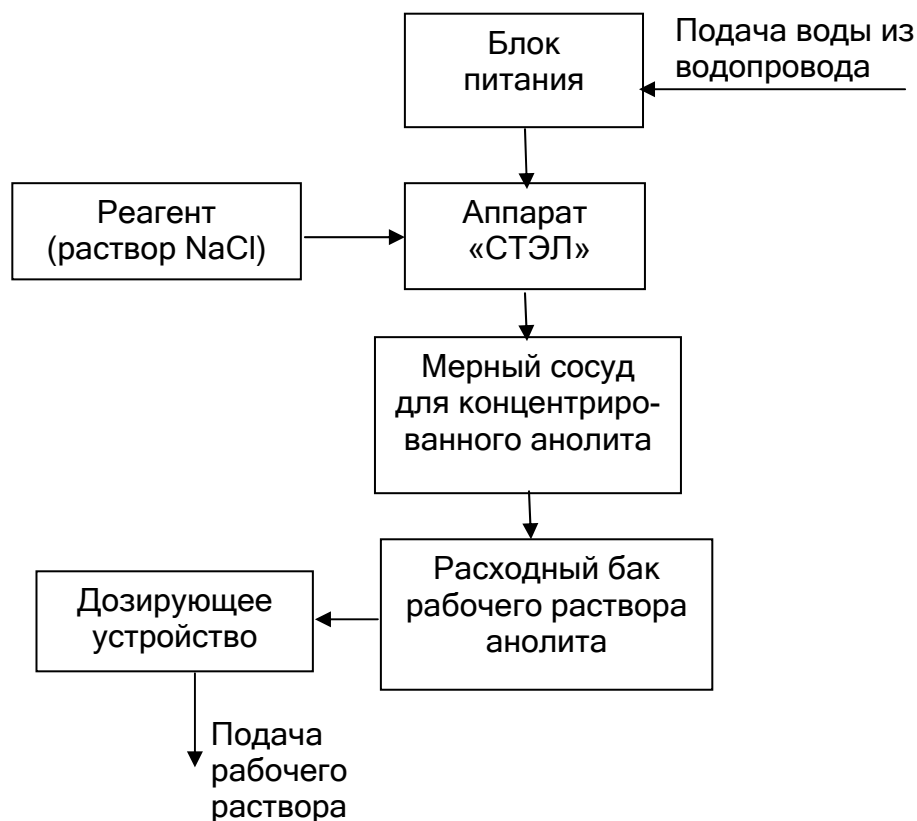


Рис.39. Технологическая схема установки «Экотест»

Для определения рабочих параметров установки провели исследования по обеззараживанию сточной воды с различными концентрациями активного хлора в анолите и постоянным рН» 6. Для сравнения отбирались пробы воды, обработанные раствором гипохлорита натрия, с дозой активного хлора 3 мг/л. Отбор проб для обеззараживания осуществлялся с участием представителей центров санитарно-эпидемиологического надзора (Дор-ЦСЭН и ЦСЭН-2), которые затем выполнили бактериологический анализ по стандартной методике. Результаты анализа приведены на рис.40. Экспериментальные исследования на КОС ст. Семрино показали устойчивое обеззараживание сточной воды до нормы при дозе анолита 2 мг/л. Обеззараживание воды ЭХА раствором более эффективно, так как полностью уничтожает колифаги, с которыми гипохлорит не справляется, и более активно подавляет другую микрофлору. Экономически

применение анолита также оправдывает себя: при производительности по активному хлору 40 г/ч установка потребляет 300 Вт/ч, или 7,2 кВт/сут.; при этом расход поваренной соли при расходе ее 6 г на 1 г активного хлора составляет 4,8 кг.

Научно-исследовательская работа по теме «Разработка новой технологии обеззараживания сточных вод КОС Зеленогорска ЭХА-растворами и подбор оборудования на основе производственных испытаний на опытной установке», выполняемая на кафедре ВиВ). Предусматривала проведение комплекса исследований для определения рабочих параметров и области применения современной отечественной технологии электрохимического синтеза дезинфицирующих и стерилизующих растворов диафрагменных электролитических элементах (ПЭМ)

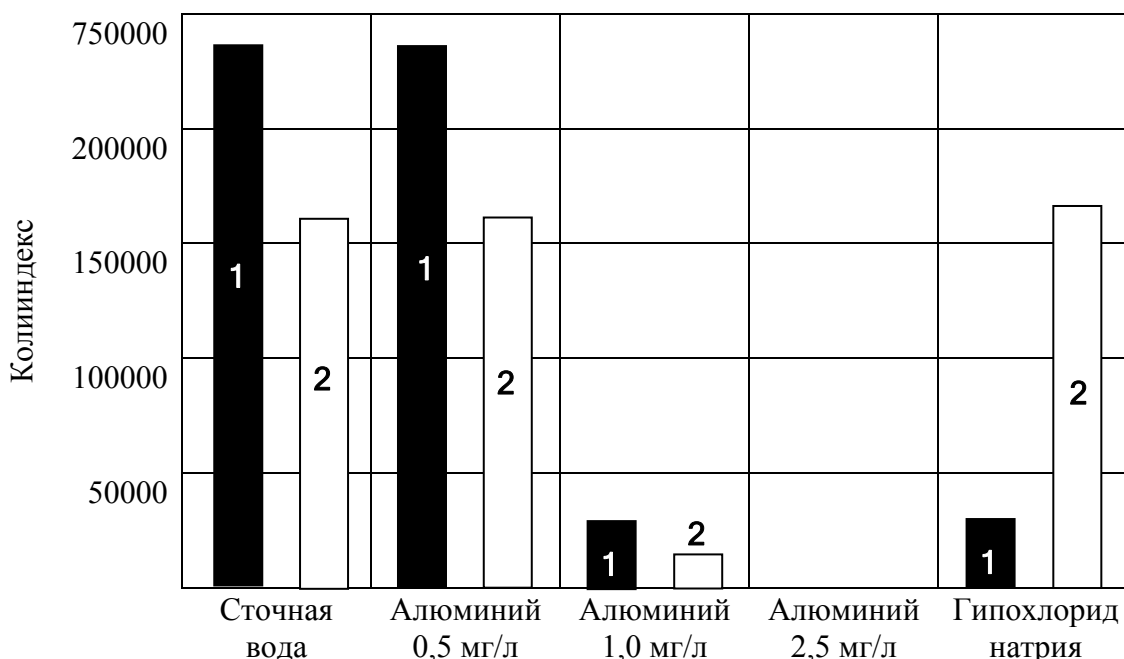


Рис.40. Изменении показателей сточной воды после ее обработки на канализационных очистных сооружениях ст.Семрино

1 - коли-индекс; 2 – колифаги

Таблица 47

Тип прибора	С, л/ч		рН	Концентрация	Дом активного хлора, мг/л	Коли-индекс	Коли-фаги	Расход соли, г/л
	вода							
СТЭЛ	200	200	3,5	240	1	22	950	3
СТЭЛ	200	200	3,5	240	2	12	40	3

СТЭЛ	200	200	3,5	240	3	< 9	0	3
СТЭЛ	200	200	6,2	240	1	30	650	3
СТЭЛ	200	200	6,2	240	2	< 9	0	3
СТЭЛ	200	200	6,2	240	3	< 9	0	3
СТЭЛ	80	70	7,5	700	1	25	700	4
СТЭЛ	80	70	7,5	700	2	< 9	0	4
СТЭЛ	80	70	7,5	700	3	< 9	0	4

Экспериментальные исследования в лабораторных условиях и на КОС Зеленогорска на реальном стоке (коли-индекс 2,8-Ю, колифаги 6400) показали устойчивое обеззараживание сточных вод до нормы при дозе анолита 1-2 мг/л на активный хлор. Исследования эффекта обеззараживания проводились при различных режимах работы опытной установки с модулями СТЭЛ-250 и СТЭЛ-80, концентрация активного хлора в растворе анолита была 240 и 700 мг/л соответственно, концентрация раствора соли 20 %. Результаты исследований приведены в таблице 48.

Эффективность обеззараживания сточных вод ЭХА-растворами подтверждена Центральной станцией аэрации ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», где проводились исследования эффективности анолитов. Испытания показали, что анолит любой концентрации и при различных показателях рН уничтожает колифаги полностью (табл.48). На основе исследований получено гигиеническое заключение на применение ЭХА-растворов для обеззараживания сточных вод.

