

УДК 628.162

В. И. Романовский, кандидат технических наук, ассистент (БГТУ);**А. Д. Гуринович**, доктор технических наук, профессор (БНТУ);**Ю. Н. Чайка**, аспирант (ЦНИИКИВР); **П. Вавженюк**, аспирант (БТУ, г. Белосток, Республика Польша)

ДЕЗИНФЕКЦИЯ ОЗОНОМ ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН И ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В статье на основании анализа информации и лабораторных исследований предложены технологии дезинфекции водозаборных скважин и трубопроводов систем питьевого водоснабжения с использованием озона. Приведены сведения, подтверждающие значительную эффективность предлагаемых методов в сравнении с существующими. Отмечена их экономическая эффективность и экологическая безопасность.

In the article on the basis of analysis and laboratory technologies offered disinfecting water supply wells and pipelines for drinking water using ozone. The data confirming the significant effectiveness of the proposed method in comparison with existing ones. Marked their economic efficiency and environmental safety.

Введение. Вирусы и бактерии попадают в подземные воды вместе с инфильтрационным пополнением водоносного горизонта, т. е. медленно проходя сквозь породу. Такой способ загрязнения наиболее характерен для неглубоких скважин и скважин, пробуренных вблизи поверхностных водоемов. Также микробному загрязнению подвергаются не только скважины, но и водопроводные сети – новые или отремонтированные. Данные загрязнения связывают со вспышками инфекций, передающихся водой по городским системам водоснабжения.

Необходимость дезинфекции скважин и водопроводов устанавливается центрами государственного санитарно-эпидемиологического надзора и осуществляется согласно [1]:

1) по эпидемиологическим показаниям (при вспышке кишечных инфекций в населенном месте или при попадании в воду колодцев сточных вод, фекалий, трупов животных и др.);

2) с профилактической целью (по окончании строительства новых или после очистки и ремонта существующих колодцев).

В настоящее время дезинфекцию ствола скважин и колодцев, а также трубопроводов питьевого водоснабжения осуществляют обработкой жидким хлором, хлорной известью или гипохлоритом кальция [2]. Раствор активного хлора получают растворением в воде хлорсодержащих дезинфектантов, разрешенных к применению в хозяйственно-питьевом водоснабжении.

Скважина должна обрабатываться раствором хлорсодержащих дезинфектантов после механической очистки с промывкой на сброс. Непосредственно обработка скважин раствором активного хлора с целью дезинфекции производится в два этапа. Вначале хлорируется полость скважины от устья до статического уровня путем ее заполнения раствором активного

хлора концентрацией 50–100 мг/л, при предварительно установленном ниже 1–2 м статического уровня пневматическом пакере (пробке). Продолжительность выдержки раствора активного хлора должна быть не менее 6 ч при концентрации активного хлора 75–100 мг/л и не менее 24 ч при концентрации активного хлора 40–50 мг/л. После обработки верхней части хлорируется полость скважины от статического уровня до забоя. Обработка должна производиться введением раствора активного хлора в столб воды по заливной трубе (шлангу) с таким расчетом, чтобы после смешения концентрация активного хлора была не меньше 40 мг/л. После хлорирования выполняется откачка на сброс до снижения концентрации остаточного активного хлора в воде до 0,3 мг/л и проводится бактериологический анализ воды. При результатах анализа, соответствующих нормативным санитарным требованиям, скважина допускается к эксплуатации. При отрицательных результатах анализа дезинфекция скважины повторяется с использованием повышенных концентраций активного хлора, увеличенных в 1,5–2 раза в сравнении с первоначальными дозами.

При обработке внутренней поверхности водопроводов выделяются метод непрерывного дозирования, метод таблетированного хлорирования и метод с использованием высококонцентрированного раствора хлора. При методе непрерывного дозирования водопроводная труба сначала промывается большим расходом высококонцентрированного хлорного раствора, затем заполняется раствором хлора с концентрацией 25 мг/л. Этот раствор удерживается в трубопроводе до тех пор, пока остаточная концентрация хлора сохранится на уровне, по крайней мере, 10 мг/л через 24 ч. В методе таблетированного хлорирования таблетки гипохлорита кальция прикрепляются к внутренней

поверхности трубопровода в нескольких аксиальных местах, после чего трубопровод заполняется водой для растворения таблеток до тех пор, пока остаточная концентрация хлора внутри трубопровода сохранится на уровне, по крайней мере, 25 мг/л на протяжении 24 ч. В последнем методе большой расход раствора с концентрацией хлора более чем 100 мг/л медленно пропускается через трубопровод таким образом, чтобы вся внутренняя поверхность подвергалась воздействию сильно концентрированного раствора хлора в течение не менее чем 3 ч.

