



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)

## **Дезинфекция питьевой воды ультрафиолетовым излучением и приготавливаемым монохлораминном.**

*Ульф Эрикссон - инженер-исследователь;*

*Инга Нордвалл - химик лаборатории Stockholm Vatten AB, водопроводная станция Lovo;*

### **Установка ультрафиолетового излучения на водопроводной станции в Lovo и ее влияние на характеристики сети водоснабжения.**

#### **АННОТАЦИЯ.**

Компания Stockholm Water имеет две водопроводные станции, в Lovo и в Norsborg, снабжающие водой около миллиона людей в районе Стокгольма. На одной из двух производственных линий водопроводной станции в Lovo, на которой ранее применялось обычное хлорирование (последовательное добавление сульфата аммония и гипохлорита натрия), была введена ультрафиолетовая дезинфекционная установка и внедрено добавление приготавливаемого монохлорамина. Одной из причин использования ультрафиолетового излучения и приготавливаемого монохлорамина было стремление достичь более эффективной дезинфекции воды. Другой важной причиной было то, что хлорирование воды с повышенным содержанием гумуса приводит к образованию хлорсодержащих побочных продуктов и биологических разлагающихся органических веществ (АОС).

Ультрафиолетовая установка состоит из двух модулей низкого давления Wedeco ряда K, каждый производительностью 3000 м<sup>3</sup>/ч. Каждый модуль имеет 108 ламп. Несмотря на большое количество ламп, мы обнаружили, что техника низкого давления более экономична из-за того, что она потребляет меньшее количество энергии. Перед принятием решения о внедрении этой технологии на другой производственной линии и на других водопроводных станциях была запущена большая программа взятия проб и анализа воды для выявления влияния новой стратегии дезинфекции воды. У нас были хорошие возможности исследовать влияние изменения стратегии дезинфекции воды, т. к. на водопроводной станции в Lovo на новую технологию была переведена только одна из двух линий, а на другой продолжалось применение обычного хлорирования воды. Кроме прочего, эти две линии поставляют воду в разные сегменты водопроводной сети. Бактериальные тесты были сконцентрированы в основном вокруг подсчета количества гетеротрофных пластин (НРС). Было установлено, что снижение НРС в ультрафиолетовых установках эквивалентно трем единицам логарифмической шкалы. Однако величина НРС быстро растет в трубах и емкостях непосредственно за ультрафиолетовой установкой. Испытания показали, что комбинация ультрафиолетовой дезинфекции и добавления приготавливаемого хлорамина не приводит к образованию заметного количества ТНМ.

## **ВВЕДЕНИЕ.**

В Швеции предприятия по обработке поверхностных вод составляют только около 10% общего количества предприятий водоснабжения, но они снабжают водой около 50% населения. В качестве средства дезинфекции питьевой воды обычно используется хлор, и хлорирование является наиболее частым методом дезинфекции воды, применяемым в Швеции. Грунтовые воды подаются обычно без предварительной обработки, но иногда они обрабатываются ультрафиолетовым излучением.

В Швеции эксплуатируется около тысячи ультрафиолетовых установок, работающих на водопроводных станциях и в системах водоснабжения. Основными деталями таких ультрафиолетовых установок являются лампы низкого давления для обработки поверхностных и грунтовых вод. В последние годы большое внимание уделяется альтернативным методам, не использующим хлорирование. На крупных водопроводных станциях и других предприятиях водоснабжения, ведущих обработку поверхностных вод, предпочтение чаще всего отдается ультрафиолетовой дезинфекции воды.

## **СТРАТЕГИЯ ДЕЗИНФЕКЦИИ ВОДЫ.**

На водопроводной станции Lovo хлорирование в качестве метода дезинфекции применяется с 1943 г. Вначале для этого применялись газообразный аммиак, газообразный хлор, которые потом были заменены на сульфат аммония и гипохлорит натрия. Обычно применяется дозировка 0,5 мг/л. Зимой, при температуре воды ниже 5 °С, дозировка хлора понижается до 0,4 мг/л.

После установки значения параметра рН в воду добавляется сперва сульфат аммония, а затем - гипохлорит. Это выполняется непосредственно перед подачей воды в контактную емкость с хлором, в которой она находится 45-60 минут. Сульфат аммония добавляется таким образом, чтобы обеспечивалась внутренняя концентрация хлора 0,2 мг/л. Концентрация остаточного хлора в форме хлорамина в воде, подаваемой в сеть водоснабжения, должна составлять 0,3 мг/л (0,2 зимой).