Проводились также исследования по обеззараживанию природных вод. В качестве объекта исследований выбрали воду р. Невы, которая является основным источником водоснабжения С.-Петербурга. Пробы воды брали из р. Невы у моста Лейтенанта Шмидта, обеззараживание проводилось анолитами различной концентрации и с различными показателями рН. Результаты исследований аналогичны результатам по обеззараживанию сточных вод, т. е. колифаги были уничтожены полностью. Обеззараживание резервуаров чистой воды, баков водонапорных башен, а также трубопроводов (новых или после ремонта) с использованием традиционных реагентов (газообразный хлор, хлорная известь, гипохлорит натрия, гипохлорит кальция) характеризуется токсичностью, образованием осадка при растворении компонентов, трудоемкостью работ и недостаточным эффектом обеззараживания, не соответствующим требованиям Сан-ПиН 2.1.4.559-96.

Таблица 48

Показатель	Сточная вода	Анолит рН=3, концентрация активного хлора			Анолит рН=6,5 концентрация активного хлора			Анолит рН=6,5 концентрация активного хлора			Норма СанПиН
		2	2,5	5	2	V	5	2	2,5	5	
Индекс ЛПК	2,4-10 ¹	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	Не более

Общее микробиос число	$1.4 \cdot 10^1$	$1.1 \cdot 10^1$	$1.3 \cdot 10^2$	1	$1.8 \cdot 10^3$	$4.6 \cdot 10^3$	0	$4.1 \cdot 10^3$	$7.2 \cdot 10^2$	0	-
Колифаги, БОЕ/лм	> 161	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Не более 1000 в 1 дм ³

На кафедре ВиВ совместно с Научным производственным центром «Оферта М» разработаны технология и конструкции оборудования мобильного комплекса дезинфекции сооружений водоснабжения при производстве регламентных и ремонтных работ. Отличительной особенностью нового способа антимикробной обработки является применение высокоэффективных дезинфектантов - аэрозолей электрохимически активированных водных растворов хлорида натрия (АНК), синтезированного в установках «СТЭЛ» и распыляемого с помощью аэрозольного генератора центробежного типа КГА-1 (рис.41).

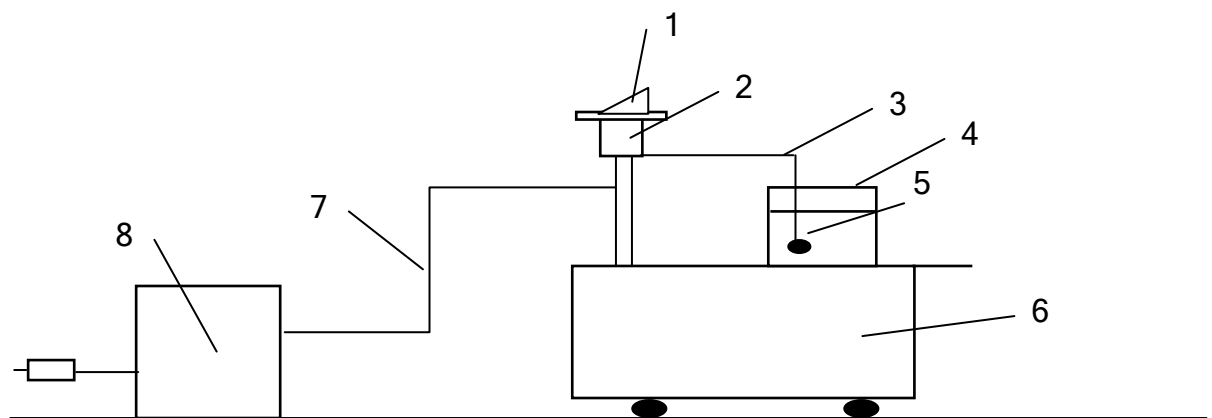


Рис.41. Принципиальная схема аэрозольного генератора КГА-1 «Туман»:

- 1 - диск центробежного аэзатора;
- 2 - корпус генератора;
- 3 - шланг для подачи раствора;
- 4 - емкость для раствора;
- 5 - фильтр,
- 6 - передвижное устройство;
- 7 - силовой кабель (220 В 400 Н/);
- 8 - преобразователь напряжения (380 В 50 Нг).

Установки работают в проточном режиме: синтез нейтрального анолита осуществляется непрерывно из протекающей через электрохимический реактор водопроводной воды, в которую при помощи встроенного дозатора вводится раствор хлорида натрия. Аэрозольная технология основана на создании активного мелкодисперсного облака, в виде холодного тумана, который заполняет весь объем сооружения и подавляет вредную микрофлору не только на поверхности объекта, но и на всех предметах, находящихся внутри него, и также saniрует воздушную среду.

Разработана и изготовлена аэрозольная установка «Туман», которая ускоряет частицы электрохимически активированных растворов до 180 м.с, превращая их в

мелкодисперсную фазу (5-50 мкм), Продолжительность «состояния тумана» находится в пределах от 20 мин до 1,5 ч в зависимости от объема сооружения, степени его герметизации, температурно-влажностных характеристик. Получив в результате распыления дополнительный энергетический импульс, ЭХА-растворы в виде аэрозоля деформируют оболочку микроба значительно быстрее (по меньшей мере - на порядок) и вступают в активное взаимодействие с содержимым микробной клетки. Таким образом, впервые появилась возможность одновременно дезинфицировать не только все поверхности в замкнутой емкости, но и предметы, находящиеся внутри нее. С 1996 по 1999 г. проведены многочисленные эксперименты по обработке сооружений (в том числе по обеззараживанию подвалов Государственного Эрмитажа, зараженных различной микрофлорой, такой как кишечная палочка, стафилококки, микробактерии туберкулеза, дрожжевых клеток, грибов).

Объектами дезинфекции путем аэрозольной обработки анолитом могут быть операционные, больничные палаты, санитарные комнаты, бытовки, мусоропроводы, цеховые помещения и емкости на предприятиях и т.д. Эффективность антимикробной обработки различных объектов аэрозодем анолита находится в прямой зависимости от параметров ЭХА-растворов и режимов работы генератора аэрозоля. Новая технология дезинфекции аэрозодем анолита успешно выдержала испытания, что подтверждено соответствующими актами и с 1997 г. внедряется на крупных предприятиях России. К ноу-хау этого метода относятся: способ дезинфекции и оптимизированные параметры анолита АНК (рН, окислительно-восстановительный потенциал, температура, электропроводность, концентрация сильных окислителей, выраженная эквивалентом «активного хлора»), характеристики аэрозоля, режимы аэрозольной обработки различных объектов.

Техническая характеристика аэрозольного генератора КГА-1 «Туман»

