ДЕПАРТАМЕНТ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
МИНСТРОЯ РОССИИ

АО "НИИ КОММУНАЛЬНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ
И ОЧИСТКИ ВОДЫ"

УТВЕРЖДАЮ:
Заместитель директора
Департамента ЖКХ
Минстроя России

_____Н. Н. Жуков
14 сентября 1995 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРИМЕНЕНИЮ ОЗОНИРОВАНИЯ И СОРБЦИОННЫХ МЕТОДОВ В ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРИРОДНОГО И АНТРОПОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Москва 1995

gost.e-ecolog.ru

"Методические рекомендации" подготовлены лабораторией технологии и оборудования очистки природных вод НИИ КВОВ на основании многолетних исследований, проведенных в различных городах и регионах России и СНГ. В рекомендациях учтено современное состояние производства озонаторного оборудования и активных углей на предприятиях России.

"Методические рекомендации" предназначены работникам водопроводно-канализационного хозяйства и специалистам по водоснабжению для решения проблем и задач, связанных с использованием методов озонирования и сорбционной очистки воды.

Рекомендации разработаны кандидатами технических наук В. Л. Драгинским и Л. П. Алексеевой. Научный редактор — кандидат технических наук И. В. Кожинов.

Авторы выражают большую благодарность Н. Н. Жукову и И. В. Кожинову за ценные указания и предложения, данные при рассмотрении рукописи и ее научном редактировании.

Предложения о сотрудничестве просьба направлять по адресу: *123371. Москва, Волоколамское шоссе, 87.* НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды. Лаборатория технологии и оборудования очистки природных вод.

Телефоны для связи: *(095) 491-20 41 и 491-12-02.*

Факс *(095) 491-55-03.*

© Департамент жилищно-коммунального хозяйства Минстроя России; АО "НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды", 1995

ВВЕДЕНИЕ

В связи с возрастающим загрязнением водных объектов, используемых в качестве источников водоснабжения населения, в мировой практике расширяется использование озона для подготовки воды питьевого качества. В настоящее время более 1000 водопроводных станций в Европе, особенно во Франции, Германии и Швейцарии, применяют озонирование как составляющую ступень в технологическом процессе очистки воды.

Сброс неочищенных или недостаточно очищенных бытовых и промышленных сточных вод, а также смыв с сельскохозяйственных территорий вод, содержащих пестициды и другие ядохимикаты, приводит к ухудшению воды в источниках водоснабжения. Состав вод поверхностных водоемов вблизи крупных городов характеризуется содержанием в них повышенных концентраций фенолов, нефтепродуктов, хлорорганических соединений, аммонийного и нитритного азота и пр. Содержание химических соединений в таких водных объектах иногда в десятки и сотни раз превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) по санитарно-гигиеническим показателям.

На территории России неудовлетворительным является санитарное состояние рек Волги, Оки, Камы, Томи, а также большинства водоемов Урала и Западной Сибири. Вследствие этого в городах, использующих эти водные объекты в качестве источников водоснабжения, складывается напряженная ситуация с обеспечением населения водой питьевого качества.

По данным Минприроды России одним из неблагоприятных в экологическом отношении регионов является Кузбасс, в котором воздух и вода загрязнены отходами химической, металлургической, горнодобывающей, формацевтической и др. отраслей промышленности. Вода р. Томи, используемая в качестве основного источника водоснабжения населения, имеет антропогенные загрязнения в концентрациях, значительно превышающих нормативные значения. В речной воде постоянно обнаруживаются такие токсичные и канцерогенные загрязнения, как фенолы — на уровне от 2 до 10 ПДК; хлороформ — от 2 до 20 ПДК; амины — 2–5 ПДК и др.

Известно, что получившие широкое применение технологии и сооружения для очистки воды из поверхностных источников рассчитаны на извлечение из них загрязнений природного происхождения. Барьерная роль таких сооружений по отношению к химическим загрязнениям антропогенного происхождения крайне низка. Многие действующие водоочистные станции, запроектированные по традиционной технологии (коагуляция, хлорирование, отстаивание и фильтрование), не только не могут обеспечить удале-

ние химических загрязнений, но, напротив, в ряде случаев способствуют повышению концентрации некоторых соединений. Например, предварительное хлорирование воды из поверхностных источников, как правило, приводит к образованию в обрабатываемой воде повышенных концентраций хлороформа и др. хлорорганических соединений.

По данным Госкомсанэпиднадзора России, около 50 % населения страны вынуждено использовать для питья воду, не соответствующую в той или иной степени требованиям по ряду показателей. Так, в настоящее время каждая восьмая проба водопроводной воды не отвечает гигиеническим требованиям по бактериологическим показателям, из которых 45 % представляют опасность в эпидемическом отношении; каждая пятая исследованная проба нестандартная по химическим показателям, из них в 10 % проб содержание химических веществ представляло опасность для здоровья.

В некоторых регионах вода из централизованных систем водоснабжения постоянно не отвечает ряду требований ГОСТ 2874-82 "Вода питьевая". В результате население вынуждено пользоваться водой, оказывающей, по данным медицинским организаций, отрицательное воздействие на систему кровообращения, органов желудочно-кишечного тракта, на иммунную систему и приводящих к возникновению раковых заболеваний.

В связи во сложившимся положением в последние годы появилось большое количество фирм и организаций, выпускающих разнообразные по конструкции устройства очистки водопроводной воды индивидуального и локального назначения, для детских учреждений, школ, больниц, профилакториев, столовых и др. заведений. Часть из них представляет собой многочисленные модификации "Ручейков", "Родников", загруженных активным углем, озонаторные установки и установки мембранного или патронного типов. Иллюстрациями к этому могут быть экспонаты Международного конгресса: "Вода: экология и технология" (Москва, сентябрь, 1994 г.) и Международная выставка "Чистая вода Урала-94" (Екатеринбург, ноябрь, 1994 г.). Такие установки могут быть иногда полезными, но вместе с тем могут и принести определенный вред.

В частности, при наличии в таких фильтрах ионообменных материалов из воды удаляются необходимые для организма элементы — кальций, магний и фтор. В случае применения сорбционных материалов имеет место рост различных групп микроорганизмов в очищенной воде. И, наконец, во многих конструкциях не исключена десорбция загрязнений из фильтрующего материала и попадание всех ранее задержанных загрязнений в один стакан воды.

В целом возможность распространения таких индивидуальных установок допустима в качестве временной меры до тех пор, пока не будет обеспечена подача воды питьевого качества системами централизованного водоснабжения.

Для этого необходима реконструкция водоочистных станций, которая позволит проводить очистку воды по новой технологии.

Возможность применения эффективной и экологической чистой технологии подготовки воды определяется тем, что производство озонаторного и вспомогательного оборудования налажено и может быть выпущено рядом предприятий России по заявкам потребителей.

В СНГ озонирование по ряду причин применяется, в основном, лишь на некоторых водопроводных станциях крупных городов (Москва, Нижний Новгород, Киев, Минск) с использованием зарубежного оборудования (французская фирма "Трейлигаз"). Имеются отдельные небольшие объекты (преимущественно для очистки производственных сточных вод), плавательные бассейны и др., где работает отечественное оборудование.

Лабораторией технологии и оборудования очистки природных вод НИИ КВОВ за последнее десятилетие проведены обширные исследования по определению эффективности озонирования воды (в сочетании с сорбционным методами и без них) в различных регионах России (г. г. Владимир, Таганрог, Рязань, Кемерово, Новокузнецк, Ярославль, Оренбург и др.). Было убедительно показано, что без применения этих методов получить воду требуемого качества из воды загрязненных водных объектов, используемых в качестве источников, практически невозможно.

Особенно актуальна проблема глубокой очистки воды в настоящее время, когда подготовлены к введению новые нормативные документы, регламентирующие более жесткие требования по некоторым показателям качества воды.

Разработка и принятие закона Российской Федерации "Об обеспечении населения питьевой водой" переводит задачу подготовки воды на новый уровень, что также требует коренного совершенствования водоочистной техники.

Отсюда понятны повышенный интерес к озонированию воды и желание предприятий водопроводно-канализационного хозяйства внедрить на водоочистных станциях метод озонирования. Однако при выборе схем и режимов озонирования воды, иногда допускают неверные решения, обусловленные ошибочными представлениями, основными из которых, на наш взгляд, являются следующие.

• Режимы обработки воды озоном и принимаемая схема озонирования выбираются обычно на основании данных физико-химического анализа природной воды. Вместе с тем известно, что качество

воды в водоисточнике при ее движении претерпевает значительные изменения, поэтому для каждого случая режимы как реагентной обработки, так и озонирования будут различными. Наиболее ярким примером этого является водозабор р. Томи, где на сравнительно коротком участке (Новокузнецк — Кемерово — Юрга, протяженностью до 350 км) качество речной воды существенно ухудшается вниз по течению, в связи с этим доза озона и его эффективность будут различными для каждого из этих городов.

• Зачастую произвольно, без всяких обоснований выбирают дозу озона, по которой рассчитывают производительность озонаторного оборудования и размещают заказ на изготовление на заводе. Очевидно, что в этом случае технологическая схема применения озона остается непроработанной. Возможные недостатки этого подхода будут обнаружены уже только при проведении пусконаладочных работ, когда исправить ошибки будет невозможно. Если даже в ряде случаев в процессе изготовления оборудования проводят технологические изыскания, последние выполняются фактически уже под заказанное оборудование, и это будет препятствовать использованию возможностей озона в полной мере.

При неправильном подборе режима озонирования воды и дозы озона возможно образование побочных продуктов окисления, которые плохо удаляются в процессе очистки и могут быть более токсичны, чем исходные загрязнения. В некоторых случаях озонирование воды может вызвать ухудшение процессов коагуляции и более того привнести в обрабатываемую воду химические загрязнения в повышенных концентрациях, например, фенолов.

• Многие водопроводно-канализационные предприятия рассчитывают на то, что с введением озонирования можно будет полностью отказаться от хлорирования и исключить хлор из технологической схемы очистки воды. Как показывает зарубежный и отечественный опыт, применение озона не позволяет исключить использование хлора, хотя доза хлора может быть уменьшена. Это связано с тем, что озон быстро разлагается в воде и не обладает пролонгирующим бактерицидным действием. Поэтому для обеспечения надежной и безопасной в санитарно-гигиеническом отношении работы водопроводных сетей должно проводиться заключительное обеззараживание дозами хлорреагентов для обеспечения в любой точке сети, в том числе и самой отдаленной, остаточного хлора на уровне, регламентируемом ГОСТом "Вода питьевая".

