



ru.depositphotos.com

А. П. Грудинкин, коммерческий директор НПО «ЛИТ»
В. М. Пискарева, инженер технологического отдела НПО «ЛИТ»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТОДА ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ УЛЬТРАФИОЛЕТОМ

По данным Всемирной организации здравоохранения, основное негативное воздействие при употреблении воды человеком или при его контакте с ней связано не с наличием неприемлемых органолептических свойств или неудовлетворительного химического состава, а с бактериальной загрязненностью водной среды, являющейся идеальным местом для существования большого количества микроорганизмов, в том числе возбудителей тифа, вирусного гепатита, холеры и т. д. Поэтому основным этапом водоподготовки и водоочистки является обеззараживание.

Технологии обеззараживания воды

Самым распространенным химическим методом обеззараживания питьевой воды является обработка хлором или хлорсодержащими реагентами. Однако основной недостаток этих технологий – образование высокотоксичных хлорорганических соединений, обладающих мутагенным и канцерогенным действием, способных вызвать ряд серьезных заболеваний [1]. Именно поэтому государственные нормативные документы РФ устанавливают жесткие требования к предельно допустимой концентрации (ПДК) этих веществ в воде. Современный тренд развития нормативной базы предполагает дальнейшее ужесточение этих нормативов.

Вирусы и цисты простейших обладают высокой устойчивостью (резистентностью) к хлору [2], для их инактивации требуется увеличение

дозы подаваемого реагента, что, в свою очередь, приводит к изменению в худшую сторону органолептических свойств обрабатываемой воды – появляется резкий запах, ощущается вкус хлора.

Технология хлорирования подразумевает наличие небезопасных хлорных хозяйств. Таким хозяйствам присваивается высокий класс опасности, что обуславливает наличие специальных конструкций хлораторных и санитарно-охранной зоны.

Еще одним химическим методом обеззараживания воды является озонирование. Озон (O_3) – аллотропная модификация кислорода (O_2), является сильным окислителем, а технология очистки воды, основанная на применении этого вещества, направлена на окисление и устранение вредных органических примесей. Обеззараживание здесь, по сути, является

дополнительным, второстепенным эффектом. Стоит отметить, что озон относится к самому высокому классу опасности вредных веществ: он индуцирует появление токсичных галогенсодержащих соединений, таких как броматы, пероксиды [3]. Технология обеззараживания является крайне энергозатратной и дорогостоящей, что связано с этапом получения озона. Оборудование для озонирования технически сложное, требует наличия грамотной системы контроля и автоматического регулирования, которая стоит немалых денег. По природе своей озон не обладает эффектом последствия, необходимым для поддержания надлежащего санитарного состояния коммуникаций и оборудования, находящегося после ступени озонирования. Существенным преимуществом озонирования перед хлорированием является отсутствие необходимости хранения опасных реагентов (хлор в жидком или газообразном состоянии). Однако озонирование требует повышенного внимания и дополнительных затрат на обеспечение техники безопасности, так как озон является опасным газом, требующим отдельных помещений, оборудованных системами приточно-вытяжной вентиляции и специализированными датчиками. Вместе с этим стоит отметить высокую обеззараживающую способность озона в отношении вирусов и цист простейших.

Альтернативным «бесхимическим», или физическим, методом является обеззараживание воды ультрафиолетом.

**Особенности технологии
УФ-обеззараживания воды**

За последние десятилетия технология ультрафиолетового (УФ) обеззараживания воды заняла ведущее место в ряду других технологий обеззараживания. Помимо водоснабжения и канализации УФ-обеззараживание также

широко используется в различных отраслях промышленности – пищевой, фармакологической, электронной, а также в оборотном водоснабжении, аквакультуре и других.

Ультрафиолетовое излучение – электромагнитное излучение, занимающее диапазон между рентгеновским и видимым излучением (диапазон длин волн от 100 до 400 нм). Различают несколько участков спектра ультрафиолетового излучения, имеющих разное биологическое воздействие: УФ-А (315–400 нм), УФ-В (280–315 нм), УФ-С (200–280 нм), вакуумный УФ (100–200 нм).

