



Москва

Тел./Факс: **8 (800) 100-123-7** (Звонки по России бесплатно);

**+7 (495) 617-19 -45, -46, -47, -48; +7(499) 795-77-86**

E-mail: [svarog@svarog-uv.ru](mailto:svarog@svarog-uv.ru)

## **Ультрафиолетовое излучение для обеззараживания питьевой воды.**

*А. Н. Ульянов, Ген. директор ЗАО «Сварог», действительный член ВАНКБ*

Предлагаемые вниманию читателя статьи относятся к практической области применения ультрафиолетового излучения для обеззараживания питьевой воды.

Наиболее важным с нашей точки зрения является то, что минимальная рекомендуемая доза ультрафиолетового излучения, необходимая для инактивации патогенной микрофлоры, составляет  $40 \text{ мДж/см}^2$  при коэффициенте пропускания воды больше 85 % на 1 см.

В настоящее время на вводимых в эксплуатацию и проектируемых станциях обеззараживания воды в США, Канаде, Великобритании, Франции и т. д. доза ультрафиолетового излучения выбирается в интервале от 50 до  $100 \text{ мДж/см}^2$ . Это значительно удорожает процесс водоподготовки и ограничивает возможности применения ультрафиолетового излучения ламп низкого давления из-за их малой интенсивности. В обычной практике эти лампы (например марки TUV Philips) способны обеспечить до  $20 \text{ мДж/см}^2$ , что по современным требованиям к стерилизации явно мало. Нормативы облученности, используемые в России ( $16 \text{ мДж/см}^2$ ), на этом фоне вообще не выдерживают никакой критики при требованиях к прозрачности воды 70 %.

Поэтому большое внимание вызвало сообщение русских ученых на Международном конгрессе по ультрафиолетовым технологиям обеззараживания, который проходил в Вене в июле 2003 года, о новой технологии обеззараживания воды при одновременном воздействии на воду ультразвука и ультрафиолетового излучения.

Эта работа велась в течение ряда лет совместно с учеными ЮАР.

Эффективность инактивации патогенной микрофлоры при подобной технологии обеззараживания воды в сотни раз выше традиционной ультрафиолетовой технологии. При этом общие энергозатраты составляют до  $10 \text{ Вт/м}^3$  обрабатываемой воды (при себестоимости 0,04 долл. США /  $\text{м}^3$ ).

Технология обеззараживания воды показала свою энергоспособность на тысячах объектах в России и за рубежом. В целом мы считаем, что две представленные статьи правильно ориентируют специалистов по водоподготовке в выборе режимов применения дезинфектантов и ультрафиолетовых излучателей.

### **Основные требования при работе с системами ультрафиолетового излучения.**

Метод обеззараживания с использованием ультрафиолетового излучения доказал свою эффективность при дезактивации переносимых водой болезнетворных микроорганизмов и вирусов без ухудшения вкуса и запаха воды и без внесения в воду нежелательных побочных продуктов. Такой метод обеззараживания воды завоевывает популярность в качестве альтернативы или дополнения к традиционным средствам обеззараживания, таким как хлор, из-за своей безопасности, экономичности и эффективности.

Метод ультрафиолетового обеззараживания воды не обеспечивает полной дезинфекции остаточных загрязняющих веществ, поэтому в больших системах распределения он должен сочетаться с применением дополнительных средств обеззараживания.

## **Принцип действия ультрафиолетового излучения.**

Ультрафиолетовое обеззараживание выполняется при облучении находящихся в воде микроорганизмов ультрафиолетовым излучением определенной интенсивности в течение определенного периода времени. В результате такого облучения микроорганизмы «микробиологически» погибают, т. к. они теряют способность воспроизводства.

Ультрафиолетовое излучение, имеющее бактерицидную длину волны 260 нм или близкую длину волны, проникает сквозь стенку клетки переносимого водой микроорганизма и поглощается ДНК, называемой генетической цепочкой микроорганизма, в результате чего процесс воспроизводства микроорганизма прекращается.

Лишение микроорганизма способности воспроизводства обычно называется дезактивацией этого микроорганизма. Ультрафиолетовый свет с длиной волны 185 нм применяется для снижения концентрации полностью органического углерода (Total Organic Carbon - TOC).

### **Общие вопросы по установке ультрафиолетовой системы для обеззараживания питьевой воды.**

При оценке возможности установки ультрафиолетовой системы необходимо рассмотреть параметры воды и характеристики конкретного приложения. Важно выбрать параметры системы и произвести ее установку таким образом, чтобы при максимальном расходе воды обеспечивалась необходимая доза ультрафиолетового излучения.