• Озонирование, применяемое как самостоятельная ступень в технологии очистки воды не всегда позволяет решить проставленную задачу повышения ее эффективности. Как известно, сорбционная ступень очистки воды в большинстве случаев является обязательной.

Обобщая отмеченные выше недостатки и ошибки в практике решения задачи применения озона в технологии очистки воды, нетрудно видеть, что обеспечить наиболее рациональные решения по его использованию возможно только на основе изучения взаимодействий озона с другими технологическими приемами очистки.

Из этого следует, что в каждом конкретном случае до выдачи схем и принятия решения о применении озона необходимо проведение предпроектных технологических исследований, в результате которых можно обоснованно судить о целесообразности и эффективности озонирования, необходимости использования сорбционной очистки воды, определить места ввода озона в общей технологической схеме и оценить его влияние на основные процессы очистки воды, применяемые на данной водоочистной станции.

Кроме того, в ходе таких исследований и только по их результатам можно установить оптимальные дозы озона в характерные периоды года, определить расчетно-конструктивные параметры метода окислительно-сорбционной очистки воды, а именно: коэффициент использования озона, время контакта озоновоздушной смеси с обрабатываемой водой, варианты использования сорбционных фильтров с выбором наиболее эффективных марок активных углей; уточнить скорость фильтрования, время до реактивации угольной загрузки и режим реактивации с определением его аппаратурного оформления, а также другие технологические и технико-экономические вопросы применения озона и активных углей на водоочистных станциях.

Таким образом, оптимальные условия применения методов глубокой очистки воды — озонирования и сорбции на активных углях определяются только путем проведения специальных исследований на каждом конкретном объекте.

Настоящие методические рекомендации разработаны для инженерно-технических работников, занятых эксплуатацией водоочистных станций и призваны помочь им в определении круга вопросов, возникающих при применении озонирования и сорбции, а также наметить общие пути выполнения поставленных проблем.

Консультации по указанным рекомендациям, а также выполнение полного объема работ по применению озонирования и сорбционных методов в технологии очистки воды, начиная от обоснования необходимости и эффективности этих специальных методов, подготовку соответствующих рекомендаций на проектирование и участие совместно с эксплуатационным персоналом в пусконаладочных работах выполняет лаборатория технологии и оборудования очистки природных вод НИИ КВОВ.

1. КОМПЛЕКС РАБОТ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ОЗОНИРОВАНИЯ И СОРБЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Комплекс работ по применению озонирования и сорбции в технологии очистки воды включает в себя ряд организационных, технологических и экономических мероприятий, основными из которых являются:

1.1. Обобщение многолетних данных по качеству воды и детальный анализ природной воды по специфическим для данного объекта загрязнениям.

1.2. Проведение технологических изысканий в лабораторных условиях или на модельных экспериментальных установках с целью определения расчетно-конструктивных параметров метода озонирования и сорбционной очистки воды по заранее подготовленной программе проведения работ (с указанием сроков, стоимости работ и ее основных исполнителей).

1.3. Подготовка рекомендаций на проектирование или реконструкцию водоочистных станций и разработка технологического регламента рекомендуемых сооружений. Подготовка технико-экономического расчета предлагаемых вариантов. В случае необходимости — разработка предварительных рекомендаций на проектирование.

1.4. Проведение предпроектного маркетинга озонаторного оборудования и выбор необходимого оборудования, поиск наиболее эффективных марок активных углей, которыми можно обеспечить водоочистную станцию (рассматриваются озонаторное оборудование и активные угли отечественного и зарубежного производства).

1.5. Проектирование узла основных сооружений и цеха реактивации активного угля.

При этом решаются вопросы:

необходимость применения озонаторного оборудования на всей водоочистной станции или части ее. (В качестве примера можно привести решение кемеровского "Водоканала" о подаче воды, обработанной с применением дополнительных методов озонирования и сорбции, только в жилые кварталы города, а воду, очищенную по традиционной технологии, — для нужд промышленности);

устройство озонаторной станции и сорбционных блоков с минимальными ступенями перекачки;

очередность строительства, в частности, первая очередь — замена песка активным углем (для чего наиболее предпочтителен уголь бельгийской фирмы марки TL-830) и вторая очередь — строительство отдельного блока сорбционных фильтров;

возможность строительства регионального цеха реактивации активного угля с выбором площадки для этого цеха.

1.6. Строительство, монтаж необходимого оборудования и выполнение пусконаладочных работ новых блоков и оборудования в комплексе с очистными сооружениями водоочистной станции.

1.7. К организационно-экономическим мероприятиям относятся согласование размещения выбранного оборудования, проектной документации, размещение заказа на изготовление и поставку оборудования, определение необходимых материально-технических ресурсов и источников их формирования, а также набор и подготовка эксплуатационного персонала.

2. ОЗОНИРОВАНИЕ ВОДЫ

2.1. Назначение *озона*.

2.1.1. Очистка воды поверхностных водоисточников от антропогенных загрязнений:

— для удаления запахов и привкусов;

— для удаления специфических органических загрязнений — фенолов, нефтепродуктов, СПАВ, пестицидов, хлорорганических соединений, аминов и многих других.

2.1.2. Очистка воды поверхностных водоисточников от загрязнений природного происхождения:

— от гуминовых веществ, обуславливающих цветность воды;

— от специфического запаха и привкуса, появляющегося при повышенных концентрациях планктона, а также для устранения выделяемых планктоном ядовитых веществ,

— удаление привкусов и запахов (почвы, плесени, травы, рыбы и др.), продуцируемых различными водными организмами.

Установлено, что эти загрязнения (п. п. 2.1.1 и 2.1.2) практически не задерживаются на традиционных сооружениях очистки воды, однако, они разрушаются озоном и удаляются при фильтрации на активных углях.

Следует отметить, что только одним озонированием так же, как только сорбционной очисткой, не всегда удается обеспечить требуемую эффективность очистки воды. Наиболее целесообразным в большинстве случаев является использование озона в сочетании с заключительной сорбционной очисткой на фильтрах с активным углем.

2.1.3. Очистка подземных вод — для удаления неорганических соединений, таких как железо, марганец, сероводород, и для обеззараживания воды.

2.1.4. Частным случаем *применения озона* является его использование в плавательных бассейнах (как спортивных, так и общего

пользования) для обеззараживания и существенного повышения органолептических свойств воды.

2.1.5. И, наконец, поскольку озон является более эффективным, чем хлор, дезинфицирующим реагентом в отношении спор и вирусов, то в отношении обеззараживания его роль более существенна. Так, по данным специалистов фирмы "Дегремон" в случаях эпидемий холеры и неизвестной ранее "болезни легионеров", которая вызывается бактериями Legionella pneumophila и одноклеточными Giardia, только озонирование может гарантировать необходимую степень обеззараживания.

2.2. Принципиальные технологические схемы применения озона и активных углей на водоочистных станциях.

В зависимости от качественного и количественного состава загрязнений водоисточника возможны различные варианты применения озона в технологической схеме очистки воды (рис. 1 и 2).

На рис. 1 представлена традиционная схема очистки воды с отстойниками и фильтрами, на рис. 2 — схема с контактными осветителями.

Одноступенчатое озонирование: использование озона на стадии предварительного окисления воды или после коагуляционной ее очистки перед песчаными или угольными фильтрами.

Двухступенчатое озонирование: предварительное озонирование и озонирование после коагуляционной обработки воды.

Трехступенчатое озонирование: предварительное озонирование, после коагуляционной обработки и озонирование после полной очистки воды.

Первичное озонирование (предозонирование) проводится с целью окисления легкоокисляемых органических и неорганических загрязнений, улучшения процесса коагулирования, а также для частичного обеззараживания воды. В этом случае исходная вода обрабатывается небольшими дозами озона.

Вторичное озонирование воды позволяет осуществить дальнейшее более глубокое окисление оставшихся загрязнений и, кроме того, повышает эффективность сорбционной очистки и продлевает срок службы активного угля до регенерации, в данном случае озон вводится перед песчаными или угольными фильтрами.

Заключительное озонирование очищенной воды (постозонирование) обеспечивает полное обеззараживание и улучшает органолептические показатели воды.

По числу мест введения озона устанавливаются контактные камеры, в которых происходит смешение озоновоздушной смеси с водой. Для городских водоочистных станций обычно используют барботажные бассейны; в качестве диспергаторов могут применяться металло-керамические трубы (или пластины) или специальные

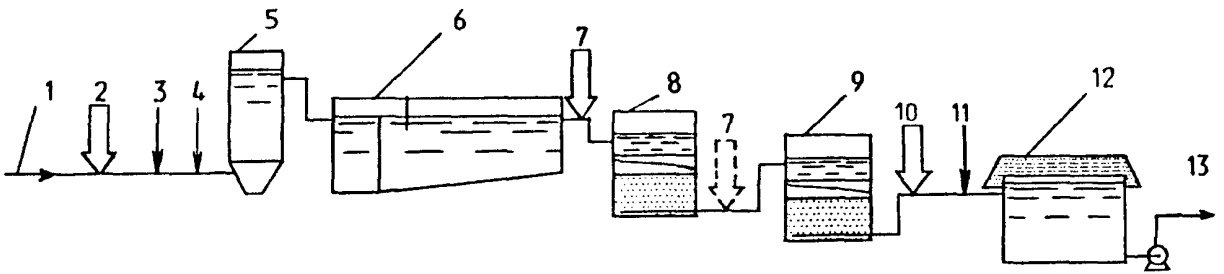


Рис. 1. Применение озона и активных углей на станциях с двухступенной схемой очистки воды:

1 — подача речной воды; 2 — первичное озонирование; 3 — первичное хлорирование (при необходимости); 4 — ввод коагулянта; 5 — смеситель; 6 — отстойник (или осветлитель со взвешенным осадком); 7 — вторичное озонирование; 8 — песчаный фильтр; 9 — угольный фильтр; 10 — третичное озонирование; 11 — вторичное хлорирование; 12 — резервуар чистой воды; 13 — подача питьевой воды потребителю

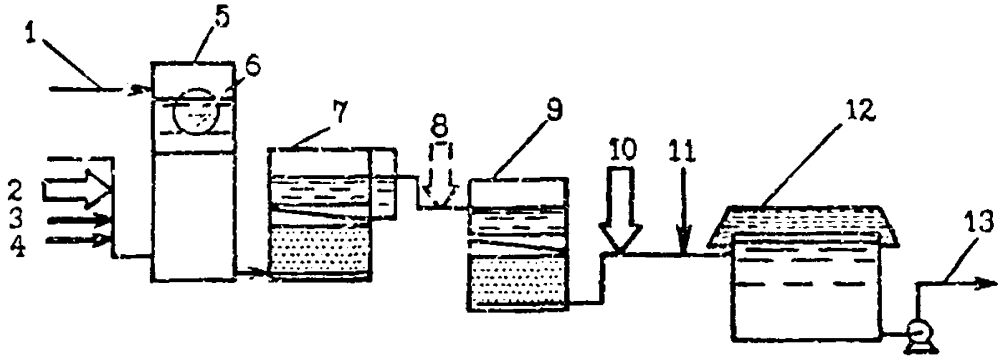


Рис. 2. Применение озона и активных углей для очистки воды на станциях с контактными осветлителями:

1 — подача речной воды; 2 — первичное озонирование; 3 — первичное хлорирование (при необходимости); 4 — ввод коагулянта; 5 — входная камера; 6 — сетчатый барабанный фильтр; 7 — контактный осветлитель; 8 — вторичное озонирование; 9 — угольный фильтр; 10 — третичное озонирование; 11 — вторичное хлорирование; 12 — резервуар чистой воды; 13 — подача питьевой воды потребителю

насадки из нержавеющей стали, устанавливаемые на трубопроводах.