Недостатками способов хлорирования являются:

- недостаточная эффективность дезинфекции;
- образование высокотоксичных хлорорганических соединений;
- большие дозы используемого активного хлора;
- высокая токсичность самого хлора и многих хлорсодержащих агентов;
- высокая коррозионная активность раствора, что приводит к быстрому износу сетей и запорной арматуры;
- длительность времени воздействия хлора для эффективной дезинфекции (для дезинфекции внутренней поверхности трубопроводов требуется минимум 24 ч), что приводит к длительным задержкам; в методе таблетированного хлорирования при дезинфекции внутренней поверхности водопроводов таблетки растворяются не полностью и, так как в этом способе хлорирования вода статична, не полностью растворенные таблетки могут быть причиной неэффективной дезинфекции в некоторых местах трубопроводов;
- каждый метод хлорирования требует дехлорирования растворов, с помощью которых производили обработку, чтобы можно было сбросить растворы в хозяйственно-бытовую или ливневую канализацию;
- методы хлорирования не связаны с научно-рациональным основополагающим принципом дезинфекции.

Следует отметить, что, проводя дезинфекцию стволов скважин в Республике Беларусь, обрабо-

танные растворы не утилизируются, а обычно сбрасываются на прилегающую территорию, в редких случаях отработанный раствор пускают по трубопроводу до станции второго подъема. Что касается обработки трубопроводов подачи питьевой воды, то здесь ее проводят только после ремонта, а профилактические обработки в большинстве случаев отмечаются только в журнале учета. Используемые концентрации хлора в растворах часто превышают норму в несколько раз.

С целью решения проблем и устранения недостатков применяемых сегодня методов дезинфекции трубопроводов, отмеченных выше, в качестве альтернативы может стать использование озона в качестве дезинфицирующего средства.

В табл. 1 на основании анализа различных литературных источников приведена оценка применения схем с использованием различных дезинфектантов.

В настоящее время при оценке эффективности того или иного дезинфектанта используются так называемые $C \times T$ -критерии, т. е. произведение концентрации реагента на время действия.

Согласно результатам множества экспериментов, представленных в литературе, озон превосходит такие дезинфектанты, как хлор, хлорамин и двуокись хлора. По своему бактерицидному воздействию озон в 3–6 раз сильнее ультрафиолетового излучения и в 400–600 раз сильнее хлора.

В табл. 2 также на основании анализа различных литературных источников представлена оценка эффективности использованием различных дезинфектантов.

Тем не менее сегодня хлорирование применяется чаще, чем озонирование. Для этого есть несколько причин, которые сформировались в прошлом веке. Первая – это простота работы с хлором и хлорсодержащими реагентами в сравнении с работой с озоном. И вторая причина – это сложность использования озонаторного оборудования, низкий уровень автоматизации и, как следствие, необходимость наличия высококвалифицированного обслуживающего персонала. Однако современные озонаторы лишены практически всех этих и других недостатков.

Таблица 1

Сравнительный анализ способов дезинфекции

| Технология | Экологичность | Побочные продукты | Эффективность | Капитальные затраты | Текущие затраты |
|----------------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------------|-----------------|
| Озонирование | + | + | ++ | +/- | + |
| Ультрафиолетовая обработка | ++ | ++ | + | +/- | ++ |
| Диоксид хлора | +/- | +/- | ++ | ++ | + |
| Хлоргаз | -- | -- | - | + | ++ |
| Гипохлорид | -- | -- | - | + | ++ |

Таблица 2
Сравнительный анализ различных
дезинфектантов

| Технология | Простейшие | Бактерии | Вирусы |
|----------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| Хлорирование | Не уничтожает | Уничтожает полностью | Уничтожает не полностью |
| Озонирование | Уничтожает полностью | Уничтожает полностью | Уничтожает полностью |
| Ультрафиолетовая обработка | Уничтожает не полностью | Уничтожает полностью | Уничтожает полностью |

Основная часть. В мире на сегодняшний день работает множество систем водоподготовки, использующих озонирование: во Франции, Канаде, Швейцарии, Италии, Германии, Саудовской Аравии и др. Однако эти системы применяются только для обеззараживания воды. В 2005 г. в США был запатентован способ дезинфекции водопроводных сетей с использованием озона [3].