В обычной ультрафиолетовой системе обработки питьевой воды в конце рекомендуемого производителем срока службы ультрафиолетовой лампы доза излучения составляет приблизительно 40 мДж/см<sup>2</sup>. Средний срок службы лампы лежит в пределах от 8 000 до 16 000 ч работы.

Каждая ультрафиолетовая система сконструирована для обработки в конце срока службы лампы (EOLL) максимального расхода воды при определенном значении коэффициента пропускания. Коэффициент пропускания отражает способность ультрафиолетового излучения проходить через воду на расстояние 1 см. Для обеззараживания воды рекомендуется применять ультрафиолетовый свет при значении коэффициента пропускания не ниже 85%. Для определения истинного воздействия ультрафиолетовой системы, кроме коэффициента пропускания, необходимо знание значения другого показателя - общего содержания в воде взвешенных твердых частиц (TSS).

Если взвешенные частицы не отфильтровываются, эффективность обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением снижается. Взвешенные частицы могут влиять на эффективность ультрафиолетовой системы, затеняя микроорганизмы, в результате чего микроорганизмы могут не получить необходимой дозы облучения.

Как правило, для систем питьевой воды рекомендуемая максимальная концентрация TSS составляет 1 мг на 1 л воды. Однако даже при нормальной эксплуатации кварцевый стакан загрязняется слоем биологического или химического материала, интенсивность которого зависит от общего количества растворенных в воде твердых веществ (TDS). Этот слой уменьшает способность ультрафиолетового света проникать в микроорганизмы.

Косвенное влияние TDS на качество воды выражается в снижении эффективности лампы при увеличении загрязнения кварцевого стакана, защищающего от воды ультрафиолетовую лампу.

Сравнение чистого и загрязненного кварцевых стаканов.



Кроме этого, на выходные параметры системы влияет температура воды. При превышении температуры воды значения  $27^{\circ}\text{C}$  воду следует охлаждать, а при снижении температуры ниже  $4^{\circ}\text{C}$  необходимо подогревать воду или устанавливать дополнительные лампы для компенсации снижения эффективности системы.

### **Характеристики ультрафиолетовой системы для обеззараживания питьевой воды.**

Для облегчения эксплуатации ультрафиолетовой системы по обеззараживанию питьевой воды может быть добавлено специальное оборудование для отслеживания, контроля и обслуживания базовой системы:

- ручной или автоматический механизм стеклоочистителя, служащий для очистки загрязнений на кварцевом стакане;
- ультрафиолетовый монитор, измеряющий интенсивность ультрафиолетовых ламп. Такие мониторы могут измерять выходную интенсивность ламп в абсолютных единицах  $\text{мДж}/\text{см}^2$ , или как относительную интенсивность в процентных значениях;
- автоматический соленоидный клапан, отключающий ультрафиолетовую систему в случае снижения дозы облучения из-за разбитой лампы или изменения качества воды.

### **Общие рекомендации при неполадках.**

Даже при выполнении всех требований по техническому обслуживанию могут возникнуть некоторые проблемы. В этих случаях перечень контрольных вопросов может помочь быстро найти нужное решение:

- Если ультрафиолетовый монитор обнаруживает снижение дозы облучения, рекомендуется вначале определить, заменялась (лись) ли лампа (ы) и чистился (лись) ли стакан (ы) с момента установки системы обеззараживания воды.
- Если выдерживался необходимый график технического обслуживания, производилась ли повторная калибровка ультрафиолетового монитора после установки новой лампы.
- Если ультрафиолетовый монитор был повторно откалиброван, очищался ли также датчик ультрафиолетового монитора от возможных загрязнений или биологических наслоений.
- Если линза датчика ультрафиолетового монитора очищалась во время текущего технического обслуживания лампы и кварцевого стакана, не изменились ли качество воды, значение коэффициента пропускания или температура воды.

Для ультрафиолетовых систем обеззараживания питьевой воды, требующих перерыв в работе не более часа, перед повторным включением можно не производить каких-либо дополнительных действий. Если для системы требуется более длительный период отключения или если она находится в резервном состоянии в течение недель или месяцев, рекомендуется перед повторным запуском обработать хлором линии распределения согласно требованиям по установке.

Если наблюдается продолжительное бактериальное загрязнение от недавно запущенной системы обеззараживания воды, следует выяснить, промывалась ли система перед запуском.

### **Общие предостережения и рекомендации.**

#### **- Не следует касаться пальцами устройства.**

Во время установки ультрафиолетовой системы обеззараживания воды нельзя касаться пальцами кварцевого стакана или ультрафиолетовой лампы. Жир на пальцах затрудняет передачу ультрафиолетового света от лампы. Он может также создать горячее пятно на лампе, которое увеличивает соляризацию лампы и резко уменьшает срок ее службы.