Диаметр аэрозольного облака, м До 15

Влажность, % До 98

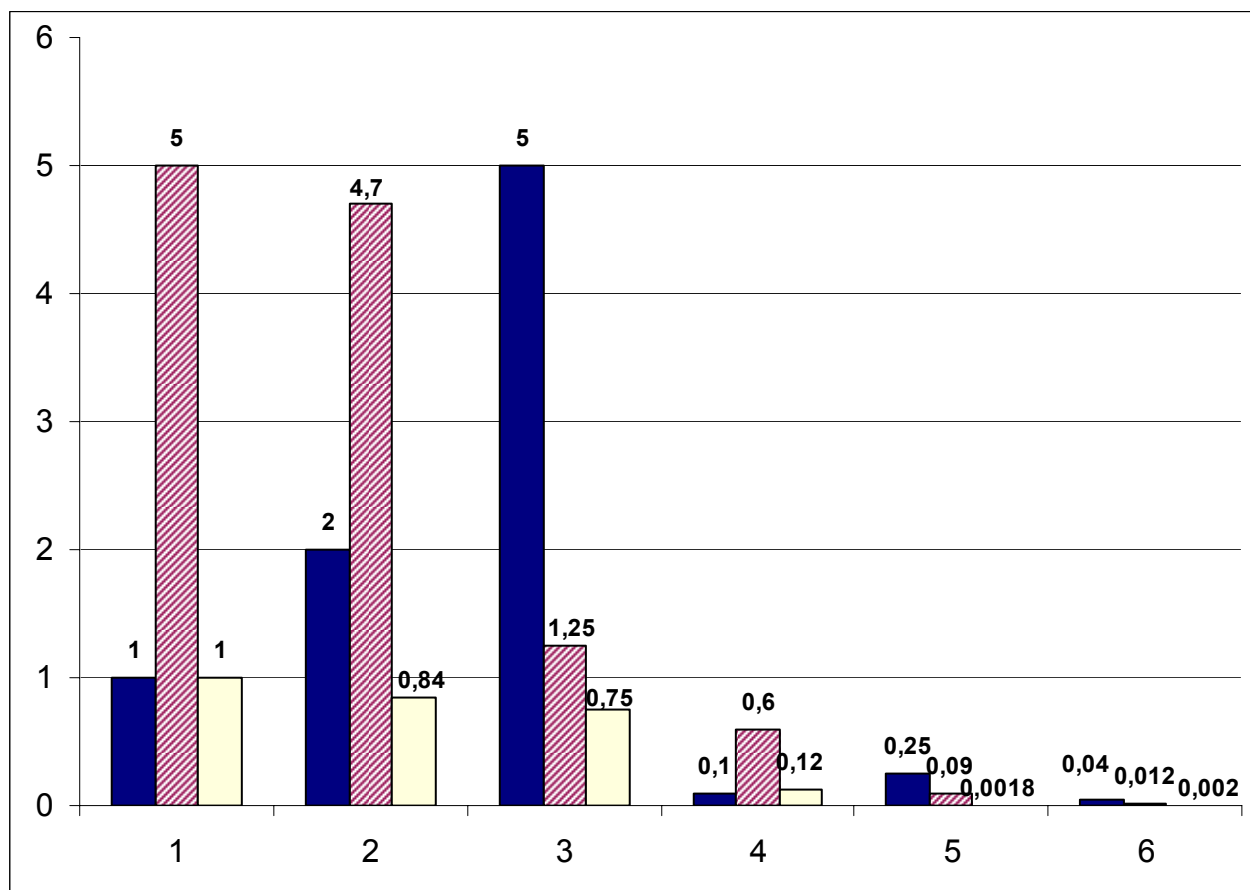
Производительность, л/мин. 0.3-3

Дисперсность аэрозоля, мкм Первичное электропитание, Гц (В)

Максимальная потребляемая мощность, кВт 2,5

Масса общая, кг 15

Экономический эффект, получаемый при аэрозольной дезинфекции анолитом АНК, представлен на рис.42.



С целью установления биоцидных свойств аэрозоля АНК проведены испытания на различных объектах С. Петербурга. Полученные данные свидетельствуют о высокой эффективности дезинфекции помещений и находящихся в них предметов методом распыления аэрозоля активированного анолита АНК. Гарантированный уровень снижения обсемененности спорами бактерий *Cereus* - не менее двух порядков, вегетативной формой - на семь порядков ниже относительно общей обсемененности на площади 100 см². Данный метод безопасен по экологическим и токсикологическим показателям, прост в эргономическом отношении, позволяет отказаться от использования дорогостоящих и небезопасных альтернативных препаратов или существенно сократить объем их применения. После аэрозольной обработки анолитом АНК так называемый эффект «мокрых стен» отсутствует. Это связано с тем, что АНК, осевший на поверхностях, в щелях и зазорах, практически не оставляет после себя кристаллов соли и иных соединений, являющихся обычно центрами конденсации влаги.

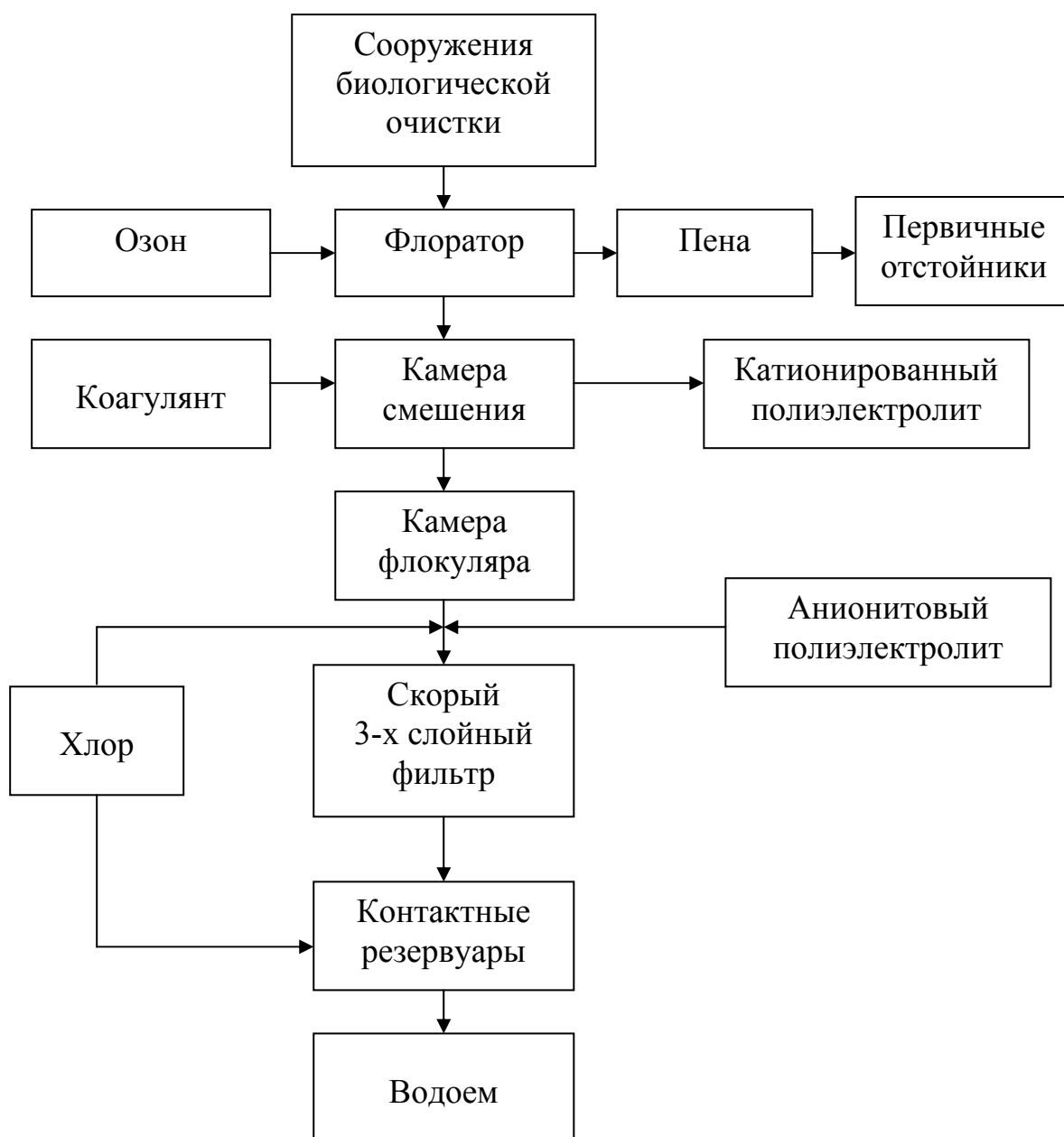
Таблица 49

Показатель	ГОСТ 2761-84 «Вода источника»	ГОСТ2874- 82 «Вода питьевая»	Вода до обработки	Вода после обработки
Запах, бал	2	2	16	14
Цвет, град	120	20	25	30
Взвешенные вещества, мг/дм ³	15	1,5	7,7	7,2
Ионы аммония, Мг/дм ³	2	-	0,25	0,3
Нитриты, мг/дм ³	3,3	-	0,16	0,2
Нитраты, мг/дм ³	45	45	2,5	2,8
Fe, мг/дм ³	1	0,3	0,03	0,6
Ионы <i>Cl</i> , мг/дм	350	350	65	300
Жесткость, Мг- экв/лм ³	7	7	5,8	6
Щелочность, Мг- экв/дм ³	-	-	4,3	4,2
Растворенный кислород, мг/дм ³	-	-	7,5	7,8
Перманганатная окисляемость, мг/дм ³	15	-	7,2	6,9
Колифаги воды		100	150	50
ЛКП в 1 дм ³ воды	10000	<3	8000	70
Колифаги в 1 дм ³ воды	+00	-	100	10
pH	6,5 - 8,5	6 - 9	8	7,5

5. Физико-химические методы обеззараживания вод

К физико-химическим методам относятся: сорбция, коагуляция, флотация, электрофильтрование а также сочетание УФ и O_3 , УФ и H_2O , УФ и $O_3 + H_2O$, УФ и TiO_2 и др.