Контактные камеры могут работать как в противоточном, так и в прямоточном режимах, причем при противоточном методе смешения коэффициент использования озона повышается до 0,93—0,97.

В состав комплекта оборудования озонаторной станции входят: компрессоры, установки для очистки и осушки воздуха, генераторы озона, силовые энергетические установки, приборы КИПиА и аппарат каталитического разложения озона.

2.3. Обоснование типоразмерного ряда озонаторного оборудования.

С целью установления ориентировочного требуемого количества озона для типовых производительностей водоочистных станций, а также обоснования типоразмерного ряда озонаторов были выполнены расчеты для всего принятого в типовом проектировании ряда производительностей от 1,6 до 200 тыс. $м^3$/сут.

Требуемые дозы озона были приняты средними на основании многочисленных исследований по обработке воды озоном в реальных условиях.

Были рассмотрены следующие варианты:

среднезагрязненные источники водоснабжения — доза озона — 4 мг/л;

сильнозагрязненные источники водоснабжения — доза озона — 7 мг/л;

Таблица 1

Расчетные данные для водоочистных станций

Водоисточник	Доза озона, мг/л	Производительность озонаторного оборудования в кг/ч для водоочистных станций производительностью, тыс. $м^3$/сут										
		1,6	3,2	5,0	8,0	12,5	20	32	40	50	100	200
Среднезагрязненный	4	0,26*	0,53	0,84	1,33	2,1	3,33	5,33	6,7	8,4	16,7	33,4
Сильнозагрязненный	7	0,46	0,93	1,5	2,33	3,7	5,83	9,33	11,7	14,7	29,2	58,4
Водоисточник с высокой цветностью воды	15—20	1—1,32	2—2,64	3,2—4,2	5—6,6	7,8—10,4	12,5—16,7	20—26,6	25—33,4	31,5—42	62,5—93	125—166

* Производительность озонаторов указана без резерва.

подземные и поверхностные водоисточники, характеризуемые высокой цветностью (до 150—200 град) — доза озона изменяется в пределах от 15 до 20 мг/л.

На основании данных единичной производительности выпускаемого оборудования был определен предпочтительный типоразмерный ряд озонаторных установок, который был сгруппирован в следующем виде: 1—4; 5—7, 5; 10—15; 30 и 50 кг/ч.

Расчетные данные сведены в табл. 1.

Из результатов табл. 1 видна условная производительность озонаторного оборудования для различных производительностей станций и разного качества воды водоисточников. Это необходимо для выполнения ориентировочных расчетов и некоторого представления о реальных затратах.

Если полученные данные соотнести к единичной производительности озонаторного оборудования, то можно будет выбрать необходимое для данного случая оборудование с указанной в табл 2 единичной производительностью.

Таким образом, представленные в данном разделе данные могут быть использованы для предварительного обоснования технической (а не технологической) возможности применения озонаторного оборудования и выполнения предварительных технико-экономических расчетов.

Таблица 2

Необходимость в озонаторном оборудовании определенной единичной производительности для водоочистных станций

Водоисточник	Производительность очистных сооружений в тыс. $м^3$/сут для озонаторов с единичной производительностью, кг/ч				
	1—4	5—7,5	10—15	30	50
Среднезагрязненный	1,6—12,5	20—40	50—100	100—200	—
Сильнозагрязненный	1,6—12,5	12,5—32	32—100	100—200	200
Водоисточник с высокой цветностью	1,6—5,0	8—12,5	12,5—32	32—100	50—200

2.4 Краткая характеристика выпускаемого озонаторного оборудования.

К настоящему времени специалистами МГУ, МЭИ, ВЭИ, Дзержинского НИИхиммаша, институтами РАН, Полтавским НИИ эмальхиммаш и др. разработаны научные основы создания нового высокопроизводительного озонаторного оборудования. Это позволило перейти к решению практических вопросов, созданию и промышленному выпуску новых образцов озонаторного оборудования.

Разработкой и организацией выпуска озонаторного оборудования занимаются различные организации, в т. ч. объединение МПК

"Эврика" (г. Нижний Новгород), НПО "Наука" совместно с МВТУ им. Баумана, предприятия г. г. Троицка, Томска и многие другие организации.

Среди изготовителей озонаторного оборудования наиболее предпочтительными по имеющимся мощностям и производственному потенциалу являются:

— АО "Курганхиммаш";

— ГКНПЦ им. В. М. Хруничева ракетно-космический завод (г. Москва);

— Малое предприятие "Экоинформсистема" (г. Москва);

— АО "Экологические системы" (г. Москва);

— Воронежский КБ химавтоматики совместно с ТОО "ВАТИ" (г. Воронеж);

— Дзержинский институт "НИИхиммаш".

Указанные заводы выпускают различные по производительности, конструкции, качеству изготовления оборудование; с разной степенью готовности производства к выпуску; имеющие различные стоимостные показатели и разные подходы к конструированию (например, частота тока, материалы трубок, размеры устройств и пр).

В общем виде можно отметить следующее:

— наиболее освоено производство озонаторов на АО "Курганхиммаш";

— озонаторы курганского завода работают, в основном, на промышленной частоте — 50 Гц (за исключением озонаторов производительностью 15 кг/ч — до 650 Гц); АО "Экологические ситемы", КБ ХА выпускают оборудование с повышенной частотой (1000—2500 Гц); ГКНПЦ им. М. В. Хруничева ракетно-космический завод — на высокой частоте (1000 Гц).

Известно, что принятая для работы частота определяет габариты оборудования и затраты электроэнергии на синтез озона:

— предприятие "Экоинформсистема", Воронежский КБ ХА выпускают оборудование с единичной производительностью от 1 до 5 кг/ч, остальные предприятия готовы выпускать оборудование любой производительности;

— наименьшую стоимость оборудования имеет Курганский завод и Дзержинский НИИхиммаш, большую стоимость имеют ГКНПЦ им. М. В. Хруничева ракетно-космический завод и КБ ХА;

— АО "Экологические системы" предлагает выпускать оборудование совместно с фирмой "OZONIA" (Швейцария).

До настоящего времени заводы-изготовители выпускали только единичные образцы оборудования по индивидуальным заказам предприятий; массового серийного выпуска озонаторного оборудования не производится. Это было связано с неготовностью водока-

налов (в основном, по финансовым причинам) заказывать на заводах и внедрять у себя озонаторные установки.

Поэтому широкого опыта применения и эксплуатации отечественного озонаторного оборудования в России не имеется.

На сегодняшний день крупная станция с озонированием пущена в г. Кургане (ведутся пусконаладочные работы), заканчивается изготовление оборудования и предполагается его монтаж в г. Оренбурге, ведутся подготовительные работы к применению озона в г. Кемерово.

Наибольший интерес представляют озонаторы, работающие на кислороде, что позволит вдвое повысить производительность и снизить энергозатраты существующего оборудования, работающего на обычном воздухе. Однако это потребует устройства на водоочистных станциях достаточно опасного в части взрыво- и пожароопасности оборудования, что является существенным препятствием к использованию кислорода.

Поэтому наиболее предпочтительным является использование привозного кислорода в тех случаях, когда поблизости имеются кислородные заводы.

Реальным является также дооборудование озонаторных модулей узлом рециркуляции кислорода. Установки осушки воздуха и обогащения воздуха кислородом могут быть выпущены предприятием "Атген" (г. Москва).

Из зарубежных фирм на отечественном рынке наиболее известны французские фирмы "Трейлигаз" (на оборудовании которого работают водоочистные станции г. г. Москвы, Нижнего Новгорода, Киева, Минска) и фирма "Дегремон", швейцарская фирма "Озонна".

Фирма "Трейлигаз" предлагает свое оборудование на следующих условиях, в т. ч.:

— изготовление под контролем фирмы на заводах России значительной части оборудования, что позволит уменьшить расходы в валюте до 50 %;

— поэтапное финансирование на основе экспорта местных товаров;

— прямая покупка местных товаров (в т. ч.-продуктов нефтехимии, металлургии, фармацевтики и др.);

— финансирование на основе двухстороннего или многостороннего кредитов.

Анализ отечественного и зарубежного уровня озонаторостроения показывает, что отечественное оборудование не уступает по своим техническим показателям мировому уровню, а высокочастотное оборудование (до 4000 Гц) превышает мировой уровень, что подтверждается данными табл. 3.

Таблица 3

Сравнительная характеристика озонаторов

Параметры, ед. изм.	Низкочастотные озонаторы		Высокочастотные озонаторы		Озонаторы с рециркуляцией кислорода	
	Отеч.	Заруб.	Отеч.	Заруб.	Отеч.	Заруб.
Концентрация, г/м^3, озона в озоновоздушной смеси	18	18	25	нет аналогов	50	нет аналогов
Энергозатраты, кВт· ч/кг:						
на синтез озона	16 17	14 15	12	—	6	—
суммарные	22	21 22	20	—	16	—

Таким образом, в сложившихся в настоящее время в стране экономических условиях и рыночных отношениях, имеющая место конкуренция между отечественными производителями озонаторного оборудования и зарубежными фирмами, полезна и необходима, т. к. только в условиях конкуренции может быть создано требуемое озонаторное оборудование, а заказчик будет иметь возможность его обоснованного выбора.

В заключение данного раздела следует отметить, что для каждого случая, где необходимо озонирование воды, должен быть проведен предпроектный маркетинг озонаторного оборудования, который позволит выявить наиболее оптимального заказчика для конкретного объекта с учетом различных аспектов. Маркетинг должен проводиться по специальной программе (или вопроснику), в котором должны быть отражены все технические и экономические вопросы, вопросы поставки, монтажа, сервисного обслуживания, сроки выполнения работы и многие другие вопросы.