Из всего УФ-диапазона участок УФ-С часто называют бактерицидным из-за его высокой обеззараживающей эффективности по отношению к бактериям и вирусам. Максимально эффективным является ультрафиолетовое излучение с длиной волны 254 нм. УФ-излучение – это физический метод обеззараживания, основанный на фотохимических реакциях, которые приводят к необратимым повреждениям ДНК и РНК микроорганизмов и вирусов, в результате чего теряется способность к размножению (происходит инактивация).

Бактерицидное УФ-излучение эффективно в отношении вирусов и простейших, стойких к воздействию хлорсодержащих реагентов. УФ-обработка воды не приводит к образованию вредных побочных продуктов, даже если доза излучения превышена многократно. Органолептические свойства воды не ухудшаются после установок обеззараживания УФ-излучением. Обеззараживание ультрафиолетом является своеобразным барьером, действует в месте установки и не носит пролонгированного характера в отличие от хлора. Поэтому при применении ультрафиолета на этапе водоподготовки возможно вторичное микробиологическое загрязнение воды, подаваемой потребителю, вызванное неудовлетворительным санитарным состоянием водораспределительных сетей

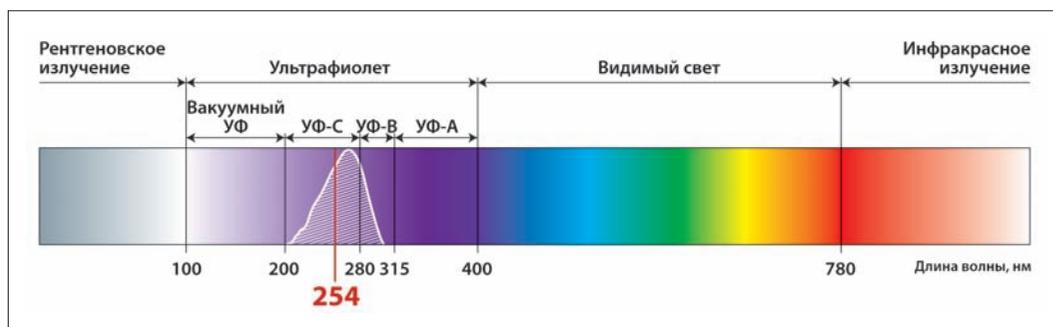


Рис. 1. Спектр излучения и кривая бактерицидной чувствительности микроорганизмов и вирусов

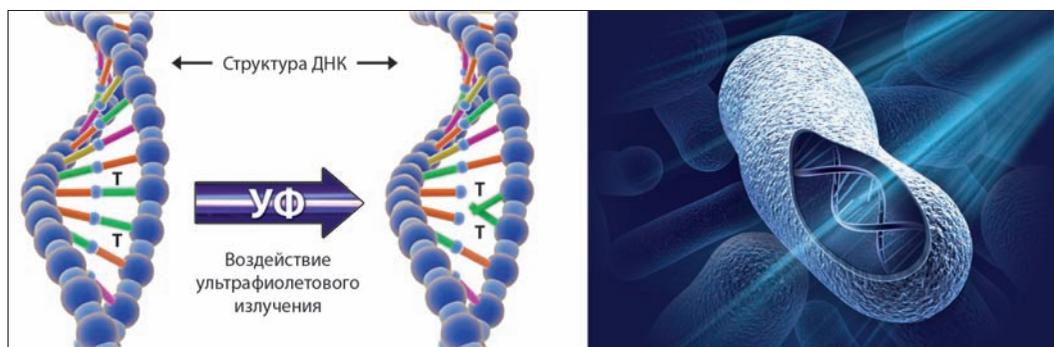


Рис. 2. Механизм обеззараживания УФ-излучением

и появлением биопленок на внутренних поверхностях труб. Решением этой проблемы является совместное применение УФ-обеззараживания и хлорирования, обеспечивающего последствие. Такой принцип обеззараживания при водоподготовке носит название «принцип мультибарьерности». Наиболее оптимальным при этой схеме обеззараживания считается применение хлораминов в качестве агента с пролонгированным действием. Вследствие более длительного сохранения в сетях и более активного, чем хлор, действия на биопленки в трубах [4] хлорамины находят все большее применение в практике водоподготовки.