Дезинфекцию трубопроводов предлагается проводить путем воздействия на их внутреннюю поверхность дезинфицирующим раствором, полученным растворением озона в питьевой воде. Применение озона для дезинфекции устраняет необходимость обезвреживания раствора после использования, как дехлорирование, поскольку озон распадается на кислород в воде в течение небольшого периода времени, обычно меньше чем за 1 ч. Скорость распада зависит от температуры воды, pH, концентрации озона, содержащихся веществ в воде.

Такое явление, как распад озона с образованием кислорода, дает возможность разработать процесс дезинфекции озоном, который позволит остаточной концентрации озона внутри трубопровода разложиться с образованием кислорода до сброса дезинфицирующего раствора из трубопровода. В связи с этим упрощается утилизация данного раствора, что позволит избежать нанесения ущерба окружающей среде. Также в зависимости от остаточной концентрации озона в дезинфицирующем растворе воду после дезинфекции озоном часто можно сбрасывать прямо на улицы, в канализацию или в водотоки. Низкая остаточная концентрация озона в рассматриваемом растворе (менее чем 1 мг/л) быстро расходуется при контакте с поверхностью тротуаров, загрязняющими веществами или при воздействии ультрафиолетового излучения солнца.

Использование озонсодержащего дезинфицирующего раствора также позволяет избежать

хранения, транспортировки и приготовления непосредственно на месте проведения дезинфекции опасных химических веществ, обычно применяемых при процессах хлорирования (гипохлориты и гидросульфиты). Озон можно получить непосредственно на месте проведения дезинфекции, посредством электрических разрядов используя кислород (который в свою очередь на месте генерируется из системы разделения кислорода или берется из баллонов) или воздух в качестве сырьевого газа. Необходимое для этого процесса оборудование компактно и может применяться в полевых условиях без потребности в больших хранилищах или огромных транспортных средствах.

Поскольку озон является наиболее сильным дезинфектантом питьевой воды, процесс дезинфекции трубопровода озоном может длиться минуту, а не минимум час, как при хлорировании. Озон способен удалить простейшие, бактерии и вирусы из воды при значении $C \times T$ -показателя на два порядка ниже, чем требует хлорирование. Таким образом, возможен проточный процесс. Расход озона составляет 0,5–5 мг/(л · мин), зависит от температуры воды и чувствительности бактерий к озону.

Учитывая вышесказанное, были предложены схемы использования озона для дезинфекции ствола скважин и трубопроводов питьевого водоснабжения: три варианта для дезинфекции скважин и один – для дезинфекции водопроводов.

Схемы необходимо оборудовать анализатором озона для определения скорости распада остаточной концентрации озона в воде. Регулирующее устройство должно контролировать скорость введения озона в воду в зависимости от информации, предоставленной анализатором, отображающим скорость распада озона, чтобы обеспечить установленную концентрацию озона в воде для удовлетворения требований дезинфекции.

Для управления системой в ней предусматривается логический контролер, который программируется для определения необходимого сочетания начальной остаточной концентрации озона и его константы скорости распада в целях поддержания плановой концентрации озона не более 0,3 мг/л на выходе из обработанного участка трубопровода.

Для относительно небольшой длины трубопровода достаточно выбора одной точки для введения озона. Для длинных трубопроводов или для трубопроводов большого диаметра, где наиболее вероятны более высокие скорости распада озона, можно делать несколько точек ввода озона по всей длине трубопровода для того, чтобы достичь требуемого эффекта дезинфекции.

Для проведения исследований была собрана лабораторная установка (рис. 1), позволяющая определить влияние времени обработки, концентрации озона в воде и режима движения воды на $C \times T$ -показатель.

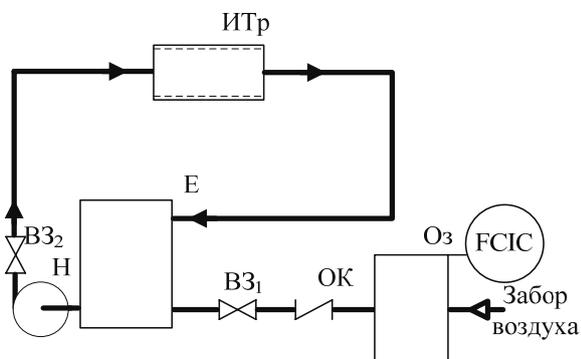


Рис. 1. Схема лабораторной установки для определения параметров дезинфекции водопроводов:

Оз – генератор озона; Е – емкость; Н – насос;

ИТр – исследуемая часть трубопровода;

ВЗ₁₋₂ – вентиль запорный; ОК – обратный клапан

Определение остаточной концентрации озона в газовой смеси и остаточного содержания в воде в выбранной методике основано на окислении озонем иодида до иода, который оттитровывали раствором серноватистокислого натрия [4, 5]. Определение расхода газовой смеси проводили при помощи расходомера СКВ-15/Г ($\Delta P = 0,1$ МПа, $t_{\text{макс}} = 90^\circ\text{C}$, $Q_{\text{ном}} = 1,5$ м³/ч, № 035832). Определение энергопотребления установки осуществляли при помощи счетчика однофазного тока (тип СО1, ОСТ 6225, № 456891).

На основании проведенных исследований дезинфекции трубопроводов питьевого водоснабжения будут проведены опытно-промышленные испытания предложенных технологий. Для этого выбран водопровод определенного диаметра. Он будет разделен на десять участков равной длины. После обработки выбранного участка водой, насыщенной озоном, будут определены следующие показатели для каждого участка: начальная и остаточная концентрация озона в воде, значения микробного загрязнения. Также необходимо выбрать оптимальный режим течения воды в трубопроводе. Значение показателей на последнем участке трубопровода отслеживается для того, чтобы определить, достигнута ли цель дезинфекции, так как этот участок подвергается наименьшему воздействию.

Для определения растворимости озона в воде по высоте столба жидкости была собрана экспериментальная установка. Она представля-

ет собой пластиковую трубу высотой 2 м. В трубе сделано пять отверстий для отбора проб через каждые 0,5 м. Штуцер для подвода озона расположен в нижней части колонны (рис. 2).

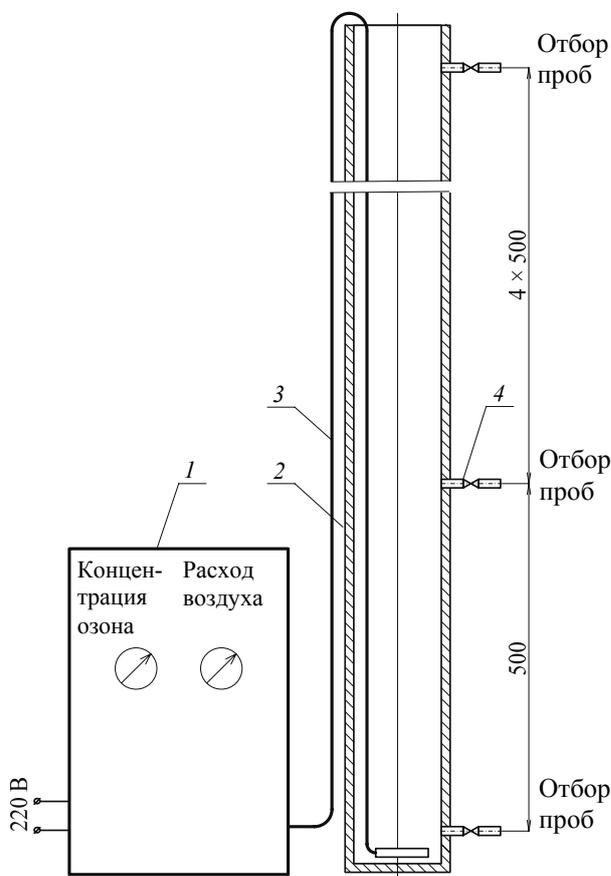


Рис. 2. Схема лабораторной установки для определения параметров дезинфекции ствола скважин:

1 – озонатор; 2 – труба; 3 – газоход;

4 – штуцер отбора проб

Для определения растворимости озона в воде использовали различные расход газовой смеси (при расходе озона 14 г/ч): 3,3; 6,6 и 13,2 л/мин; время обработки: 10, 30, 60 мин. Экспериментально было обнаружено, что по высоте столба жидкости растворимость озона значительно снижается (рис. 3 и 4). Это объясняется уменьшением концентрации озона в газовой фазе, схлопыванием пузырьков газовой смеси и подтверждает известные закономерности.