И только после этого под выбранное оборудование, его характеристики, параметры и габариты осуществляется выполнение проектных работ.

3. СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА ВОДЫ

3.1. Назначение сорбционной очистки.

Сорбционная очистка применяется для повышения глубины очистки воды от органических загрязнений и удаления продуктов озонолиза на заключительном этапе обработки воды.

Преимуществами сорбционного метода являются: удаление загрязнений чрезвычайно широкой природы до любой остаточной концентрации, отсутствие вторичных загрязнений и возможность управления процессом.

Наряду с этим сорбционная ступень очистки воды повышает надежность работы водоочистной станции в целом и гарантирует тре-

бусмое качество воды (при необходимости с уменьшением подачи воды) даже в периоды аварийных ситуаций и попадания в водоисточник химических загрязнений: фенолов, нефтепродуктов и др.

Наиболее эффективным является применение сорбционной очистки с предварительным озонированием воды, которое повышает глубину очистки и продлевает срок работы активного угля между реактивациями.

3.2. Краткая характеристика активных углей.

Исходным сырьем для производства активных углей могут служить: уголь, древесина, полимеры и т. п. Однако для условий очистки больших объемов воды, используются преимущественно высокопрочные угли на каменноугольной основе.

По способу производства активные угли делятся на порошкообразные и зернистые (гранулированные или дробленые).

Из зернистых активных углей наиболее известны угли марок:

— АГ-3 — НПО "Заря" (г. Дзержинск);
— АГМ-ПО "Сорбент"; } (г. Пермь)
— КАД-йодный; } (г. Пермь)
— АГОВ; } (г. Пермь)
— ДАУ; } (г. Пермь)
— СКТ-6а (г. Электросталь),
— СГП 30 А (г. Александров).

Угли марок АГ-3 и СКТ-6а выпускаются промышленностью, другие могут быть выпущены по договоренности с заводом-изготовителем.

Из зарубежных марок углей наибольшее применение в России нашли угли бельгийской фирмы "Чемвирон Карбон" марок F-300, F-400, TL-830.

Из перечисленных марок углей для отдельно стоящих сорбционных фильтров наиболее эффективны угли марок АГМ, АГОВ, ДАУ, F-300.

3.3. Возможные пути применения активных углей на водоочистных станциях.

До настоящего времени в России в целях питьевого водоснабжения применяли в основном порошкообразные активные угли (ПАУ) и гранулированный активный уголь (ГАУ) марки АГ-3. Наибольший опыт применения углей имела водоочистная станция г. Тюмени, где запах природной воды (р. Тура) доходил до 4—5 баллов.

Применение ПАУ позволяло уменьшить величину привкусов и запахов до приемлемых величин. Однако процесс углевания является достаточно трудоемким (в основном, ручным), а при применяемых дозах ПАУ до 50—100 и более мг/л — и экономически невыгодными, так как он используется одноразово и выбрасывается вместе с осадком в отстойниках.

В связи с этим, в дальнейшем на водопроводах России стали применять гранулированный уголь АГ-3, который впервые был использован в Тюмени, а потом в г. г. Костроме, Нижнем Новгороде, Ижевске, Воткинске и др. Уголь АГ-3 использовали в качестве верхнего слоя в двухслойных угольно-песчаных загрузках, что позволяло на некоторое время решить задачу повышения качества воды. Однако в этом случае уголь является первым слоем на фильтрах, и на него попадает вода из отстойников или осветлителей со взвешенным осадком с наличием мутности и частиц гидроокиси алюминия.

Таким образом, активный уголь использовался не совсем по назначению, так как кроме основной функции — сорбции органических загрязнений, он работал и как фильтрующий материал. Все это приводило к тому, что через 3—6 месяцев поры кольматировались продуктами гидроокиси алюминия, а сорбционная емкость угля существенно уменьшалась, после чего уголь выгружали из фильтра и выбрасывали.

Поскольку эта была вынужденная мера и другой возможности применения угля в то время не существовало, то в какой-то степени уголь в данных условиях выполнял свою роль.

В настоящее время наиболее рациональными методами применения активных углей на водоочистных станциях считаются:

1. Использование активного угля на станции в отдельно стоящих сорбционных фильтрах, представляющих собой третью ступень очистки воды. Этот метод является наиболее надежным с санитарно-гигиенической и технологической точек зрения. В качестве сорбентов может быть использована любая из выше названных марок углей. Поскольку на уголь поступает очищенная на песчаных фильтрах вода, являющаяся фактически питьевой (без заключительной стадии хлорирования), то уголь работает только по своему прямому назначению, как сорбент для удаления из воды в основном органических загрязнений. При этом срок службы угля в зависимости от качества воды водоисточника может достигать 3 лет, а как показывает зарубежный опыт в случае применения предварительного озонирования срок использования угля увеличивается до 5—10 лет.

2. Поскольку проектирование и строительство сооружений сорбционной очистки потребует достаточно длительного времени и значительных капитальных затрат, то в качестве временного варианта можно рекомендовать переоборудование песчатных фильтров в угольные.

Впервые в отечественной практике такая работа была проведена на Кемеровском водопроводе, где песок был заменен крупнозернистым углем КАД-йодный (производства Ленинск-Кузнецкого завода). Но даже при таких неблагоприятных условиях после 8-месяч-

ной работы такие показатели, как окисляемость, цветность, мутность и содержание органических загрязнений, определяемых показателем УФ-254, были несколько лучше, чем на песчаных фильтрах.

Использовать в качестве такого материала другие марки углей не представляется возможным, т. к. по своему гранулометрическому составу они предназначены для загрузки сорбционных фильтров, расположенных после песчаных. В условиях работы на осветленной воде после отстойников их эффективность значительно ниже.

В качестве сорбционного материала, разработанного специально для замены песчаной загрузки фильтров, может быть использован уголь марки TL-830 бельгийской фирмы "Чемвирон Карбон". Применение угля TL-830 на водопроводной станции не потребует реконструкции и значительных капитальных затрат и позволит решить задачу скорейшего внедрения сорбционного метода очистки воды.

Это существенно улучшит качество воды по всем показателям и значительно повысит надежность работы водопроводной станции в целом.

Фирма "Чемвирон Карбон" имеет опыт применения угля TL-830 в таких условиях более, чем на 200 водопроводных станциях мира. Поскольку уголь TL-830 в России не использовался, то в ближайшее время следует провести его испытания на одном опытном фильтре на объекте, где необходима сорбционная очистка воды, с тем, чтобы после проведенных наблюдений за его работой и установления его эффективности решить вопрос о целесообразности реконструкции всех фильтров данной станции.

3. Весьма важным является вопрос применения ПАУ. В ряде случаев в отдельные периоды, и особенной в период весенних паводков, питьевая вода в течение 2—3 недель приобретает неприятный запах, вызванный поступлением в реки отходов птицефабрик, свиноферм и др. сельскохозяйственных объектов.

Естественно, для таких кратковременных периодов ухудшения вкусовых качеств воды строить дорогостоящие сорбционные фильтры нецелесообразно.

Кроме того, в случаях аварийных ситуаций (как например, попадания фенолов в Уфимский водозабор, ацетона и бензола — в водоисточники г. г. Рязани и Владимира и др.) единственного реальной возможностью является использование ПАУ с определением его эффективных доз для каждого конкретного случая. Применение ПАУ позволит в кратчайшие сроки улучшить сложившуюся экологическую ситуацию.

Оптимальным можно считать использование ПАУ в периоды, когда необходимость применения активного угля не превышает 3—

4 месяцев в году; в остальных случаях целесообразно применение сорбционных угольных фильтров.

ГНЦ РФ НИИ ВОДГЕО (г. Москва) предложен эффективный ПАУ марки СПДК-5Д и разработана технология его применения в необходимых ситуациях.

3.4. Реактивация активных углей.

3.4.1. Рекомендуемые сооружения с отдельно стоящими угольными фильтрами не имеют опыта эксплуатации на отечественных водоочистных станциях. Поэтому период работы фильтра между реактивациями не установлен. Из опыта эксплуатации зарубежных станций водоподготовки известно, что озонирование воды перед угольными фильтрами увеличивает их межреактивационный период до нескольких лет. Применение озона и угля приводит не к простому суммированию их действия, а возникновению нового процесса, заключающегося в каталитическом окислении загрязнений и сорбции продуктов распада, по отношению к которым уголь, как правило, обладает более высокой емкостью поглощения.

3.4.2. При необходимости, наиболее целесообразным по технико-экономическим показателем является термический метод реактивации, при котором уголь подвергается воздействию температуры 700—800 °С без доступа воздуха в течение 15—20 минут.

3.4.3. Организация реактивации угля непосредственно на площадке водоочистных сооружений может быть оправдана лишь в случае обработки значительных объемов угля на крупных станциях очистки воды.

3.4.4. Наиболее перспективным является устройство региональных узлов реактивации угля (на область, республику и др.).

3.4.5. При реактивации угля для его перегрузки предусматривается система гидротранспорта (с помощью переносного гидроэлеватора). Потери угля при термической реактивации составляют 15—25 %. Сорбционная емкость угля восстанавливается практически полностью.

3.4.6. Технологию термической реактивации угля, выбор состава необходимого для этого оборудования и разработку проектно-конструктивной документации узла реактивации может выполнить Центральное проектно-конструкторское и тёхнологическое бюро химического машиностроения (г. Санкт-Петербург).

4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ОЗОНА И АКТИВНОГО УГЛЯ

Говорить об эффективности любой технологии, а тем более озонировании и сорбционной очистки воды, в общем виде невозможно.

В каждом случае для данного конкретного объекта вода природных водоисточников характеризуется различными физико-химическими показателями, различными концентрациями и природой загрязнений. Поэтому судить об эффективности этих методов можно только для реальных случаев, каждый из которых, к тому же, имеет и свою схему очистки воды.

Поэтому в данном разделе приводятся общие сведения по эффективности озона и активных углей для тех конкретных условий и видов загрязнений, по которым НИИ КВОВ проводил исследования. Этот материал следует рассматривать как информационный, показывающий возможности метода.

4.1. В случае предварительного окисления воды озоном можно уменьшить концентрацию хлорорганических соединений (ХОС). Результаты исследований по определению эффективности предварительного озонирования воды на образование ХОС (г. Балахна) представлены на рис. 3.