#### **- Необходимо защищать глаза.**

Для предотвращения попадания в глаза опасного ультрафиолетового излучения необходимо надевать защитные очки.

#### **- Необходимо промывать систему.**

После установки ультрафиолетовой системы обеззараживания воды следует промыть систему распределения воды химическими дезинфицирующими веществами, например, хлорной известью для удаления всех бактерий или загрязняющих веществ, которые имеются в линиях распределения.

#### **- Надлежащий уход.**

После установки ультрафиолетовой системы обеззараживания воды следует регулярно производить ее надлежащее техническое обслуживание. Кварцевые стаканы, ультрафиолетовые лампы и механизм очистителя следует заменять согласно рекомендациям производителя.

- Для обычной ультрафиолетовой системы обеззараживания воды низкого давления со стандартной выходной мощностью, используемой для приложений ROU и ROE, число циклов включений и выключений в течение дня не должно превышать четырех. Более частое включение и выключение может вызвать усиленный износ нитей накала ламп и, соответственно, сокращение срока службы.

- Рекомендуется применять ультрафиолетовые лампы с предварительным нагревом или устанавливать механизм временной задержки. Обе возможности позволяют достичь максимальной температуры, при которой обеспечивается максимальная эффективность системы перед началом водообработки системой.

Ультрафиолетовые лампы необходимо заменять каждые 8 — 9 тыс. часов для лучшей их работы.

## **Заключение.**

Ультрафиолетовые системы обеззараживания воды обеспечивают безопасный, эффективный и недорогой метод дезинфекции. Простейший базовый вариант системы, оснащенный необходимыми системами измерения и управления, предоставляет пользователю возможности для удобной эксплуатации и несложного технического обслуживания.

Специалисты по водообработке должны иметь общие представления о дезинфекции при помощи ультрафиолетового излучения, а также о способах эксплуатации и технического обслуживания ультрафиолетовых систем. В свою очередь, дилеры должны обучать своих клиентов правильному обращению и использованию систем для обеспечения чистой питьевой воды.

### **Удаление остатков хлора и хлорамина при помощи ультрафиолетового излучения.**

Ультрафиолетовый свет лежит в основе мощной технологии, которая уже в течение многих десятилетий успешно применяется во многих отраслях промышленности, таких как фармацевтика, полупроводниковая промышленность, производство электроэнергии, пищевая и косметическая промышленности, аквакультура, здравоохранение.

Наряду с тем, что мощная энергия ультрафиолетового излучения традиционно используется в таких приложениях, как дезинфекция, уничтожение озона, уменьшение ТОС, в последнее время было разработано приложение по использованию ультрафиолетовой технологии для уничтожения остатков хлора и / или хлорамина.

### **Наука химических присадок.**

Для обеззараживания воды в основном используется хлор в газообразном состоянии. Он соединяется с молекулами воды и образует хлорноватистую кислоту (НОСІ), ионы  $H^+$  и ионы хлора. НОСІ распадается на  $H^+$  и ионы ОСІ (гипохлорида).

Хлорноватистая кислота вместе с ионами гипохлорида называется свободным хлором.

При реакции хлора с аммиаком, присутствующим в воде, образуется хлорамин, который так же, как и хлор, имеет биоцидные свойства. Имеется три разновидности хлорамина: монохлорамин, дихлорамин и трихлорамин. Для дезинфекции воды в основном применяется монохлорамин. Концентрация различных разновидностей хлорамина зависит в основном от уровня рН воды.

Наряду с тем, что хлор или хлорамин позволяют очень хорошо контролировать бактериальный уровень, эти агенты приносят и некоторые проблемы. Внесение хлора, будучи разновидностью химической обработки, вызывает изменения химического состава, вкуса и запаха воды, что крайне нежелательно для большинства отраслей промышленности. Кроме того, серьезным недостатком применения хлора является возможность появления канцерогенных побочных продуктов или трехгалогензамещенного метана (ТНМ), образующихся, когда остаточный хлор реагирует с органическими смесями, присутствующими в воде.

### **Удаление хлора.**

В обычных системах водоснабжения остаточный хлор обычно удаляется слоем активированного угля или внесением химических веществ, например метабисульфита натрия. Слой активированного угля адсорбирует остаточный хлор и преобразует его в молекулы соляной кислоты и углекислого газа. В случае хлорамина побочными продуктами реакции адсорбции активированным углем являются аммиак и соляная кислота. Механизм действия метабисульфита натрия более сложен. Вначале из метабисульфита натрия образуются ионы сульфита. Затем эти ионы разлагают хлор и хлорамин на сульфат, аммиак и соляную кислоту.