Установлено, что на насыщение воды озоном оказывает влияние концентрация его в газовой смеси и поверхность массообмена (размеры пузырьков газа, создаваемых «диспергатором» воздуха). Максимальное насыщение воды создается при большей концентрации озона в газовой смеси и меньшим ее расходом, увеличением времени обработки, что подтверждает известные закономерности. Полученные

данные свидетельствуют о том, что при дезинфекции скважин пропусканием газообразной озонозодушной смеси диспергаторы необходимо располагать на расстоянии 5–10 м друг от друга по высоте. При насыщении водопроводной воды (температура 17°C) озоном до концентрации 4 мг/л 50%-ное его разложение наблюдалось через 40 мин.

В данном случае также необходимо провести исследования влияния продолжительности обработки, концентрации озона в воде и режима движения воды на $C \times T$ -показатель.

Как также отмечалось ранее, требования дезинфекции для сетей водоснабжения должны основываться на удовлетворении эффекта дезинфекции 99,99% инактивации.

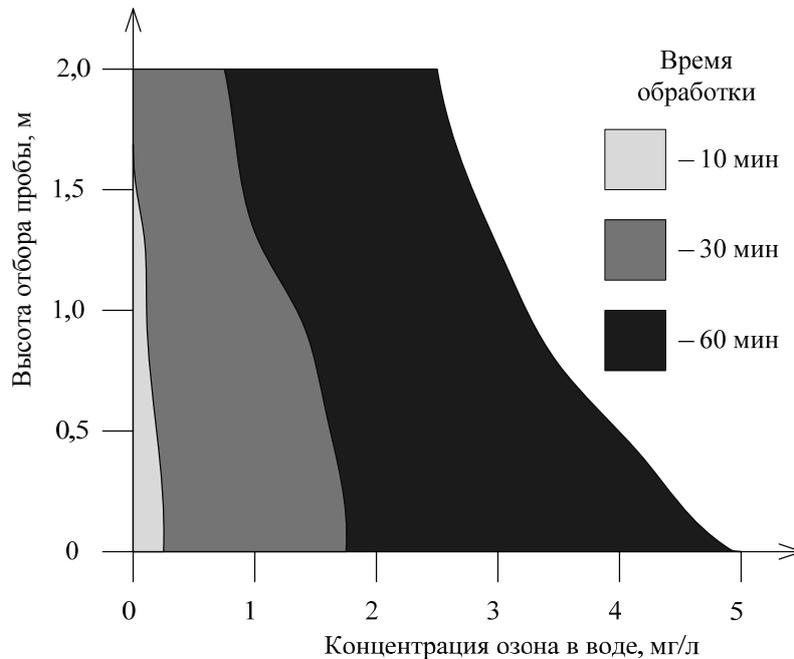


Рис. 3. Зависимость концентрации озона в обрабатываемой воде, мг/л, от времени обработки при расходе озона 14,0 г/ч, газовой смеси – 3,3 л/мин

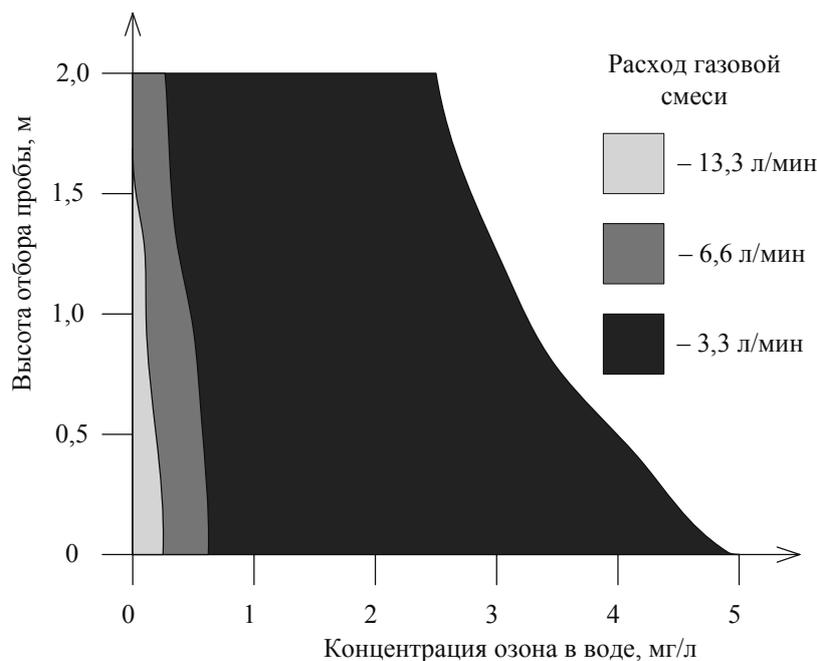


Рис. 4. Зависимость концентрации озона в обрабатываемой воде, мг/л, от расхода газовой смеси при расходе озона 14,0 г/ч и времени обработки 60 мин