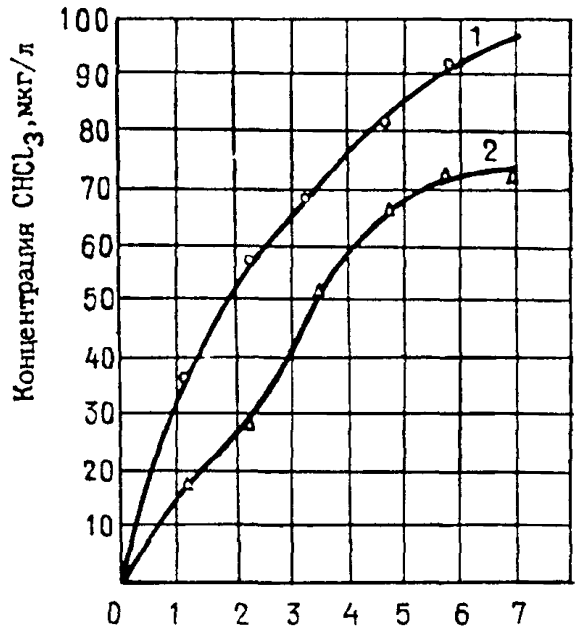


Рис. 3. Влияние предварительного озонирования воды на образование ХОС в процессе очистки (г. Балахна):
1 — без озонирования; 2 — с озонированием

Как видно из полученных данных, в результате предварительной обработки воды озоном (доза озона 1,8 мг/л) происходит окисление (деструкция) некоторых органических соединений — предшественников ХОС, и концентрация образующихся при последующем хлорировании ХОС в очищенной воде существенно меньше, чем в случае обработки хлором неозонированной воды. Так, концентра-

ция хлороформа уменьшается в среднем на 30—35 %, дихлорбромметана и четыреххлористого углерода — соответственно на 80 и 50 %. Кроме того, уменьшается хлоропоглощаемость озонированной воды, в связи с чем снижается (примерно на 15—20 %) необходимая для обеззараживания воды доза хлора.

Характерные данные показаны на рис. 4, после обработки воды, очищенной на фильтрах станции Кемеровского водопровода. Этими исследованиями установлено, что при наличии в воде после фильтра хлороформа в концентрации 0,13 мг/л, его концентрация уменьшалась с увеличением доз озона и существенно снижалась после очистки воды на угольной загрузке.

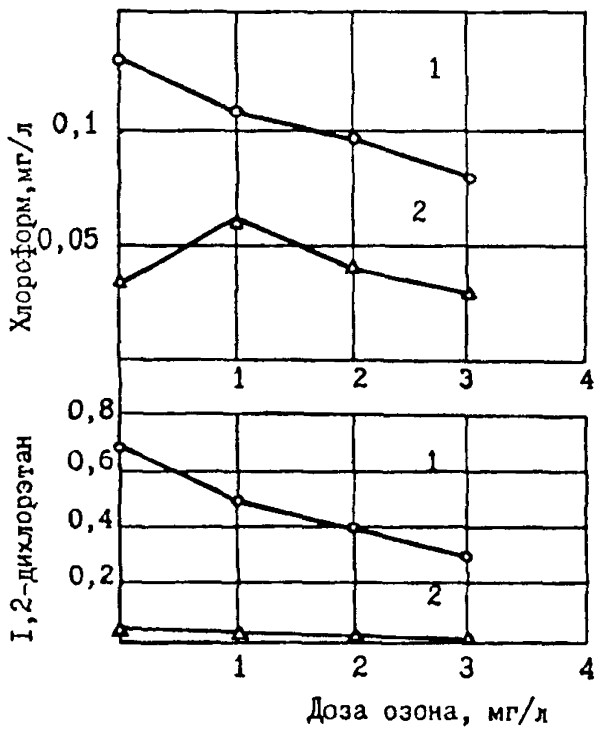


Рис. 4. Изменение концентрации ХОС при обработке воды после производственного фильтра станции озоном и углем (г. Кемерово):
1 — озонированная вода;
2 — вода после сорбционной очистки

4.2. Исследования по влиянию предварительного озонирования на процесс последующей коагуляционной обработки показали, что введение озона уменьшает цветность, мутность и окисляемость воды.

Влияние озонирования воды на протекание процессов коагуляции и осветления представлено характерными зависимостями при очистке воды р. Оки (г. Рязань) на рис. 5 Во всех изученных слу-

чаях после предварительного озонирования отмечается существенное снижение требуемой для ее очистки дозы коагулянта (на 20—30 %).

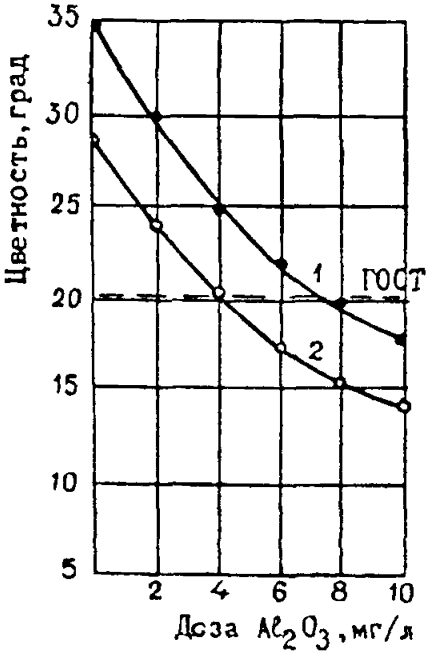


Рис. 5. Влияние предварительного озонирования на процесс коагулирования и осветления воды (г. Рязань):
1 — без озонирования; 2 — с озонированием (доза озона — 2,5 мг/л)

4.3. При установлении эффективности комплексной очистки воды для городов Центральной Европейской части РФ от различных загрязнений: г. г. Ярославль (р. Которосль), Рязань (р. Ока), Владимир (р. Клязьма), Балахна и Котово (Нижегородская обл., р. Волга) были рассмотрены различные схемы, включающие коагулирование, предварительное озонирование, осветление воды, вторичное озонирование и сорбционную очистку.

Было установлено, что почти во всех случаях наиболее эффективными по отношению к таким показателям, как мутность, цветность, перманганатная окисляемость, ХПК, нефтепродукты, остаточный алюминий, являются схемы с двухэтапным озонированием воды.

Такая технологическая схема обеспечивала удаление органических загрязнений по окисляемости — на 80—85 %, по УФ-показателю — на 95—99 %, по нефтепродуктам — на 90—95 %

4.4. Данные по эффективности удаления фенолов томской воды (г. Кемерово) (рис. 6, а), показывают, что сорбционная очистка снижала концентрацию фенола с 0,009 до 0,0038 мг/л, т. е. до уровня около 4 ПДК. И только предварительное озонирование воды дозой 2—3 мг/л с последующим фильтрованием на угле обеспечивало полное удаление фенолов.

Для удаления соединений группы аминов (рис. 6, б) требуются повышенные дозы озона 5—6 мг/л, которые с последующим фильтрованием воды через активный уголь позволили снизить концентрацию аминов до требуемых величин.

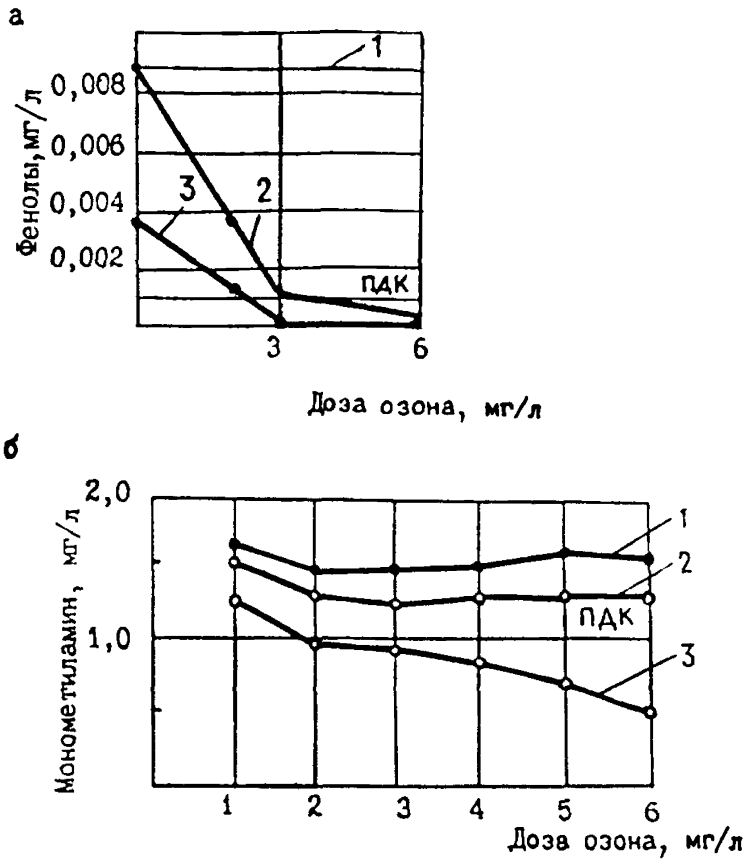


Рис. 6. Удаление фенолов и аминов (г. Кемерово):
1 — исходная вода; 2 — озонированная вода;
3 — вода после угольной загрузки

4.5. Особую группу вод составляют цветные воды. Вода многих северных и сибирских рек (Западная Двина, Сухона, Вычегда, Лена, Алдан и др.), ряда озер и водохранилищ характеризуется малым содержанием взвеси и высокой цветностью — до 100—240 град. Кроме того, на территории России имеются большие запасы подземных вод (Якутия, Ростовская обл., Краснодарский край), которые не используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения из-за высокой цветности.

В последние годы в НИИ КВОВ была исследована технология очистки вод средней и высокой цветности с использованием со-

вместного применения процессов озонирования и фильтрования через активный уголь как самостоятельного метода обработки воды.

Озонирование воды позволяет существенно снизить цветность природной воды; эффективность озонирования представлена на рис. 7 Дозы озона, требуемые для очистки воды, достаточно высоки и составляют 15—20 мг/л. При этом цветность воды после озонирования снижается до величины 30—35 град, а сорбционная очистка уменьшает цветность до нормируемых величин.

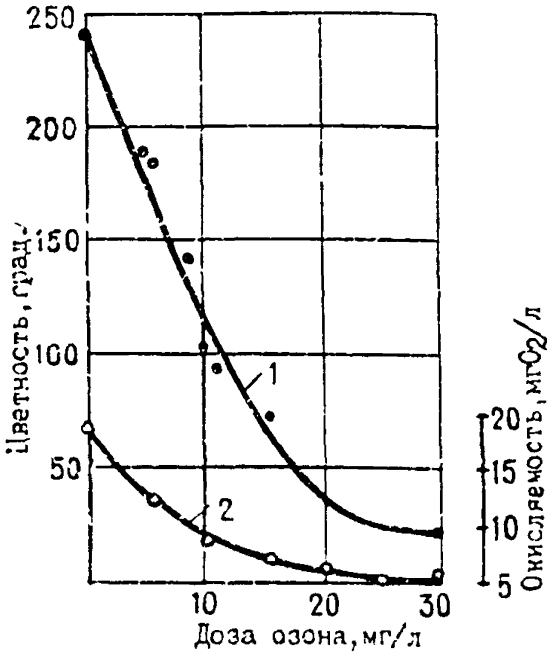


Рис. 7. Эффективность очистки цветных вод озонированием (г. Приморско-Ахтарск Краснодарского края):
1 — цветность воды; 2 — окисляемость

Полученные данные позволили дать этому методу положительную технологическую и санитарно-гигиеническую оценку; получено разрешение Минздрава на использование данной технологической схемы.