Также нельзя полностью исключить хлорирование и при обеззараживании воды для плавательных бассейнов. Здесь важным аспектом остается микробиологическая безопасность воды в чаше бассейна. При применении комбинированного метода обеззараживания УФ + хлор содержание свободного остаточного хлора должно находиться в пределах 0,1–0,3 мг/л, тогда как при хлорировании без УФ-обеззараживания – в пределах 0,3–0,5 мг/л, соответственно затраты на реагент снижаются в 2–3 раза [5].

Для обеззараживания сточных вод достаточно применения только УФ без каких-либо дополнительных дезинфицирующих реагентов. Применение хлорирования вследствие наличия последствия, являющегося преимуществом в процессах водоподготовки, при обеззараживании сточных вод нежелательно из-за негативного влияния на биоценоз водоемов, куда сбрасываются стоки.

Высокая эффективность действия на различные типы микроорганизмов, отсутствие вредных побочных продуктов позволяют рассматривать облучение ультрафиолетом как реальный и уже хорошо зарекомендовавший себя практический метод обеззараживания.

Технологические и технические особенности применения технологии УФ-обеззараживания

Возможность применения технологии обеззараживания УФ-излучением определяется качеством воды, поступающей на обеззараживание. Диапазон физико-химических показателей качества воды, рекомендуемых для применения метода УФ-обеззараживания, является достаточно широким. На процесс УФ-обеззараживания не оказывают влияние pH и температура воды. Присутствие в воде ряда органических и неорганических веществ, поглощающих УФ-излучение, приводит к снижению фактической дозы облучения, обеспечиваемой УФ-установками. Влияние качества воды на пропускание излучения должно быть учтено при выборе УФ-оборудования.

При превышении хотя бы одного из показателей рекомендуется проведение дополнительных исследований.

Важнейшим критерием работы установок УФ-обеззараживания является эффективность обеззараживания. Основной характеристикой эффективности, кроме непосредственно микробиологических показателей в обеззараженной воде, является доза УФ-облучения. В соответствии с законодательством РФ для обеззараживания сточных вод доза должна быть не менее 30 мДж/см² [6], а для питьевой воды – не менее 25 мДж/см² для безопасности воды по вирусологическим показателям [8]. Установки УФ-обеззараживания обеспечивают требуемые дозы при применении оборудования в пределах рекомендуемых производителем технических параметров.

Основными промышленно применяемыми источниками УФ-излучения являются ртутные лампы высокого, а также низкого давления, в том числе их новое поколение – амальгамные. Лампы

Таблица 1
Критерии качества сточной и питьевой воды, поступающей на УФ-обеззараживание [6, 7]

Показатель	Размерность	Рекомендуемые уровни, не более
Питьевая вода		
Цветность	град.	50
Мутность	мг/л	30
Окисляемость*	мг/л	20
Сточные воды		
Взвешенные вещества	мг/л	10 (max 35)
БПК5	мгО ₂ /л	10
ХПК	мгО ₂ /л	50

* – согласно рекомендациям производителей.

высокого давления обладают высокой единичной мощностью (до нескольких десятков кВт), но более низким КПД (9–12 %) и меньшим ресурсом, чем лампы низкого давления (КПД 40 %), единичная мощность которых составляет десятки и сотни ватт. УФ-системы на амальгамных лампах чуть менее компактны, но гораздо более энергоэффективны, чем системы на лампах высокого давления. Поэтому требуемое количество УФ-оборудования, а также тип и количество используемых в нем УФ-ламп зависят не только от требуемой дозы УФ-облучения, расхода и физико-химических показателей качества обрабатываемой среды, но и от условий размещения и эксплуатации.

Для контроля работы УФ-установки необходимо иметь датчик ультрафиолетового излучения, селективно измеряющий интенсивность УФ-излучения на длине волны 254 нм. При снижении интенсивности ниже порогового значения сработает аварийная сигнализация, предупреждающая пользователя о необходимости принять меры по предупреждению или устранению неполадки.