В настоящее время среди новых технологий по очистке и обеззараживанию воды наиболее перспективными являются окислительные технологии, объединенные термином Advanced Oxidation Processes (AOP), которые охватывают обширный диапазон физических и химических методов, способных не только обеззараживать, но и очищать воды до очень низких концентраций загрязняющих веществ [1]. Примером этому может быть доочистка и обеззараживание бытовых и сточных вод на станции Шино-Базин в Калифорнии (США).



С помощью этих методов отмечается очень высокая эффективность обеззараживания, обусловленная их синергетическим эффектом, т.е. взаимоусилением отдельных воздействий от каждого из применяемых средств. Степень усиления в ряде случаев достигает величин 10^3 - для микроорганизмов и 10^2 - для органических веществ. Особенно перспективно применение ультрафиолет-озоновой технологии для очистки и обеззараживания воды, т.к. в этом случае под УФ-излучением происходит фотокаталитическое разложение озона, процесс воздействия УФ-лучей на пероксид водорода такой же, как и на озон. За счет поглощения бактериальными клетками УФ-лучей и воздействия на них образующихся при разложении H_2O_2 радикалов, значительно усиливается обеззараживающее действие.

В литературе встречаются сведения о совместном использовании УФ-излучения с хлором, однако, этот метод рекомендуется при оборотной системе водоснабжения плавательных бассейнов (споры и хлоростойчивые бактерии и вирусы), который позволяет снижать в 2-3 раза расход хлора.

Взаимоусиление антимикробного действия отмечено при использовании УФ-излучения, хлора и пероксида водорода с ионами некоторых металлов: меди серебра, цинка.

Однако, все указанные в этом разделе методы не нашли достаточно широкого применения при обеззараживании вод, в большинстве случаев они применяются для очистки или доочистки промышленных сточных вод, когда другие методы неэффективны или малоэффективны (на шпалопродиточных заводах, производства ядохимикатов и др.)

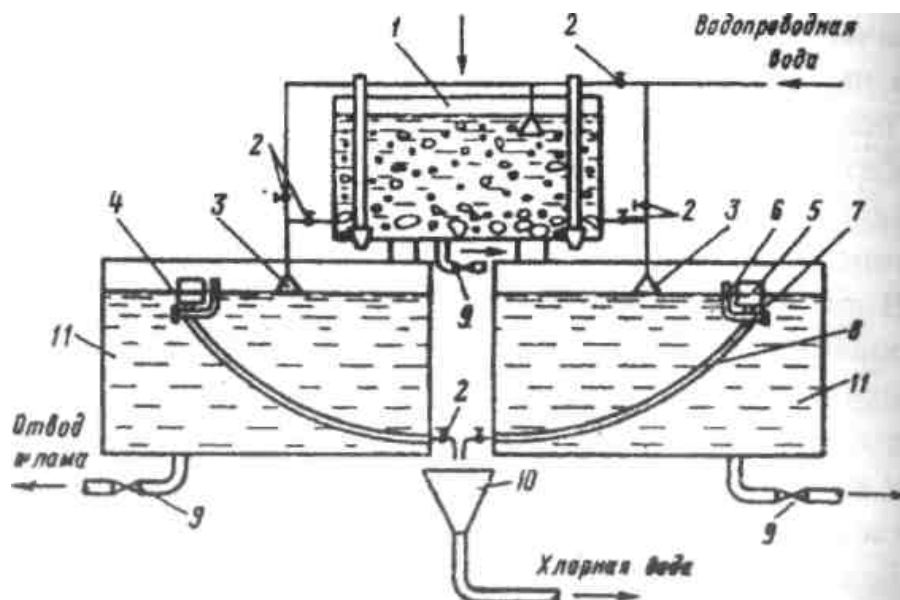


Схема установки для обеззараживания воды хлорной известью:

1 - затворный бак; 2 - вентили; 3 - воронки; 4 - поплавковый дозатор постоянного расхода; 6 - воздушная трубка; 7 - шайба; 8 - резиновый шланг; 9 - вентили для отвода шлама; 10 - гидравлический затвор; 11 - расходные баки.

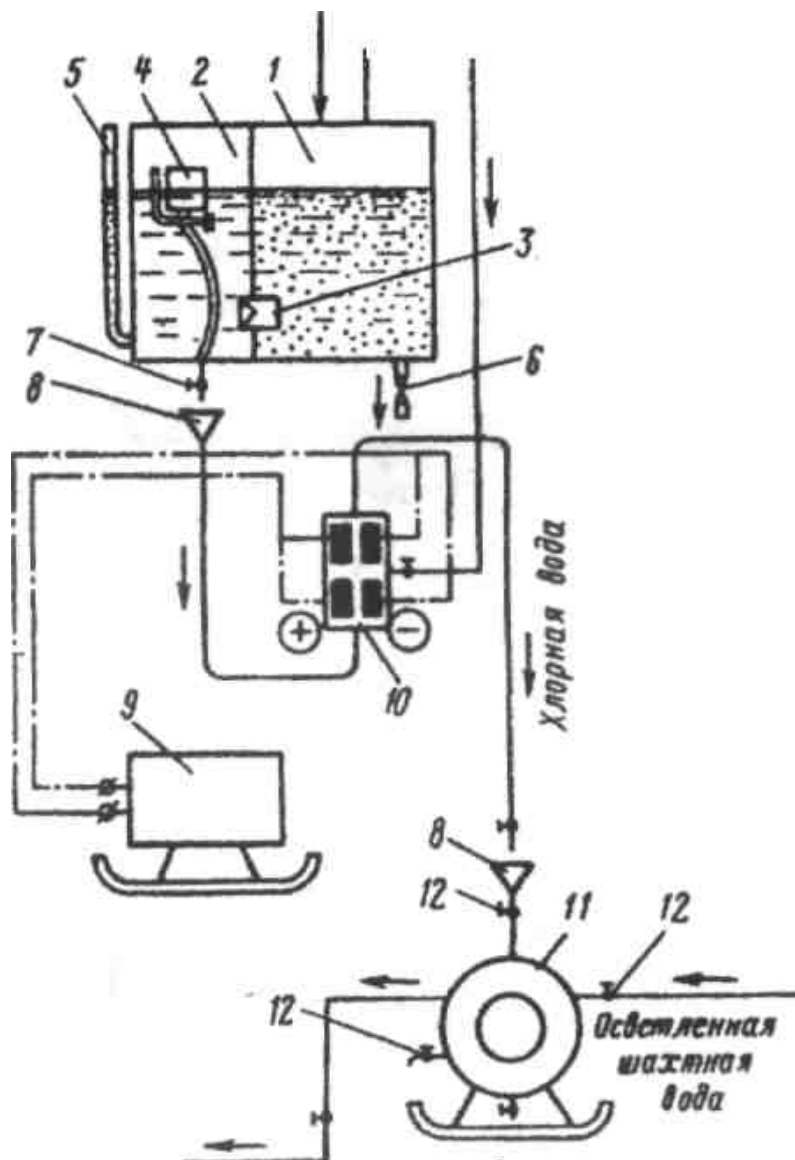
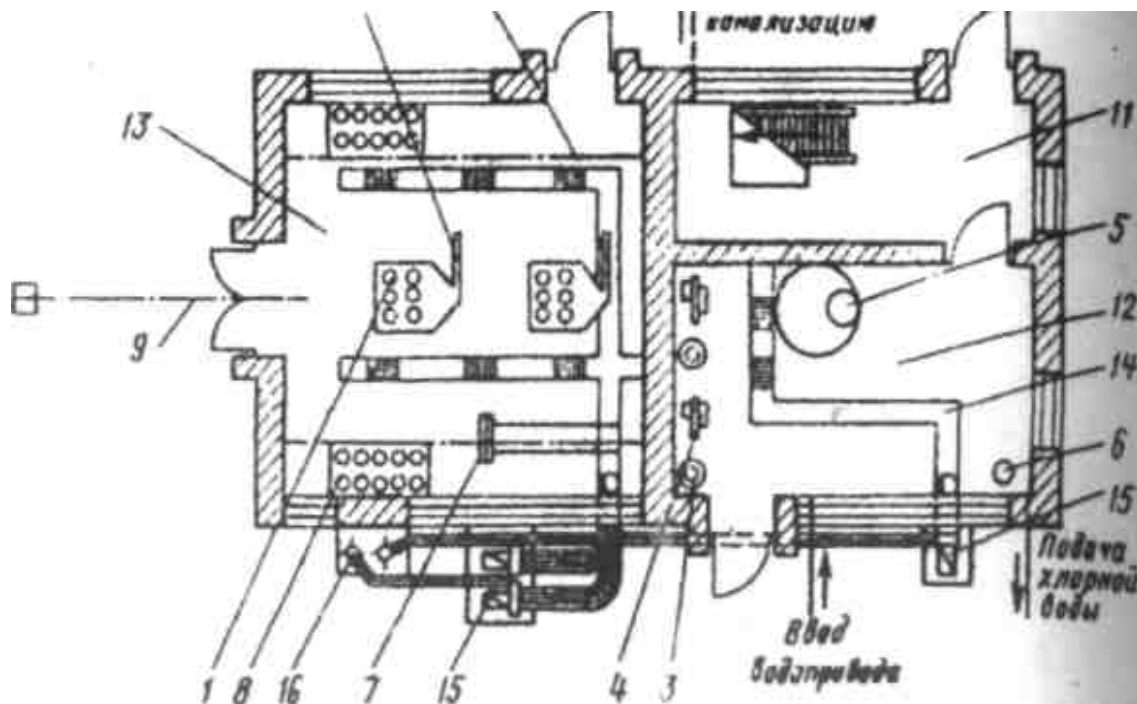