Для введения и растворения озона в воде может применяться разнообразное аэрационное оборудование, различающееся размерами контактной площади газообразной и жидкой фаз, давлением в системе и продолжительностью реакции:

1) инжекторная аэрация со статическими смесителями: аэрация воды достигается с помощью инжекторов и двух статических смесителей, установленных на всасывающем озон трубопроводе и основном трубопроводе; после перемешивания должно быть время для прохождения реакции внутри трубопровода или дополнительной емкости;

2) мелкопузырчатая аэрация: мелкопузырчатое введение озона в воду осуществляется через пористые металлокерамические трубы или диски на дне резервуара;

3) аэрационная колонна: введение газа происходит в аэрационной колонне с помощью встречного потока воды;

4) аэрация с помощью мешалок используется при постоянном расходе воды и небольшом диапазоне регулирования подачи озона. Для этого способа применяются находящиеся в воде вращающиеся мешалки, перемешивающие озон с водой.

В обрабатываемой воде при стабильном процессе ввода и перемешивании озона порядка 5–25% его остается нерастворенным. Остаточный нерастворенный озон должен быть обезврежен перед выбросом в атмосферу. ПДК_{мр} озона 160 мкг/м³. Также при работе с озонозудушной смесью следует учитывать НКПВ, равный 10 об. %.

Устранение остаточного озона можно проводить следующими методами:

– термический (при температуре выше 310°C и времени обработки не менее 2 с);

– каталитический (в качестве катализаторов для осаждения озона используют палладий и металлоксид на основе CuO/MnO; рабочая температура пластины катализатора должна составлять от 60 до 80°C);

– реагентный (подходящие озоннейтрализующие химические вещества включают аскорбиновую кислоту, дисульфит натрия и тиосульфат кальция).

Доза озона на участке трубопровода, который необходимо продезинфицировать, или в обрабатываемой скважине должна быть на уровне не менее 0,2–0,3 мг/л. Эта остаточная концентрация достаточна для удовлетворения требований дезинфекции, и она также достаточна низкая для того, чтобы можно было

озонированную воду из продезинфицированного участка трубопровода сбросить в окружающую среду без нанесения ей ущерба.

Заключение. Укомплектованные стационарные установки для озонирования, состоящие из элементов, производящих озон, оборудования для смешивания, емкости для реакции и резонаторов, выводящих остаточный озон из системы, должны устанавливаться в изолированных, запирающихся помещениях. Предлагаемые схемы устройств дезинфекции могут быть мобильными и устраиваться на грузовик или прицеп для транспортировки. Озонгенирующая система, которая представляет собой систему, охлаждаемую воздухом, генерирует озон из кислорода, вводит озон в поток воды под давлением и подает озонированную воду на участок трубопровода, который необходимо продезинфицировать. Генератор озона должен быть с воздушным охлаждением. Такие озонаторы разработаны у нас в стране компанией ООО «РовалантСпецСервис» [6]. Данные генераторы отличаются также низким удельным энергопотреблением 4–5 Вт/г озона. Кроме того, систему можно оснастить мобильным генератором для обеспечения необходимой электроэнергией.

Литература

1. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников: СанПиН 2.1.4.1175-02. – Введ. 01.03.2003. – М.: Минздрав, 2003. – 13 с.
2. Сооружения водоподготовки. Обеззараживание воды. Правила проектирования: ТКП 45-4.01-181-2009. – Введ. 29.12.2010. – Минск: Госстандарт, 2010. – 32 с.
3. Method and apparatus for ozone disinfection of water supply pipelines: US 20050249631 / Christopher R. Schulz; Stephen R. Lohman. – Filed: Feb. 25, 2005.
4. Методические указания по определению вредных веществ в сварочном аэрозоле (твердая фаза и газы): МВ 015 МУ № 4945-88. – М.: Госстандарт, 1988. – 6 с.
5. Вода питьевая. Методы определения содержания остаточного озона: ГОСТ 18301-72. – Введ. 01.01.1974. – М.: Госстандарт, 1974. – 4 с.
6. Генератор озона: пат. Респ. Беларусь, МПК7 С 02 В 13/11 / С. М. Дмитриев, М. П. Кондратьев; заявитель ООО «Ровалант-СпецСервис». – № а2003040115, заявл. 04.01.03; опубл. 30.06.05 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 2. – С. 54.

Поступила 20.02.2013