Присутствие свободного хлора, в результате которого обеспечивается содержание хлора в воде, важно для получения достаточного эффекта дезинфекции воды, но оно приводит также к образованию побочных продуктов хлорирования, таких как АОХ и ТНМ, т. к. наша вода имеет сравнительно высокое содержание органических веществ (гумусовой кислоты). При использовании хлорамина содержание побочных продуктов может поддерживаться на достаточно низком уровне. Например, при обычном хлорировании содержание ТНМ обычно составляет около 4 мкг/л.

Хотя уровень побочных продуктов процесса дезинфекции воды сравнительно низок, применение хлора и присутствие ТНМ и других побочных продуктов вызывает большие вопросы, и дискуссии по этому поводу, вероятно, будут продолжаться. Кроме влияния на здоровье людей и на степень доверия потребителей, применение хлора имеет также экологический аспект. Например, значительная часть содержания АОХ в осадке сточных вод является результатом хлорирования питьевой воды. Еще одним недостатком использования свободного хлора в процессе дезинфекции воды является образование биологических разлагающихся органических веществ (ВООС или АОС).

Эти проблемы с хлорированием, а также желание обеспечить более эффективную и безопасную дезинфекцию воды привели к росту интереса к системам ультрафиолетовой дезинфекции воды, особенно в комбинации с приготавливаемым хлорамином.

## **ОПЫТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ.**

Переход на новые системы дезинфекции воды начался в 1998-1999 гг., когда появились первые литературные обзоры и были проведены первые эксперименты с ультрафиолетовыми установками дезинфекции воды. Приблизительно в то же время был произведен и испытан в лаборатории приготавливаемый хлорамин.

Эти опытные испытания привели к следующим важным результатам:

Дозировка (плотность потока) ультрафиолетового излучения, равная 200 Дж/м<sup>2</sup>, достаточна для наших целей и дает значительно лучшие результаты дезинфекции воды, чем обычное хлорирование. При такой дозировке обеспечивается сокращение гетеротрофных бактерий, соответствующее 2,5 единицам логарифмической шкалы, по сравнению с одной единицей при хлорировании.

Мы фактически не имели проблем с осадком, загрязнение кварцевых стаканов было незначительным даже после года эксплуатации.

Для некоторого оборудования были отмечены проблемы, связанные с низкой температурой воды в зимнее время (до 1,5 °С).

Ультрафиолетовая дезинфекция воды, в том числе в комбинации с приготавливаемым хлораминном, не вызывает заметного образования биологических разлагающихся углеродных образований в форме АОС, в то время как при обычном хлорировании воды содержание АОС увеличивается почти на 100%.

- Приготавливаемый хлорамин оказывает небольшой непосредственный дезинфицирующий эффект, но он предотвращает повторное размножение бактерий в воде, продезинфицированной ультрафиолетовым излучением.
- При дозировках, применявшихся при испытаниях, приготавливаемый хлорамин не образовывал заметного количества ТНМ.

## **ПОЛНОМАСШТАБНАЯ УСТАНОВКА УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ.**

После получения положительных результатов экспериментальных испытаний мы приняли решение начать полномасштабную установку ультрафиолетового оборудования на предприятии в Lovo. На водопроводной станции в Lovo ультрафиолетовое оборудование было установлено на одной из двух производственных линий, а перед принятием решения об установке такого оборудования на второй линии и на другой водопроводной станции в г. Norsborg необходимо провести тщательный анализ результатов работы на первой линии.

## **УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ СИСТЕМА КОМПАНИИ WEDESCO.**

Для дезинфекции подаваемой с высоким расходом питьевой воды компания Wedesco разработала ряд К - систем обработки ультрафиолетовым излучением. Это системы со множеством ламп, с установленными в линию реакторами с лампами, расположенными поперек направлению потока. На водопроводной станции в Lovo была установлена система К 4500, некоторые технические данные которой представлены в **табл. 1**. Аналогичные системы ряда К были недавно установлены на водопроводной станции в г. Горвалн к северу от Стокгольма, на которой также используются поверхностные воды из озера Маларен.