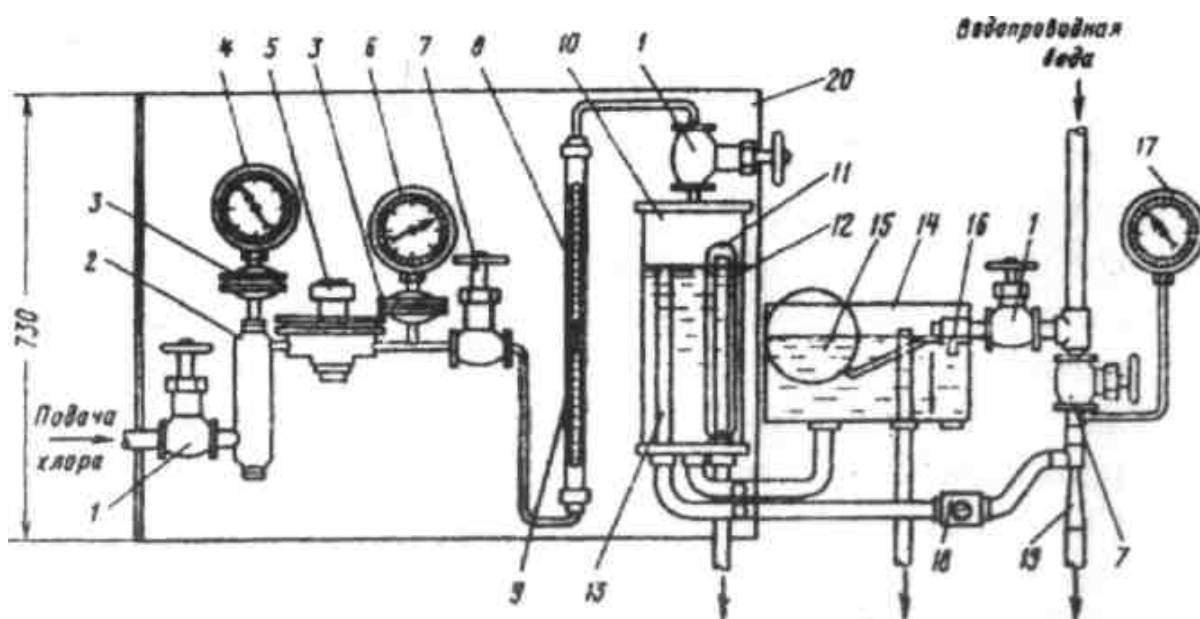
Схема установки для обеззараживания воды гипохлоритом натрия:

- 1 - затворный бак;
- 2 - растворо-расходный бак;
- 3 - конусный сетчатый фильтр;
- 4 - поплавковый дозатор;
- 5 - водомерное стекло;
- 6 - вентиль для отвода шлама;
- 7 - вентиль;
- 8 - гидравлический затвор;
- 9 - источник электропитания;
- 10 - электролизер;
- 11 - дозатор;
- 12 - вентили



План здания хлораторной:

- 1 - расходные баллоны;
- 2 - весы;
- 3 - баллон - испаритель;
- 4 - хлоратор;
- 5 - нейтрализатор,
- 6 - баллон с азотом;
- 7 - футляр для поврежденных баллонов;
- 8 - стеллаж для баллонов;
- 9 - монорельс;
- 10 - подкрановые пути;
- 11 -тамбур;
- 12 - хлораторная;
- 13 - расходный склад;
- 14 - вентиляционный канал;
- 15 - вентилятор;
- 16 - вытяжная труба



Хлоратор ЛОНИИ-100:

- 1 - запорный вентиль;
- 2 - фильтр;
- 3 - мембранная камера;
- 4 - манометр высокого давления;
- 5 - редукционный клапан;
- 6 - манометр низкого давления;
- 7 - регулирующий вентиль;
- 8 - ротаметр;
- 9 - поплавок - ротор;
- 10 -смеситель;
- 11 - колпак предохранителя;
- 12 – предохранитель;
- 13 - всасывающая трубка;
- 14 - корпус дозирочного бачка;
- 15 - поплавок;
- 16 - шаровый клапан;
- 17 - манометр;
- 18 - пропускной вентиль;
- 19 - эжектор;
- 20 - щит хлоратора.

Если хочешь быть здоров?..

Сегодня Украина стоит перед необходимостью принятия действенных мер по предотвращению прогрессирующего разрушения окружающей среды. Загрязнение среды обитания, превысившее все допустимые биологические концентрации, резко снизило продолжительность жизни. Недальновидность экологической политики привела к тому, что территория Украины стала непригодной для проживания. Это наиболее заметно на водных ресурсах. Само использование водных ресурсов крайне нерациональное: свыше 50% питьевой воды идет на технологические потребности, в то время как 90% их можно было бы повторно использовать. Потери воды при транспортировке в оросительных системах, магистральных каналах — до 30%. Разбавление сточных вод днепровской водой (Запорожское водохранилище) достигло 1:14, а экологически допустимое -1:1000, что явилось причиной роста инфекционных заболеваний, передающихся водным путем. Так, заболеваемость гепатитом А приняла характер пандемии.

Украина
1992-1996 гг.

Год	Количество человек, переболевших гепатитом А	Затраты на проведение лечебно-карантинных мероприятий в долларовом эквиваленте
1992	119146	250833684
1993	112125	236057660
1994	158000	332631578
1995	148000	311578950
1996	220000	462000000

Помимо микробиологических показателей качество воды характеризуется санитарно-химическими показателями, оценивающими опасность ее химического состава. Если перейти на нормы качества воды, предъявляемые Всемирной организацией здравоохранения, то необходимо закрыть ВСЕ водопроводы Украины как не отвечающие гигиеническим требованиям. Вода, потребляемая населением, инфицирует, отравляет и убивает.

Анализ воды по четыреххлористому углероду, мкг/л., международная экспертиза, 1994 г. в гг. Днепропетровск - Саратов.

Источник	В реке	После хлорирования в водопроводной воде
Волга Днепр	4 146	158 1030

Четыреххлористый углерод - сильнодействующий яд, поражающий органы пищеварения и ЦНС.

Техногенное воздействие на недра стало причиной того, что 50% подземных вод, использовавшихся сельским населением Днепропетровской области, стали абсолютно непригодными.

Для питья используют привозную днепровскую, но на отравленной воде выращиваются продукты питания. По прогнозам большой группы ученых Института проблем природопользования и экологии Национальной академии наук Украины в 2000 г. и днепровская вода станет абсолютно непригодной к употреблению. Катастрофические последствия не заставляют себя ждать, а политическое руководство страны напоминает страуса во время опасности.