4.6. При озонировании воды постоянно проверяли эффективность ее обеззараживания. Проведенные бактериологические наблюдения, в частности, в г. Рязани подтвердили высокую бактерицидную способность озона: при дозах озона 3—4 мг/л колииндекс в озонированной воде не превышал 3 (при величине колииндекса в речной воде — 100 000—300 000), а среднее микробное

число составляло 12—15 м. т/мл (в речной воде — от 1400 до 2300 м. т./мл).

Таким образом, представленные выше примеры, показывают наиболее характерные случаи положительного применения озона и активного угля в технологии очистки воды, которые безусловно не охватывают всего многообразия вариантов использования окислительно-сорбционного метода очистки и удаления из воды всех встречающихся в ней загрязнений.

4.7. Однако на практике отмечаются случаи, когда озонирование может привести и к ухудшению процесса коагуляции. Так, при очистке речной воды в г. Калтан (Кемеровская обл.) в период весеннего паводка, предварительное озонирование ухудшало последующие процессы коагуляции и осветления, в результате качество очищенной воды не отвечало требованиям стандарта. Полученные результаты привели к тому, что из схемы очистки было исключено первичное озонирование и заменено на введение озона перед фильтровальными сооружениями.

При озонировании некоторых вод дозы озона существенно влияют на последующие процессы очистки, т. е. существует достаточно узкий диапазон их оптимальных значений, меньше которого озонирование неэффективно, а при больших дозах отмечается появление взвеси в фильтрованной воде и повышается концентрация остаточного алюминия.

В ряде случаев озонирование воды может привести к повышению концентрации некоторых химических загрязнений, например, фенолов, которые могут образовываться в результате неполного окисления ароматических соединений, присутствующих в воде.

Результаты исследований при озонировании р. Которосль (г. Ярославль) показывают, что концетрация фенолов уменьшается или увеличивается в зависимости от качества исходной воды и дозы озона.

4.8. Кроме того, известно, что в процессе озонирования воды возможно образование побочных продуктов, из которых наиболее представительным является формальдегид. Поэтому во всех исследованиях по озонированию постоянно контролировали концентрацию формальдегида в обрабатываемой воде, величина которой периодически превышала ПДК (0,05 мг/л). Однако при последующей сорбционной очистке на угольных фильтрах содержание формальдегида существенно уменьшается.

4.9. Необходимо также иметь ввиду, что использовать озон в качестве единственного обеззараживающего реагента невозможно, т. к. он не обладает пролонгирующим бактерицидным действием.

Кроме того, при озонировании воды многие органические загрязнения подвергаются деструкции, в результате увеличивается

количество биоразлагаемых соединений, в воде повышается концентрация так называемого "ассимилируемого органического углерода", который легко усваивается микроорганизмами, способствуя их жизнедеятельности. Это создает благоприятные условия для повторного бактериального загрязнения очищенной воды в водопроводной сети. Поэтому для надежной работы водопроводных сетей необходимо окончательное обеззараживание воды проводить хлорсодержащими реагентами (хлором, гипохлоритом натрия — электролитическим или химическим, хлораминами) дозами, обеспечивающими содержание в воде остаточного хлора на уровне 0,3—0,5 мг/л, что гарантирует полный обеззараживающий эффект.

Таким образом, задачей этого раздела являлось показать, что во всех случаях применения методов озонирования и сорбционной очистки воды необходимо проведение предпроектных технологических исследований.

Эти исследования смогут определить все положительные и возможные отрицательные моменты применения озона, и только они позволят установить эффективность озонирования и сорбционной очистки, требуемые дозы озона, необходимые места введения озона, влияние озона на основные процессы очистки воды и возможность сочетания озонирования с последующей сорбционной очисткой.

5. ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ РАСЧЕТНО-КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВОДООЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЗОНА И УГЛЯ

5. 1. Озонаторная станция.

5.1.1. Расчетные дозы изменяются в диапазоне от 1—1,5 до 20 мг/л. Меньшие дозы озона относятся обычно к первичному озонированию и они характерны для зимнего периода. Средние значения доз озона (3—5 мг/л) относятся к периодам паводков и к летнему периоду. Большая доза озона относится к очистке высокоцветных вод. Окончательно величина требуемых доз определяется после проведения соответствующих исследований.

5.1.2. Удельный расход электроэнергии озонаторной станции при нормальном режиме не более 23 кВт/ч на 1 кг озона.

5.1.3. Рабочее давление газовой среды на выходе из озонаторной установки независимо от режима работы — 0,07—0,08 МПа.

5.1.4. Концентрация озона в озоновоздушной смеси изменяется от 15 до 22 мг/л в зависимости от требуемой эффективности и глубины очистки, а также уровня загрязнений водоисточника.

5.1.5. Сырье для синтеза озона — воздух.

Требования к сетевым источникам воздуха для питания генераторов озона:

— расход — 840 $м^3/ч$ (мин. 600 $м^3/ч$);

— давление — 0,7—0,8 $кг/см^2$ (изб.);

— точка росы — минус 70 °С (до минус 55 °С);

— температура — не выше 20 °С.

По содержанию масла воздух должен соответствовать 1—2 кл. по ОСТ 92-1577—78.

5.1.6. Для охлаждения элементов озонаторной установки используется вода питьевого качества с температурой от +5 °С до +25 °С.

Состав охлаждающей воды:

— жесткость — не более 7 мг-экв/л;

— наличие свободной углекислоты — 10—100 мг-экв/л;

— концентрация водородных ионов — 6,5—8,5;

— мутность — 0,2—0,5 мг/л;

— железо — 0,1—0,3 мг/л;

— хлориды — не более 12 мг/л.

Слив воды по количеству равен подводу. Оборудование воду не загрязняет. Температура сливаемой воды не более 40 °С.

5.1.7. Контактные камеры состоят обычно из 3 реакционных отделений и воздухоотделителя. В камерах осуществляется смешение озоновоздушной смеси с обрабатываемой водой; смешение производится по принципу барботирования в противотоке. Для создания противоточного движения камеры разделены между собой струенаправляющими перегородками, обеспечивающими движение воды в направлении сверху-вниз.

5.1.8. Для расчета контактных камер возможны следующие параметры:

— продолжительность контакта воды с озоном — 5—15 мин, считая суммарное время пребывания воды в 3 отделениях;

— продолжительность пребывания воды в воздухоотделителе — 2—30 мин в зависимости от места расположения контактной камеры;

— высота слоя воды в камере — не менее 4,5 м;

— в первое отделение камеры следует вводить от 50 до 65 % требуемого количества озона, во второе — 20—35 % и в третье — 15—20 % (определяется опытным путем).

5.1.9. В качестве диспергаторов озона целесообразно использовать металлокерамические трубы (или пластины), изготовляемые Выксунским металлургическим заводом Нижегородской области, или мелкопузырчатые аэраторы, разработанные и выпускаемые

Белорусским Республиканским НПО порошковой металлургии (г. Минск, 220600, ул. Платонова, 41).

5.1.10. Озоновоздушная смесь собирается системой труб из трех реакционных отделений и воздухоотделителя в верхней части камеры и с помощью вентилятора отводится на аппарат каталитического разложения озона (КРО), загруженного сорбентом — гопкалитом. Из аппарата воздух выбрасывается в атмосферу.

5.2. Сорбционные угольные фильтры.

5.2.1. Для расчета угольных фильтров рекомендуется следующий диапазон величин (после соответствующей лабораторной проверки эти показатели уточняются):

— скорость фильтрации — 5—15 м/ч;

— высота слоя активного угля — 1—2,5 м;

— время контакта обрабатываемой воды с углем — 6—15 мин;

— интенсивность промывки — 10 л/(с · м^2) (для углей АГМ и АГОВ) и 14—15 л/(с · м^2) (для углей марок АГ-3 и ДАУ);

промывку угольной загрузки производить не реже одного раза в 2—3 суток. Продолжительность промывки — 7—10 минут.

5.2.2. Потери напора в угольной загрузке составляют порядка 0,3—0,4 м. Расстояние от поверхности фильтрующей загрузки до кромки желобов равно 1—1,5 м.

5.2.3. Распределительная система угольных фильтров — безгравийная (из щелеванных полиэтиленовых труб, колпачковый или полимербетонный дренаж). Потери напора в распределительной системе и другие параметры рассчитываются в соответствии со СНиП 2.04.02—84.

5.2.4. При эксплуатации угольных фильтров ежегодные потери угля составляют до 10 %. Поэтому на станции необходимо иметь запас угля для догрузки фильтров.

5.3. Обеззараживание воды хлором.

5.3.1. Для поддержания санитарного состояния очистных сооружений необходимо предусмотреть поэтапное хлорирование воды: первичное — перед смесителем с целью обеспечения санитарного состояния в отстойниках и фильтрах (проводится периодически по мере необходимости) и вторичное — перед фильтрами.

5.3.2. Для заключительного обеззараживания воды следует предусмотреть хлорирование воды после угольных фильтров перед резервуаром чистой воды в дозах, обеспечивающих требования СНиП и ГОСТ 2874—82 в отношении содержания остаточного хлора в отдаленных точках водопроводной сети.

5.3.3. В некоторых случаях с целью предотвращения образования токсичных хлорорганических соединений следует предусмотреть, наряду с хлорированием воды, ее аммонизацию.

6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИМЕНЕНИЯ ОЗОНА И АКТИВНЫХ УГЛЕЙ НА ВОДООЧИСТНЫХ СТАНЦИЯХ*

Технико-экономические показатели определены для следующих условий:

1. Дооборудованию подлежат станции 2-ступенной очистки производительлностью 20, 50 и 100 $м^3$/сут.

2. В объем строительства входят озонаторная установка в изолированном здании, контактные камеры, здание сорбционных угольных фильтров, насосная станция подкачки воды из контактной камеры на сорбционные фильтры, наружные коммуникации к указанным сооружениям.