<b>Технические параметры</b>	<b>К 4500</b>
<b>Количество модулей</b>	<b>2</b>
<b>Расчетный расход</b>	<b>6000 м<sup>3</sup>/ч (3000 м<sup>3</sup>/ч на один модуль)</b>
<b>Эффективная дозировка ультрафиолетового излучения (плотность потока)</b>	<b>200 Дж/м<sup>2</sup></b>
<b>Общее количество ламп</b>	<b>216</b>
<b>Количество ламп на один модуль</b>	<b>108 (12 рядов по 9 ламп)</b>
<b>Количество ультрафиолетовых датчиков на один модуль</b>	<b>6 (по одному в двух рядах)</b>
<b>Ультрафиолетовая лампа</b>	<b>лампа СРЕКТРОТHERM ртутная лампа низкого давления 170 Вт ультрафиолетовое излучение 254 нм, 64 Вт</b>

**Таблица 1.** Технические параметры системы К 4500.

Так как на вход ультрафиолетовых модулей подается вода, имеющая высокое бактериологическое качество и поступающая из безопасного источника, мы решили использовать излучение с дозировкой (плотностью потока) 200 Дж/м<sup>2</sup>. Мы также учитывали, что при более высокой дозировке излучение будет отрицательным образом сказываться на содержании включений гумуса в воде.

Два ультрафиолетовых модуля в Lovo были установлены на свободное место между входными трубами из песочных фильтров медленной фильтрации и уже имеющейся контактной емкостью с хлором. Так как пространство для установки было ограничено, каждый из ультрафиолетовых модулей должен был быть построен из четырех блоков, объединенных при помощи фланцевых соединений.

Ультрафиолетовые модули были установлены в августе - сентябре 2001 г. Требования по производительности этих модулей, указанные в тендерной документации, включали в себя:

- проведение испытания на инактивацию природных гетеротрофных бактерий (должно обеспечиваться сокращение содержания, эквивалентное 2,5 единицам логарифмической шкалы при использовании нашего модифицированного метода подсчета НРС в течение двух дней);
- заданное потребление энергии при обычном (3000 м<sup>3</sup>/с ) и максимальном (6000 м<sup>3</sup>/с) режиме производства питьевой воды;
- падение гидростатического напора максимум 0,15 бар при расходе 6000 м<sup>3</sup>/с.

Ультрафиолетовые модули были запущены в работу в октябре 2001 г., но до сентября 2002 г. вместе с облучением ультрафиолетовым излучением использовалось также обычное хлорирование воды.

### **ПРОИЗВОДСТВО ПРИГОТОВЛЯЕМОГО ХЛОРАМИНА.**

Приготавливаемый хлорамин вырабатывается при реакции гипохлорита натрия и сульфата аммония. Для получения монохлорамина и обеспечения стабильности раствора хлорамина важны такие параметры как значение показателя рН и концентрация раствора.

Наши производственные мощности рассчитаны на производство хлорамина для полного обеспечения обеих производственных линий водопроводной станции. Те же самые гипохлорит и сульфат аммония используются для обычного хлорирования. Для получения необходимого значения показателя рН используется каустическая сода.

Вырабатываемый раствор хлорамина содержит около 1 г  $\text{Cl}_2$  на 1 л и имеет значение показателя рН от 9 до 10. Для обработки питьевой воды используются дозировки хлорамина порядка 0,2-0,3 г  $\text{Cl}_2$  на 1 м<sup>3</sup> для поддержания содержания остаточного хлора на таком же уровне, что и при обычном хлорировании воды.

## **ВОДОПРОВОДНАЯ СТАНЦИЯ И ТРУБОПРОВОДНАЯ СИСТЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ.**

После песочных фильтров медленной фильтрации оборудование водопроводной станции Lovo разделяется на две отдельные производственные линии - дезинфекции воды и регулирования значения показателя рН. Каждая из производственных линий имеет максимальную производительность 6000 м<sup>3</sup>/ч и производительность в обычном режиме 3000 м<sup>3</sup>/ч. Одна из линий была приспособлена для обработки воды ультрафиолетовым излучением и приготавливаемым хлорамином, а другая продолжает обработку обычным хлорированием.

Значительная часть воды, вырабатываемой производственными линиями, поставляется в различные зоны сети водоснабжения. Это дало нам возможность сравнить два метода дезинфекции воды. Зону, получающую в основном воду, дезинфицированную при помощи ультрафиолетового излучения, будем называть в дальнейшем «зоной Hasselby», а опорную зону, в которую подается вода, прошедшая обычное хлорирование, будем называть «зоной Nockeby». Обычно происходит некоторое смешивание воды из двух зон, в зависимости от того, какие насосы используются для перекачивания в них воды. Но обычно в каждой зоне количество воды, пришедшей из другой производственной линии, гораздо ниже 20%.