Приложение

Хлор и его производные

Продолжительность контакта хлора или гипохлорита со сточными водами - 30 мин., для связанного активного хлора - 1 час. Остаточный хлор после контакта со сточными водами должен включать:

- свободный активный хлор - 1 г/м³;
- связанный активный хлор - 1,5 г/м³.

Вдыхание в течение 1 часа воздуха, содержащего хлор в количестве 0,1 - 0,15 мг/л, приводит к смертельному отравлению, а концентрация до 2,5 мг/л - немедленную смерть.

Диоксид хлора (ClO₂) - желтый газ с резким раздражающим запахом. При концентрации в воздухе более 10% (по объему) он взрывается, но совершенно безопасен в водном растворе. Взрывается от электрической искры, на прямом солнечном свете или при нагревании до температуры свыше 60°C, а также при соприкосновении со многими органическими веществами при обычной температуре. Диоксид хлора высокотоксичен, ПДК в воздухе рабочей зоны для паров на уровне 0,1 г/дм³ (1 класс опасности). Диоксид хлора - сильный окислитель, с высокими дезодорирующими и отбеливающими свойствами. Его действие на патогенные бактерии равно действию хлора. Диоксид хлора получают на месте

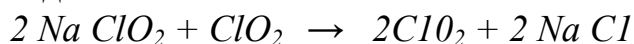
1. Приготовление из соляной кислоты:



Na ClO₂ - хлорит натрия, обращаться осторожно, хранят в сухом виде и холодном месте, отдельно от горючих материалов.

Для получения 6 г диоксида хлора надо. 10 г чистого хлорита натрия и 3,2 г соляной кислоты (на практике в 3 - 4 раза больше).

2. Приготовление из хлора Все типы генераторов производят 2%-ный раствор диоксида хлора, который подается непосредственно в подготовленную для обеззараживания воды.



Гипохлорит натрия ($Na ClO$, содержит активного хлора 25-35%) - белое аморфное вещество. Насыпной вес безводного продукта 0,3 - 0,9 т/м³, поставляют в полиэтиленовых мешках. Марки гипохлорита натрия А, Б, и В - отличаются содержанием активного хлора, влажностью и пр. Гипохлорит кальция $Ca (OCl)_2$ содержит активного хлора 65- 70%, а хлорная известь $CaCl_2O$ - 65 - 85%.

Приложение

НПО «ЛИТ» производит оборудование нового поколения для обеззараживания природной, сточной и оборотной воды

Наименование	Производительность, м /ч, не более	Энергопотребление, кВт, не более
вода артезианская, ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая»		
УДВ-10/2	10	0,2
УДВ-50/7	50	0,6
УДВ-100/14	100	1,2
УДВ-150/21	150	1,8
УДВ1000/144	1000	14,0
вода поверхностная		
УДВ-1000/288	1000	26,0
вода очищенная, сточная		
УДВ-6/6	6	0,5
УДВ-60/42	60	3,4
УДВ-250/144	250	12,8
УДВ-500/288	500	26,0
УДВ-1000/432	1000	38,0

Установки:

- изготовлены из коррозионно-стойких материалов: пищевая нержавеющая сталь, высококачественное кварцевое стекло;
- оснащены средствами автоматики и контроля;
- рассчитаны на напряжение питания 220 В или 380 В;
- комплектуются современными бактерицидными лампами низкого давления с ресурсом работы - не менее 8760 часов (1 год), спад интенсивности излучения к концу этого срока не более 15%, с рабочей температурой лампы 40°С, с напряжением на лампе 120 В, с высоким выходом бактерицидного излучения; имеют гарантийный срок эксплуатации 12 месяцев

**Перечень вирусов и бактерий,
уничтожаемых бактерицидным УФ-излучением**

Вид микроорганизма	УФ-доза, Дж/см²	Вид микроорганизма	УФ-доза, Дж/см²
Agrobacterium tumefaciens	85	Shigella sonnei	70
Baillus Anthracis	87	Shigella Paradiesentariae	34
Baillus Megaterium	25	Spirillum Rebusum	62
Baillus Megaterium (spores)	520	Staphylococcus epidermids	58
Baillus Paratyphosus	61	Staphylococcus Albus	57
Baillus Subtilis(mixed)	110	Staphylococcus faecalis	100
Baillus Subtilis	580	Staphylococcus Auereus	66
Clostridium Tetani	220	Staphylococcus Hemolytycus	88
Corinebacterium Dephtheriae	41	Staphylococcus Lactis	38
Eberthella Typhosa	66	Staphylococcus Viridians	65
Escherichia Coli	35	Virbrio cholerae	66
Legionella bozemanii	55	Bacteriophage (E.Coli)	80
Legionella dumoffii	29	Influenza virus	210
Legionella gormanii	38	Hepatitis virus	240
Legionella micdadel	60	Poliovirus (Poliomeyelitis)	4400
Legionella longbeachae	123	Rotavirus	990
Legionella pneumophila	150	Todacco mosaic virus	800
Legionella interrogans	154	Aspergillus flavus (yellowish green)	3300
Micrococcus Candidas	100	Aspergillus glaucus (bluish green)	352
Micrococcus Pillonensis	85	Aspergillus niger (black)	880
Micrococcus Sphaeroides	85	Mucor ramosissimus (white gray)	220
Micrococcus Tuberculosis	66	Penicillum digitatum (olive)	920
Neisseria Candidas	105	Penicillum expensum (olive)	2000
Phytomonas Tumefaciens	39	Penicillum roqueforti(green)	88
Phytomonas Vulgaris		Rhizopus nigricans	66
Pseudomonas Aeruginosa (environ-mental-strain)	66		132
Pseudomonas aeruginosa (laboratory strain)	62		132
Pseudomonas Fluorescens	100		176
Rhodsprilum rubrum	76		
Salmonella	61		
Salmonella Enteritidis	152		
	60		

Salmonella paratyphi (enteric fever)	264	(black)	
Salmonella Typhimurium	62	Chorella Vulgaris (al- gae)	
Salmonella typhosa (typhoid fever)	42	Nematode eggs	
Sarcina Lutea	34	Paramecium	
Serratia Macescens		Baker yeast	
Shigella dysenteriae (Dysenery)		Brevers yeast	
Shigella flxneri (Dysenery)		Common yeast cake	
		Saccaharomyces var. ellipsoideus	
		Saccaharomyces sp	

Приложение

**Основные технические характеристики установок
ЭП-10-1, ЭП-10-10, ЭП-10-25**

Производительность по активному хлору	кг/сут	ЭП-10-1	ЭП-10-10	ЭП-10-25
Производительность по воде	м ³ /сут.	1	10	25
Расход электроэнергии для получения 1 кг активного хлора	кВт/ч	до 1000	3-10 тыс.	5-20 тыс.
Расход соли для получения 1 кг активного хлора	кг	6-8	6-8	6-8
Температура исходного раствора соли	°С	до 20	до 30	до 30
Концентрация исходного раствора соли	г/л	15-50	15-50	15-50
Электропитание от сети переменного тока	В	220	380	380
Номинальная мощность	кВт	0,08	5,0	5,0
Габаритные размеры: Электролизный блок:			длина	длина
диаметр	мм	110	700	700
высота	мм	200	650	650
			1700	1700

Производительность по активному хлору	кг/сут	ЭП-10-1	ЭП-10-10	ЭП-10-25
Блок питания:				
длина	мм	350	600	600
ширина	мм	260	350	350
высота	мм	180	1150	1150
Масса установки	кг	5	до 150	до 150
Рабочее давление	кг/см		до 4	до 4

Приложение

Комплекс ультрафиолетовой дезинфекции сточных вод типа УДВС-500

Установка содержит УФ-лампы, окруженные кварцевыми чехлами и смонтированные в 8 блоков (по кругу). Каждый блок имеет автономную систему питания и контроля.

Производительность - 500 м³/ч

Габариты: высота - 2,3 м диаметр- 1,9 м длина- 1,26м.

Рабочее давление - 2 атм

Потери напора - <0,03 атм

Питание, в, Гц - 380(50)

Потребляемая мощность - <20 кВт

Количество ламп - 216 шт.

Срок службы ламп - 8000 час

Бесперебойная работа - при выходе из строя до 10% ламп

Кварцевые кожухи при контакте со сточными водами загрязняются, раз в два месяца их промывают специальным блоком.

Замена ламп примерно один раз в год.