3. Технология предусматривает: первичное и вторичное озонирование суммарной дозой озона 4 г/$м^3$; применение озонаторного оборудования, выпускаемого промышленностью России; соответствующие железобетонные контактные резервуары с системой распределения ОВС и нейтрализации остаточного озона.

4. Сорбционные угольные фильтры размещаются в отдельном здании или пристройке к зданию осветлительных песчаных фильтров. Параметры угольных фильтров — скорость фильтрования до 10 м/ч, высота загрузки — 1,5 м.

5. Расход электроэнергии на производство и использование озона принят 25 кВт/ч на 1 кг озона.

6. Дополнительный шаг для эксплуатации сооружений — 2 чел. в смену, (слесарь и электрик высокой квалификции с окладом 500 тыс. руб.), всего с подсменным 7 чел. дополнительного персонала.

7. Стоимость электроэнергии принята аналогично действующему на IX.95 одноставочному тарифу Мосэнерго равный 317 руб. за 1 кВт/ч.

8. Стоимостные показатели для определения капитальных затрат приняты по аналогам; коэффициенты перехода к ценам на IX.95 приняты усредненные по РФ, а именно: на строительно-монтажные работы 5500, на оборудование (кроме озонаторного) и материала 7000, стоимость озонаторного оборудования — по данным завода-поставщика в ценах на VIII—IX.95 г.

Определенные, таким образом, показатели являются весьма ориентировочными, позволяющими дать самую общую технико-экономическую оценку применению окислительно-сорбционной технологии.

---

* Раздел подготовлен главным специалистом ЦНИИЭП инженерного оборудования Г. Р. Рабиновичем.

Результаты расчетов сведены в табл. 4.

Таблица 4

Наименование показателей	Показатели для станции производительностью, тыс. $м^3$/сут		
	20	50	100
1	2	3	4
Капитальные затраты, млн. руб.			
Озонаторные установки с контактными камерами (без технологич. оборудования)	1065	1620	3400
Озонаторное оборудование (в комплекте)	500	700	1300
Сорбционные блоки (без угольной загрузки фильтров)	1235	1815	3000
Угольная загрузка фильтров	800	1700	3100
Насосная станция подкачки	55	220	320
Итого	3655	6055	11120
С учетом наружных коммуникаций (К = 1,10)	4020	6660	12232
Эксплуатационные расходы, млн. руб. в год			
На содержание персонала	42	42	42
На оплату электроэнергии (включая озонирование и подкачку)	285	600	1200
На амортизацию и текущий ремонт (без технологич. оборудования) — 9 %	210	310	570
На амортизацию технологич. оборудования (12 %)	60	84	155
Итого	597	1036	1967
Дополнительная себестоимость воды, руб. за 1 $м^3$	81	57	53

Таким образом, выполненные расчеты показывают следующее:

1. Применение обработки воды с помощью озона и активных углей требует ощутимых дополнительных затрат.

Затраты на капитальное строительство составляют в зависимости от производительности 40—60 % от стоимости станции по традиционной технологии 2-ступенной очистки.

2. Себестоимость воды при этом решающим образом зависит от технологического режима (периодическое или постоянное озонирование, дозы озона, возможность исключения тех или иных реагентов или снижения их доз и т. п.).

В приведенных в таблице показателях дополнительная себестоимость воды составляет порядка 30 % от исходной (существующей).

При учете отмеченных выше факторов, увеличение себестоимости будет не слишком ощутимым (чаще всего в пределах 15—20 % от исходной).

Теоретически в отдельных случаях возможно даже снижение себестоимости при оптимальном режиме эксплуатации сооружений.

7. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЗОНИРОВАНИЯ И СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА ЛОКАЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

7.1. В последние годы для малых населенных мест, санаториев, домов отдыха, сельских поселков, гарнизонов и военных городков нашли широкое применение установки заводского изготовления, выпускаемые российской промышленностью.

7.2. Производительность этих установок изменяется в диапазоне от 100 до 10 000 $м^3$/сут.

7.3. Для очистки подземных вод от железа и марганца используются установки типа "Деферрит". Для очистки подземных вод, содержащих более сложные формы железа, повышенных концентраций фтора и солей жесткости, а также для поверхностных вод используются установки "Струя-М". Для достаточно крупных коммунальных потребителей разработаны и изготавливаются водоочистные станции заводского изготовления типа "Влага" производительностью от 1,6 до 10 000 $м^3$/сут.

7.4. При наличии в источниках водоснабжения химических загрязнений (фенолов, нефтепродуктов, СПАВ), органических соединений, а также наличия повышенных концентраций марганца и сероводорода, все указанные типы установок могут быть дополнительно оснащены блоками озонирования и сорбционной очистки воды

7.5. При этом производительность озонаторов может изменяться от 100 г до 2 кг/ч. Для сорбционной очистки следует использовать дополнительные фильтры в количестве меньшем в 1,5—2 раза, чем песчаных.

7.6. Для оснащения водоочистных установок указанным оборудованием требуется дополнительная конструкторская проработка и разработка чертежей дооборудования к каждому типоразмеру установок.

8. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

8.1. Потребность в обслуживающем персонале:

— начальник озонаторной станции или мастер — 1 чел. (работает в одну смену);

— дежурный оператор (озонаторщик) — 1 чел (круглосуточно);

— машинист компрессорной и холодильной установок — 1 чел. (круглосуточно);

— машинист насосных агрегатов — 1 чел. (круглосуточно);

— дежурный электрик с допуском по работе с напряжением свыше 1000 В — 1 чел. (круглосуточно).

Машинист компрессорной и холодильной установок, машинист насосных агрегатов и дежурный электрик могут быть использованы из дежурной бригады станции водозабора.

8.2. Режим работы оборудования озонаторной установки соответствует работе станции водозабора и может быть как круглосуточным, так и с перерывами, с остановками на профилактические работы.

8.3. Насосы устанавливаемого оборудования и расположение фундаментных болтов оборудования указаны в чертежах завода-изготовителя.

Точки подвода электроэнергии с указанием напряжения, фазы и мощности, точки подвода воды, расход и места слива также указаны в чертежах завода.

Вентиляция в озонаторной общая с шестикратным обменом (с аварийным включением от прибора измерения ПДК озона).

Точки подвода воды, расход и места слива приведены в чертежах завода-изготовителя.

Материал водопроводов — сталь. Диаметр труб выбирается из условия, чтобы скорость воды в трубах не превышала 2 м/сек.

8.4. Габаритные размеры площадки для монтажа и демонтажа оборудования в помещениях озонаторной и воздухоподготовки — 3 х 5 м.

8.5. Грузоподъемное оборудование в помещениях озонаторной и воздухоподготовки — электроталь с грузоподъемностью 1000 кг.

8.6. Озонаторная станция комплектуется инструментами, приспособлениями и приборами для ремонтных, профилактических и наладочных работ, комплектом запасного оборудования, деталями и материалами, обеспечивающими ресурс работы установки до 1 года.

8.7. Озонаторная станция оснащается приборами контроля выходных параметров: давление, концентрация озона, расход озоно-воздушной смеси.

8.8. Нижнюю часть камеры следует оборудовать трубами опорожнения.

8.9. С целью исключения попадания озона в производственные помещения камеры необходимо выполнять герметичными. Для периодического профилактического осмотра, монтажа фильтросных труб и выполнения ремонтных работ камеры должны быть снабжены люками.

8.10. Для устройства контактных камер используют армированный бетон. Арматуру необходимо закладывать на глубину не менее 4 см от поверхности стенки, контактирующей с озоном.

9. ПРАВИЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОЗОНАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И БЛОКОВ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ

9.1. При эксплуатации озонаторного оборудования персонал обязан:

а) обеспечить нормальную работу всего оборудования, входящего в состав озонаторных установок, компрессоров, установок осушки и очистки воздуха, генераторов озона, источников питания, контактных камер и аппаратов разложения озона;

б) проводить профилактический ремонт оборудования в соответствии с намеченным графиком и делать соответствующие отметки в журнале;

в) следить за работой приборов, показывающих концентрацию озона в озоновоздушной смеси, обрабатываемой воде и в воздухе рабочих помещений и влажность воздуха с соответствующей регистрацией их показаний в журнале;

г) следить за работой всех систем автоматизации, озонаторного оборудования, в т. ч. и аварийного включения вентиляторов, отключения генераторов озона в аварийных ситуациях и т. п.

9.2. Озон может вводиться в природную воду, перед песчаными, сорбционными фильтрами и в качестве заключительного обеззараживания перед резервуарами чистой воды. Места введения озона в технологической схеме очистки воды выбираются в каждом конкретном случае, в зависимости от качества природной воды и местных условий.

9.3. Допускается для проведения ремонтных работ остановка одного блока генератора озона со снижением суммарной производительности на 25 %.

9.4. При эксплуатации озонаторного оборудования необходим постоянный лабораторный контроль качества воды до и после озонирования и после сорбционных фильтров по следующим показателям: фенолы, пестициды, хлорорганические соединения, нефтепродукты, формальдегид и другие, характерные для воды данного объекта.

9.5. Озонопроводы, трубопроводы для подачи озонированной воды, арматура на них, контактные камеры должны быть изготовлены из коррозионно-стойких материалов или футерованы коррозионно-стойкими покрытиями.

9.6. Процесс получения озона в озонаторных модулях полностью автоматизирован и проходит без участия оператора. Контроль работы озонаторного модуля визуальный. Основные параметры работы озонатора выведены на лицевую панель озонатора и задублированы на панели контроля станции, которые находятся в отдельном помещении.

Отработка аварийных ситуаций: отсутствие подачи охлаждающей воды, отсутствие расхода воздуха, отсутствие расхода теплоносителя, повышение температуры озоновоздушной смеси выше допустимой — производится автоматической системой блокировок без участия оператора.

Во всех этих случаях, а также при утечке озона и при других аварийных ситуациях и установлении неисправностей в работе оборудования, эксплуатация озонаторной установки должна быть немедленно прекращена

9.7. К работе с озонаторным оборудованием допускается персонал, прошедший обучение по утвержденной программе и допущенный к обслуживанию электрических установок, работающих при напряжении выше 1000 В.

9.8. При эксплуатации сорбционных фильтров персонал обязан выполнять требования, касающиеся эксплуатации фильтровальных сооружений.

9.9. При устройстве сорбционных фильтров дренаж желательно выполнять безгравийным (из щелеванных полиэтиленовых труб или полимербетонный), что позволит повысить высоту слоя угольной загрузки.

9.10. Загрузка активного угля в сорбционные фильтры должна производиться с помощью системы гидротранспорта.

9.11 При эксплуатации сорбционных фильтров необходимо обеспечить эффективную коагуляционную обработку и осветление воды, чтобы на активный уголь поступала вода с возможно минимальными значениями мутности и цветности.