Комплектация и оснащенность УФ-установок могут изменяться и зависеть от конкретного случая применения. Счетчик времени наработки лампы, например, является важнейшим инструментом и должен присутствовать в каждой установке. По истечении срока службы лампы подается сигнализация, которая позволяет вовремя заменить лампы на новые. Для защиты от перегрева мощных УФ-ламп должна быть предусмотрена аварийная индикация, своевременно предупреждающая о росте температуры внутри камеры. Перечисленные выше функции – необходимый минимум для стабильной и эффективной работы УФ-системы. Если качество воды, определяемое коэффициентом пропускания, и расход

меняются в широких пределах – целесообразно использовать систему регулировки мощности. Система регулировки мощности позволяет снижать мощность ламп при изменении одного из параметров, тем самым уменьшая расходы на электроэнергию.

Для подтверждения эффективности обеззараживания ультрафиолетовым излучением за рубежом, например, распространена практика биовалидации установок обеззараживания питьевой и сточной воды, балластной воды судов. Например, в основе процесса сертификации систем для обеззараживания воды лежат реальные тесты, проверяющие способность установок УФ-обеззараживания инактивировать бактерии (например, *Bacillus Subtilis*), имеющие низкую чувствительность к ультрафиолету по сравнению с другими микроорганизмами и вирусами, в том числе болезнетворными. После прохождения всех этапов сертификации на установку выдается сертификат, подтверждающий ее эффективность. В нем приведен список технологических параметров (максимальный расход при определенном коэффициенте пропускания), соблюдение которых гарантирует обеззараживание.

Самыми распространенными стандартами биовалидации систем УФ-обеззараживания являются нормативы, выпущенные такими организациями, как DVGW (Германия), ÖNORM (Австрия), US EPA (США). Получение общепризнанных мировых сертификатов подтверждает правильность выбранных технологических решений и высокое качество производимого оборудования.

Выбор типа оборудования и его оснащенности во многом зависит от области применения. Однако немаловажным общим критерием является наличие базовых инструментов (температурный датчик,



Рис. 3. Стенд биовалидации системы корпусного типа

датчик УФ-интенсивности), которые гарантируют эффективность обеззараживания за счет постоянного мониторинга основных технических параметров, обеспечивая бесперебойную работу и возможность своевременного устранения неполадок. Гарантией эффективного обеззараживания и высокого качества самого оборудования в целом является прохождение реального биотестирования.

За счет достаточной простоты технологии УФ-обеззараживания, эффективности ультрафиолета в отношении вирусов и простейших этот метод получил широкое распространение, а совершенствование конструкции оборудования и систем мониторинга является на данный момент приоритетной задачей разработчиков систем УФ-обеззараживания воды.

Литература

1. Калашникова Е. Г., Арутюнова И. Ю., Горина Е. Н. и др. Исследование различных технологических приемов, направленных на снижение содержания хлорорганических соединений в обрабатываемой воде: Сб. тезисов. «Яковлевские чтения – I». М.: ДАР/ВОДГЕО, 2006. С. 22.
2. Онищенко Г. Г. Эффективное обеззараживание воды – основа профилактики инфекционных заболеваний. Ч. 1 // Водоснабжение и санитарная техника. – 2005. – № 12. – С. 8–12.
3. Zoeteman B. C. J., Hrubec J., de Greef E. et al. Mutagenic activity associated with by-products of drinking water disinfection by chlorine, chlorine dioxide, ozone, and UV irradiation // Environmental Health Perspectives. – 1982. – V. 46.
4. Biofouling and Biocorrosion in industrial water systems. – 1993. P. 91–106.
5. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.2.1188–03 «Плавательные бассейны. Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды. Контроль качества». – М., 2003.
6. Методические указания МУ 2.1.4.719–98 «Санитарный надзор за применением ультрафиолетового излучения в технологии подготовки питьевой воды». – М., 1998.
7. Методические указания МУ 2.1.5.732–99 «Санитарно-эпидемиологический надзор за обеззараживанием сточных вод ультрафиолетовым излучением». – М., 1999.
8. Методические указания МУК 4.3.2030–05 «Санитарно-вирусологический контроль эффективности обеззараживания питьевых и сточных вод УФ-излучением». – М., 2005.