Очистка кварцевых блоков может быть: механическая и химическая.

Механическая очистка - это когда муфта из фторопласта периодически облегая кварцевый чехол скользит по нему.

Химическая очистка - это циркуляция через установку воды с добавлением небольших доз пищевых кислот (щавелевая и др.) при помощи промывочного насоса, который входит в комплектацию УФ-установки.

Системы обеззараживания воды серии AQUA UV 8000

Максимальный расход воды

UV 8002 S	90 л/мин	UV 8012 L	1136 л/мин
UV 8004 S	150 л/мин	UV 8016 L	1514 л/мин
UV 8006 S	350 л/мин	UV 8024 L	2271 л/мин
UV 8008 L	757 л/мин	UV 8032 L	3028 л/мин

Спецификация - 8002 S, 8004 S, 8006 S, 8008 L

Питание	UV 8002 S	UV 8004 S	UV 8006 S	UV 8008 L
	220-240 в /50 Гц/100вт	220-240 в /50 Гц/200вт	220-240 в /50 Гц/400вт	220-240 в /50 Гц/800вт
Конструкц. материалы: УФ-кмера:	Нерж. 316. SS	Нерж. 316. SS	Нерж. 316. SS	Нерж. 316. SS
Уплотнение	Материалы утвержденные FDA	Материалы утвержденные FDA	Материалы утвержденные FDA	Материалы утвержденные FDA
Панель управл.	Нерж. 304. SS алюм. покрыт сзади	Нерж. 304. SS алюм. покрыт сзади	Нерж. 304. SS алюм. покрыт сзади	Нерж. 304. SS алюм. покрыт сзади
Число УФ- ламп:	2	4	8	8
Число балластных сопротивлений:	1	2	4	4
Размеры, см УФ-камера	86,4 x 10,2см	86,4 x 15,2 см	86,4 x 15,2 см	173 x 20,3 см
Контр. панель	55,3 x 30,5 см	55,3 x 30,5 см	55,3 x 50,8 см	61 x 51 см
Ввод/вывод:	1"FNPT	1,5"FNPT	2"FNPT	4"фланцы
Вес: УФ- камеры	12 кг	15 кг	24 кг	68 кг
Контр.панель	7 кг	13 кг	22 кг	73 кг
Температура:	2-40°C	2-40°C	2-40°C	2-40°C
Максимальное рабочее давление:	9 бар	9 бар	9 бар	9 бар

Спецификация – 8012 S, 8016 S, 8024 S, 8032 L

Питание	UV 8012 S	UV 8016 S	UV 8024 S	UV 8032 L
	220-240 в /50 Гц/1200 вт	220-240 в /50 Гц/1600 вт	220-240 в /50 Гц/2400 вт	220-240 в /50 Гц/3200 вт
Конструкц. материалы: УФ-камера:	Нерж. 316. SS	Нерж. 316. SS	Нерж. 316. SS	Нерж. 316. SS
Уплотнение:	Материалы утвержденные FDA	Материалы утвержденные FDA	Материалы утвержденные FDA	Материалы утвержденные FDA
Контр.панель	304 SS	304 SS	304 SS	304 SS
Число ламп:	12	16	24	32
Число балластных сопротивлений:	6	8	12	16
Размеры, см УФ-камера	173 x 25,4 см	173 x 30,5 см	173 x 40,6 см	173 x 50,8 см
Контр. панель	91 x 76 см	91 x 76 см	122 x 91 см	152 x 91 см
Ввод/вывод:	4''фланцы	6''фланцы	8''фланцы	8''фланцы
Вес: УФ-камеры	86 кг	114 кг	173 кг	204 кг
Контр. панель	116 кг	123 кг	216 кг	272 кг
Температура:	2-40°C	2-40°C	2-40°C	2-40°C
Максимальное рабочее давление:	9 бар	9 бар	9 бар	9 бар

Сравнительная характеристика УФ-установок

Показатели	Заводы изгот. (Россия)		НПО «ЛИТ»	Западные фирмы		
	Машино- строитель	Комуналь- ник		WED ECO	DELTA -UV	troyan
Максимальная доза облучения мДж/см ³	Не указана	6	16-40	40	50	30
Коэф. поглощения УФ-излучения, для кот. указ. дан. доза облуч., %/см	Не указана	Не указана	30	4	2	10
Производительность м ³ /час	50-150	1-50	1-1000	2-300	2-1000	5-200
Тип ламп	ВД	НД	НД	НД	НД, ВД	НД
Срок службы лампы, час	3000	7500	12000	10000	8000	10000
Спад интенсивности к концу срока службы, %	50	35	20	40	40	20
Наличие и тип очистки кварцевых чехлов	нет	механическая	химическая			
Материал камеры обеззараж.	сталь	сталь/нерж. сталь	нерж.сталь			
Наличие УФ- датчика	нет	нет	да	да	да	да

Мин. доза УФ-облучения, мДж/см² :

- в ряде штатов США – 16
- в некоторых штатах – 38
- в Германии ≥ 40
- в Норвегии ≥ 16
- в Австрии ≥ 30

В США УФ-системы появились в конце 70-го года, в 1985 г. было 50 установок, в 1990 г. – 500 установок, в 1998 г. – 2000 установок.

Литература

1. Гончарук ВВ., Потапченко Н.Г. Современное состояние проблемы обеззараживания воды. Химия и технология воды. - 1998, т. 20, №2. - с. 190-213
2. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод. Запольский А.К. Мешкова - Клименко НА., Астрелін І.М. та ін. - К.: Лібра, 2000. - 552 с.
3. Водоотведение и очистка сточных вод. Яковлев С.В, Карелин Я. А., Ласков ЮМ. - М.: Стройиздат, 1996.
4. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка. - М Изд-во МГУ, 1996 - 680 с.
5. Хазипов В. А., Погребняк В.Г., Хазипова ВВ. Диоксины и их образование в процессе коксования угля. Экотехнологии и ресурсосбережение. - 2000. - №6. - с. 49-55.
6. Костюченко СВ. Обеззараживание при подготовке питьевой воды из поверхностных источников. Водоснабжение и санитарная техника. - 2000. - №2. - с. 9 -12
7. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П. Образование токсичных продуктов при использовании различных окислителей для очистки воды. Водоснабжение и санитарная техника. - 2002. - №2. - с. 9 - 12.
8. Державні санітарні правила і норми „Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання”. Зареєстровано в Міністерстві України № 136/1940 вщ 15 квітня 1997 р. Затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 23 грудня 1996 р. №383. - Київ. 1997 р.
9. Правила технічної експлуатації систем водопостачання та каналізацій населених пунктів України по жит.- комунал. господарству від 5 липня 1995 р. №30 Зареєстровано в Міністерстві України 21 липня 1991 р. за №231/767
10. Международное совещание Проблемы диоксинов в России. Объединение усилий ученых, политических деятелей и общественных организаций для снижения загрязнения окружающей среды диоксинами. Москва - Уфа. 1996.
11. Загорский В.А., Козлов М.Н., Данилович ДА. Методы обеззараживания сточных вод. Водоснабжение и санитарная техника. - 1998. - №2. - с. 2 - 5.
12. Петросян ВС. Диоксины в окружающей среде. Экология и промышленность России. - 1999. - ноябрь.-с. 33-38
13. Смагин В.Н., Лыкагиев В.А., Квитка Л.А. Экологические и технологические аспекты проблемы содержания галогенно-органических соединений в питьевой воде. Химия и технология воды. - 1993. - №1. - т. 15. - с. 37-45.
14. Долина Л.Ф. Проектирование станции очистки сточных вод населенного пункта. Учебно-методическое пособие по проектированию генерального плана очистных сооружений и высотной схемы движения сточных вод, осадков и ила. (часть 5). - Днепропетровск: ДИИТ, 1998.-с. 19.
15. Рабинович Г.Р., Беляева Е А. Проектные решения станций водоподготовки с применением озонирования и адсорбции. Водоснабжение и санитарная техника. - 1998. -№6.-с. 8-11.
16. СанПин 2.14.027 - 95. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственного водоснабжения. - М.: Минздрав России.-1995.-70 с.

17. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. Затверджено Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 19 червня 1996 року. №173. -Київ.- 1996.
18. Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки, затверджено Постановою Верховної Ради України від 1997 р.
19. Левина Э.Б., Машинская ЛИ., Сирота МН. Новь типовые проекты хлораторных для обеззараживания воды. Водоснабжение и сантехника 1998. - №7. - с. 6 - 8
20. Короткое Г.П. и др. Малогабаритная установка для дезинфекции воды. Вестник ВНИИЖТ - 2000. - №3 - с.46 - 47.
21. Кантор ЛИ., Васильева А.И., Цыпышева Л.Т. Совершенствование технологии хлорирования питьевой воды. Водоснабжение и сантехника - 2001 - №5.
22. Антонюк Л.П. Хлораторы фирмы «Кравт»: 10 лет на рынке России и СНГ. Водоснабжение и сантехника -2001.-№5.-с. 12-13.
23. Прокопов В.А., Толстопятова Г.В., Мактаз Э.Д. Гигиенические аспекты применения диоксида хлора в питьевом водоснабжении. Химия и технология воды. -1997 -т.19.-№3. - с.275 - 288.
24. Lechevallier M.W. J. Amer. Water Work Assoc. -1990. -282, №1,-р. 74-86.
25. Митчел Р.Шарп. Человек в космосе Перевод с англ. -М.: Изд. «Мир», 1971.
26. Guidelines for drinking-water quality. Second ed., : v.1. – Geneva: WHO, UNEP, 1993. - p. 188.
27. Кибирев Д.И., Никифоров Г.И., Поживилко К.С. Обеззараживание питьевой воды гипохлоритом натрия. Водоснабжение и сантехника. - 2000. - № 10. - с.28. - 29.
28. Савлук О.С. Обеззараживание воды галогенами. Химия и технология воды. - 1994 -т. 16. №3- с.317 — 320.
29. Селюков А.В., Скурлатов Ю.И., Козлов Ю.П. Применение пероксида водорода в технологии очистки сточных вод. Водоснабжение и сантехника. - 1999. -№12.- с.25-27.
30. Кузнецов О.Ю., Данилина НИ. Очистка и обеззараживание воды бактерицидным полиэлектролитом. Водоснабжение и сантехника. - 2000. - №10. - с.8 - 10.
31. Ефимов К.М., Гембицкий П.А., Дюмаева Н.В. Данилина НИ. Дезинфицирующие флокулянты для очистки и обеззараживания питьевых и сточных вод. Водоснабжение и сантехника. - 2001. -№10. - с.8 - 10.
32. Katrise - торговая марка группы компаний «Катализ». Водоснабжение и сантехника. - 2002. - №2. - с. 2. 22.
33. Орлов В. А. Озонирование воды. - М.: Стройиздат, 1984.
34. Reckhow D.A., Singer P.C. Chlorination By products in drinking water from formation potentials to finished water concentrations. J. AWWA. 1990 - 82, №4- p.173 - 180.
35. Кузнецова Т.В., Пальчунов Н.Н. Озонирование сточных вод. Водоснабжение и сантехника. - 1997. -№2. -с.12-15.
36. Пуассон А., Чепурнов А.В., Щипетильников В.П. Озонаторное оборудование четвертого поколения фирмы «Озония». Водоснабжение и сантехника. - 2000. -

№1. -с.29.- 32.

37. Найденко ВВ., Васильев Л.А., Васильев АЛ. Озонаторные модули Водоснабжение и сантехника. -1992, - №10. -с. 12- 14.

38. Медведев Г П., Трухин Ю.А., Евельсон Е.А. Технологические исследования по обеззараживанию озоном природных и сточных вод в Санкт-Петербурге. Водоснабжение и сантехника. - 2000. - №10. - с. 11 -13.

39. Исследование эффективности процесса озонирования при подготовке питьевой воды. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П. и др. Водоснабжение и сантехника. -1996-№2.

40. Методические рекомендации по применению озонирования и сорбционных методов в технологии очистки воды от загрязнений природного и антропогенного происхождения М.: НИИ КВОВ, 1995.

41. Козлов М.Н., Филимонова ЕВ. Озонофлотация сточных вод. Водоснабжение и сантехника. - 1991. -.№2.

42. Технические указания по применению озона для обработки природных вод. - К.: НИКТИ ГХ УССР, 1976

43. Васильев Б.В., Трухин Ю.А., Евельсон Е.А. Обеззараживание сточных вод на очистных сооружениях ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». ». Водоснабжение и сантехника. - 2000. - №10. - с.22 - 25.

44. Применение озонофильных установок для очистки природных вод. Барышников ВВ., Хмара В.Ф. и др. Водоснабжение и сантехника. - 2000. - №1. - с. 15 – 16.

45. Обеззараживание воды озоном. Влияние неорганических примесей на кинетику обеззараживания воды. Гончарук ВВ., Потапченко Н.Г. и др. Химия и технология воды. - 2001. - т.23. - №2. - с. 198 - 208.

46. Долина Л.Ф. Проектирование станции очистки сточных вод населенного пункта. - Днепропетровск: Стандарт. 2002. -с. 144.

47. Водоснабжение и сантехника. - 1997. -№9. -с. 14 -18. ,

48. Коробцев СВ., Медведев Д.Д., Ширявский В.Л. Разработка установок локальной озонсорбционной очистки воды. Водоснабжение и сантехника. - 2000. - №1. -с. 17-18.

49. Скурлатов Ю.И., Штамм Е.В. Ультрафиолетовое излучение в процессах водоподготовки и водоочистки. Водоснабжение и сантехника. - 1997. -№9. - с. 14-18.

50. Храменков СВ., Русанова НА., Медриш ГЛ., Шуберт С.А. К вопросу о рациональном использовании УФ-облучения в целях обеззараживания питьевой воды. Водоснабжение и сантехника. - 2001. -№2. - с. 17 - 19.

51. Волков СВ., Костюченко СВ. и др. Технологические аспекты обеззараживания воды УФ-облучением. Водоснабжение и сантехника. - 2001. - №2. - с.20 - 25.

52. UV Light disinfection Technology in Drinking Water Application./ US EPA. - 1996.

53. Романенко НА. и др. УФ-излучение и его воздействие на вирусы и цисты простейших. Водоснабжение и сантехника. - 2001. - №12. - с.5 - 8.

54. МУ 4.2.671 - 97. Методы санитарно-микробиологического анализа питьевой воды. - М.: Минздрав России, 1997.

55. Волков СВ., Костюченко СВ. и др. Обеззараживание сточных вод УФ-излучением. Водоснабжение и сантехника. -2000. -№11. — с. 11 — 13.
56. Комплекс ультрафиолетовой дезинфекции сточных вод. Альшин В.М., Каминская Л.Т. и др. Водоснабжение и сантехника. - 1995. - №7. - с. 16 - 18.
57. Опытные-промышленные испытания по обеззараживанию сточных вод УФ-излучением на Куйбышевском нефтеперерабатывающем заводе. Водоснабжение и сантехника. - 1999. - №10. Г- с.26 - 28.
58. Опыт эксплуатации систем УФ-обеззараживания сточных вод. Водоснабжение и сантехника. - 1998. -№11.-с.17-20.
59. Нагель Ю.А., Зарков О.А., Уварова ИВ., Эльф Ю.Ф., Филимонова Е.В. Электроимпульсное обеззараживание сточных вод. Водоснабжение и сантехника. - 1997. - №6. - с.26 - 27.
60. Яворовский Н. А., Соколов В.Д., Сколупович Ю. А, Ли И.С. Очистка воды с применением электроразрядной обработки. Водоснабжение и сантехника. - 2000. - №1.-с.12-14.
61. Обеззараживание питьевых и сточных вод продуктами электрохимической активации. Иванов В.Г., Дикаревский ВС. и др. Водоснабжение и сантехника. - 2000.-№10.-с.26-28.
- Мнухин А.Г., Брюханов А.М., Насонов СВ., Мнухин В. А. Обеззараживание поверхностных и сточных вод с помощью электрогидравлического воздействия. Водоснабжение и сантехника. - 2002. - №11. - с. 18 -19.

Научное издание

Долина Леонид Федорович

**Новые методы и оборудование
для обеззараживания сточных и природных вод**

Монография

Компьютерная верстка: Попов А.А., Кашкалда О.И.,
Олейник О.В., Вальянов Н.В.

Рецензенты: Дворецкий А.И.
Рожко В.Ф.

Формат 210x297
136с.

Днепропетровск, 2003-136с.
ISBN – 996 – 7086 – 29 – 2