9.12. Следует постоянно контролировать количество микроорганизмов в воде до и после угольных фильтров. Повышение этого показателя служит сигналом к необходимости промывки фильтров.

9.13. При эксплуатации угольных фильтров ежегодные потери угля за счет его измельчения и выноса с промывной водой составляют 5—10 %. Поэтому на станции необходимо иметь запас угля для догрузки фильтров.

9.14. В случаях применения озона на водоочистной станции и введения его перед сорбционными фильтрами, следует исключить попадание на угольную загрузку воды, содержащей остаточные концентрации озона.

9.15. При работе сорбционных фильтров производится постоянный контроль за эффективностью удаления органических загрязнений, имеющихся в воде водоисточника. В случае, когда сорбционная способность активного угля по данному виду загрязнений и по общему содержанию органических веществ оказывается исчерпанной, необходимо осуществлять реактивацию угольной загрузки.

Продолжительность работы угля между реактивациями устанавливается в каждом конкретном случае. Известно, что озонирование воды перед сорбционными фильтрами увеличивает их межреактивационной период до нескольких лет.

9.16. Наиболее целесообразным и обеспечивающим практически полное восстановление сорбционных свойств угля является метод термической реактивации.

9.17. Реактивация угля может быть осуществлена непосредственно на площадке водоочистных сооружений или устраиваются региональные (или областные) узлы реактивации угля.

9.18. При реактивации угля для его перегрузки из сорбционных фильтров в печи и обратно предусматривается система гидротранспорта; потери угля при этом составляют до 10—20 %.

10. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

10.1. При работе с оборудованием для очистки воды озоном и активным углем необходимо обеспечить выполнение ГОСТ 12.37002—75 "Процессы производственные. Общие требования безопасности", "Правила техники безопасности при эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения населенных мест" (М., Стройиздат, 1979), "Правила техники безопасности при эксплуатации высоковольтных электроустановок" (М., Энергоиздат, 1982) и отраслевого стандарта ОСТ 26-01-94—78 "Система стандартов безопасности труда. Озонаторы и установки озонирования. Общие требования безопасности", а также ГОСТ 121.004—91 "Пожарная безопасность. Общие требования".

10.2. Освещенность органов управления и приборов щитов управления должна быть согласно СНиП 11-4—79 для разряда зрительных работ В-200 Лк.

10.3. Температура рабочего помещения воздухоподготовки до +5 °С, озонаторной и дежурного оператора — не менее +15 °С.

10.4. Категория электроснабжения озонаторной установки (по ПУЭ) зависит от категории электроснабжения станции водозабора и может быть 2 категории (запитка от двух независимых источников электроснабжения) или 3 категории (запитка от одного источника электроснабжения).

10.5. Потребители, находящиеся в помещениях воздухоподготовки и дежурного оператора, работают под напряжением до 1000 В.

Потребители в озонаторной — свыше 1000 В (по ПУЭ).

Помещение воздухоподготовки — категории "Д", озонаторной и дежурного оператора — категории "Г" по СНиП 2.03.02—85, степень огнестойкости 2. Характеристика среды помещения для электрооборудования (по ПУЭ) — нормальная.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В "Методических рекомендациях" изложены основные положения по применению специальных методов очистки воды от антропогенных загрязнений и представлены обобщенные данные по эффективности и расчетным параметрам методов озонирования и сорбционной очистки, полученные на основании многолетних исследований лаборатории технологии и оборудования очистки природных вод НИИ КВОВ.

Вместе с тем наряду с решенными и апробированными в производственных и экспериментальных условиях задачами имеется еще и ряд проблем научного и практического характера, которые следует решать, что позволит еще в большей степени повысить эффективность применения озона и надежность работы озонаторного оборудования.

При этом имеются вопросы технического порядка, связанные с конструированием озонаторного оборудования, а именно:

организация в России промышленного выпуска новых высокопроизводительных источников питания;

разработка новых конструкций безмасляных компрессоров;

разработка специальных видов турбокомпрессоров;

создание новых средств воздухоподготовки;

освоение производства стеклянных труб соответствующего качества (прецизионных или из специального стекла);

изучение и разработка новых методов получения озона (в частности, предложения НПО "Композит", НИИ тепловых процессов и Акционерного общества "ТУЛЗ", г. Зеленоград) о создании оборудования на основе использования новых физических явлений, находящегося на стадии испытания опытных образцов.

Основными технологическими вопросами, требующими изучения и проверки, являются следующие:

внедрение технологии биологической очистки природных вод с использованием озонирования. Зарубежный опыт и исследования НИИ КВОВ показывают, что озон активизирует жизнедеятельность микроорганизмов на фильтрах с активным углем, в результате чего повышается эффективность очистки воды от органических загряз-

нений и значительно увеличивается продолжительность межреактивационного периода работы активного угля;

проведение работ по определению совместного применения озона с УФ-облучением, так называемого метода "каталитического окисления", являющегося более эффективным, чем раздельное использование этих процессов, с установлением эффективности и расчетно-конструктивных параметров. Этот метод, как известно из зарубежной практики, позволяет удалять из воды трудноокисляемые загрязнения (такие, как цианиды) и высокомолекулярные органические соединения, в частности, органические красители;

определение условий образования побочных продуктов хлорирования и озонирования воды, разработка мер по уменьшению их концентрации в питьевой воде;

усовершенствование системы смешения озоновоздушной смеси с обрабатываемой водой и создание новых более эффективных аппаратов и установок;

создание на базе малых водоочистных устаноовок типа "Струя" и "Влага" производительностью от 100 до 10 000 $м^3$/сут, выпускаемых промышленностью России, блоков доочистки с использованием озона и активного угля для случаев очистки воды сильнозагрязненных водоисточников.

Указанные задачи являются в какой-то мере основополагающими моментами, имеющими важное значение на протекание процессов очистки воды методами озонирования и сорбции и в конечном итоге для получения качественной питьевой воды. Для выполнения этих работ требуются бюджетные ассигнования.

И, наконец, поскольку широкого внедрения озон до настоящего времени не получил, то актуальной является отработка в производственных условиях дополнительных технологических схем применения озона при очистке воды в различных регионах на станциях любой производительности. Кроме того, в России отсутствует опыт применения на коммунальных водопроводах сорбционной очистки воды в сооружениях третьей ступени, а также опыт эксплуатации узлов реактивации активных углей. Все это также требует проверки в реальных условиях непосредственно на рассматриваемом объекте и является одной из важнейших задач, которая стоит перед специалистами "Водоканалов", проектных и научно-исследовательских институтов отрасли водопроводно-канализационного хозяйства.

Список литературы

1. Кожинов В. Ф., Кожинов И. В. Озонирование воды. М., Стройиздат, 1974.

2. Орлов В. А. Озонирование воды. М., Стройиздат, 1984.

3. Коврижных С. А. Очистка питьевой воды на Восточной водопроводной станции. "Водоснабжение и санитарная техника", 1985, № 1, с. 3—4.

4. Смирнов А. Д. "Сорбционная очистка воды". "Химия", Ленинградское отд., 1982.

5. Драгинский В. Л., Евтифеев Ю. П. и др. Очистка высокоцветных вод северных регионов страны. "Водоснабжение и санитарная техника", 1986, № 2, с. 6—8.

6. Драгинский В. Л., Демин И. И. "Очистка природных цветных вод", "Водоснабжение и санитарная техника", 1985, № 1, с. 4—6.

7. Вигдорович В. Н., Исправников Ю. А., Нижаде-Гавгани Э. А. "Проблемы озонопроизводства и озонообработки и создание озоногенераторов второго поколения". Москва — Санкт-Петербург, 1994.

8. Апельцина Е. И. Образование ассимилируемого органического углерода при озонировании природных вод. "Известия Жилищно-коммунальной Академии", № 1, 1994, с. 41—53.

9. ГОСТ 2874—82 "Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством".

10. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнений (СанПиН № 4630-88).

11. Алексеева Л. П., Драгинский В. Л., Сергеев С. Г., Смирнова Г. И. "Уменьшение концентрации хлорорганических соединений при очистке воды р. Томи". "Водоснабжение и санитарная техника", 1994, № 11, с. 4—6.

12. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Усольцев В. А., Соколов В. Д., Колькин А. С. и др. Повышение эффективности очистки воды с использованием технологии озонирования и сорбции на активных углях. "Водоснабжение и санитарная техника", 1995, № 2, с. 16—20.

13. Алексеева Л. П., Драгинский В. Л., Михеева С. Я., Гридасов В. "Выбор эффективной марки активного угля". "Водоснабжение и санитарная техника", 1995, № 5, с. 8—10.

14. Алексеева Л. П., Драгинский В. Л. "Применение озона в технологии подготовки питьевой воды". Башкирский химический журнал, выпуск 4, 1994, с. 36—40.

15. Драгинский В. Л., Алексеева Л. П., Корабельников В. М., Рапопорт Я. Д. Лаборатория технологии и оборудования очистки природных вод. "Водоснабжение и санитарная техника", 1995, № 6, с. 10—12.

16. Алексеева Л. П., Драгинский В. Л. "Подготовка питьевой воды для городов и поселков республики Саха". "Водоснабжение и санитарная техника", 1995, № 6, с. 15—18.

17. Правила технической эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения населенных мест, М.

18. Разумовский С. Д. "Озон в процессах восстановления качества воды, ЖВХО им. Д. М. Менделеева". Химия окружающей среды, 1990, т. 35, 1, с. 77—88.

19. Апельцина Е. И., Алексеева Л. П., Черская Н. О. "Проблемы озонирования при подготовке питьевой воды". "Водоснабжение и санитарная техника", 1982, № 4, с. 9—11.

20. Grasso D., Weber W. J., De Kam J. A. Effects of preoxidation with ozone on water quality: a case study// American Water Works Association Journal. 1989. Vol. 81. № 6. 85—92.

21. Singel P. C. Assessing ozonation research needs in water treatment// American Water Works Association Journal. 1990. Vol. 82. № 10. P. 78—88.

22. Glaze W. H. et al. Evaluation of ozonation by-product from two California Surfase Waters. AWWA J. 6, v. 81, № 86, 1989, p. 66—73.

23. Хромченко Я. Л. Живая вода "Спрос", 1995, № 1.

24. Руководство по технологии подготовки питьевой воды, обеспечивающей выполнение гигиенических требований в отношении хлорорганических соединений. М., ОНТИ АКХ, 1989.

25. Кожинов И. В., Шуберт С. А. "Питьевое водоснабжение населения: проблемы и решения". "Водоснабжение и санитарная техника", 1995, № 6, с. 3—6.

gost.e-ecolog.ru