Эти методы имеют определенные внутренние недостатки. Использование метабисульфита натрия означает применение одного химиката для удаления другого, поэтому слой активированного угля может служить питомником для бактерий. Кроме того, дехлорирование слоев активированного угля не обеспечивает полного удаления хлора.

Так как слой активированного угля благодаря адсорбции может одновременно снизить уровень органических примесей, присутствующих в потоке воды, эти органические примеси могут служить в качестве питательного состава для размножения бактерий, тем самым еще более усугубляя проблему.

Наконец, метабисульфит натрия нейтрализует хлор, но он может разлагаться и образовывать сульфат натрия, способствующих развитию уничтожающих сульфат бактерий (SRB).

### **Применение ультрафиолетового излучения.**

Исследования показали, что остатки свободного хлора с концентрацией более 1.0 на миллион и остатки хлорамина с концентрацией более 2.0 на миллион могут успешно уничтожаться ультрафиолетовым излучением.

Обычными побочными продуктами реакции разрушения хлора (в присутствии молекул воды и при воздействии ультрафиолетового света) являются соляная кислота и разновидности гидроксила (последние помогают в разложении некоторых органических смесей в воде). Обычными побочными продуктами реакции разрушения хлорамина (в присутствии молекул воды и при воздействии ультрафиолетового света) являются соляная кислота, нашатырь и различные разновидности нитратов. Реакции разрушения свободного хлора и хлорамина удовлетворяют условиям кинетики первого порядка.

Минимально необходимая доза облучения ультрафиолетовым светом зависит от следующих переменных:

- качество воды (рН, TSS, TDS, мутность, наличие солей металлов (железа, марганца), ТОС / цвет, жесткость и т.д.);
- расход;
- концентрация остаточного свободного хлора / хлорамина.

### **Ультрафиолетовое оборудование.**

Основу обычного ультрафиолетового модуля составляет цилиндрическая камера, содержащая ультрафиолетовые лампы, заключенные в кварцевые стаканы, поверх которых протекает вода. Оптимальная конфигурация ламп внутри камеры позволяет обеспечить облучение ультрафиолетовым светом каждую часть цилиндра камеры. Лампы надежно крепятся ламповыми фиксаторами.

Подключение воды, протекающей вдоль цилиндра, осуществляется при помощи впускного и выпускного соединений (фланцы стандарта ANSI или тройные зажимы).

В течение короткого периода времени протекания воды в цилиндре вещества, загрязняющие воду (бактерии, ТОС, озон, хлор или хлорамина) подвергаются воздействию ультрафиолетового излучения, испускаемого лампами. В результате эти вещества разрушаются, и вода становится чище.



УФ-модуль состоит из цилиндрической камеры с УФ-лампами, заключенными в кварцевые стаканы

Питание ламп осуществляется от балластной схемы, являющейся существенной компонентой ультрафиолетового модуля. Эта схема увеличивает входное напряжение до уровня, при котором возникает электрическая дуга и зажигаются лампы. Балластная схема также продлевает срок службы ламп.

Интенсивность излучения ламп со временем падает, поэтому для большей эффективности модуля они должны заменяться каждые 8000 - 9000 ч.

### **Общие сведения об ультрафиолетовом свете.**

Ультрафиолетовый свет расположен в электромагнитном спектре между видимым светом и рентгеновскими лучами. Ультрафиолетовая область занимает в электромагнитном спектре диапазон от 400 до 100 нм. Кроме этого, этот диапазон подразделяется еще на четыре поддиапазона:

- Ультрафиолет - А (длинноволновый Ультрафиолет) - 315-400 нм;
- Ультрафиолет - В (средневолновый Ультрафиолет) - 280-315 нм;
- Ультрафиолет - С (коротковолновый Ультрафиолет) - 200-280 нм;
- вакуумный Ультрафиолет - 100-200 нм.

Для водообработки применяется ультрафиолет с двумя длинами волн - 254 и 185 нм.

Свет с длиной волны 254 нм ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м} = 10^{-10} \text{ А}$ ), называемый также бактерицидным светом из-за его способности убивать микроорганизмы, применяется для дезинфекции и уничтожения озона. Он проникает через внешнюю стенку клетки микроорганизма в тело клетки и изменяет генетический материал дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК).

Таким образом, микроорганизмы уничтожаются нехимическим способом.

Кроме этого, ультрафиолетовый свет может разрушать остаточный озон, присутствующий в потоке воды.

Ультрафиолетовый свет длиной 185 нм, используемый для уменьшения ТОС, разлагает органические молекулы. Излучение длиной 185 нм имеет большую энергию, чем излучение длиной 254 нм, и оно формирует из молекул воды свободные радикалы гидроксила (ОН).