Кроме обычной процедуры проверки, включающей отбор проб и выполнение анализов в сети водоснабжения, в соответствующих зонах водоснабжения были выбраны четыре точки для взятия дополнительных проб. Эти точки расположены на разных расстояниях от водопроводной станции (или «возраста» воды). Кроме того, брались пробы в месте выхода из водопроводной станции и подачи ее в две указанные зоны водоснабжения.

Для оценки метода дезинфекции воды один из аспирантов Шведского института борьбы с инфекционными болезнями специально рассматривал интенсивность образования и роста биопленки в сети водоснабжения. В рамках этого исследования идентифицировались виды бактерий, присутствующие в воде и биопленке.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ.**

В настоящее время мы находимся все еще на начальных стадиях исследований, поэтому представляемые результаты и выводы часто могут рассматриваться только как предварительные.

## **ПРИЕМОСДАТОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ.**

При приемосдаточных испытаниях в октябре 2001 г. система ультрафиолетовой обработки прошла большинство тестов, но наиболее важные испытания на бактериологическую инактивацию закончились неудачно. Было предположено, что причиной неожиданно малого снижения содержания бактерий является неверная схема потока воды, которая, в свою очередь, обуславливается наличием поворотов труб на 90<sup>0</sup> перед реакторами.

После установки на входе реакторов отражателей была выполнена новая серия испытаний на инактивацию, и в этом случае установка успешно прошла испытания. Снижение содержания бактерий составляло от 2,6 до 3,1 единиц логарифмической шкалы.

### БАКТЕРИЦИДНОЕ КАЧЕСТВО ВОДЫ НА ВОДОПРОВОДНОЙ СТАНЦИИ.

Зная, что применяемая у нас дезинфекция воды при помощи ультрафиолетовой установки гораздо более эффективна в снижении содержания бактерий НРС, чем дезинфекция воды обычным хлорированием, мы были поражены небольшой разницей в содержании НРС на выходе обеих производственных линий. Для выяснения причин этого явления мы взяли пробы в разных местах производственных линий, и результаты анализа этих проб представлены в табл. 2 и 3. Как можно видеть из этих таблиц, за установкой ультрафиолетового потока излучения наблюдается значительное снижение содержания НРС, но затем величина этого показателя растет. Вероятно, это можно объяснить попаданием в систему бактерий из биопленки, но в любом случае, рост количества бактерий удивительно высок, поэтому здесь необходимы дальнейшие исследования.

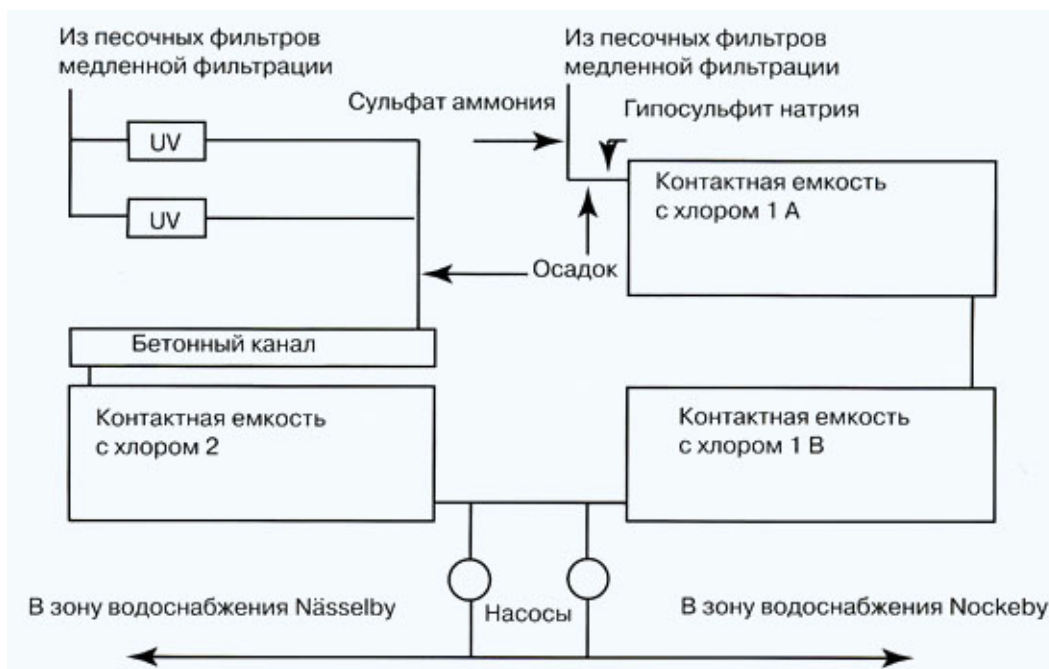


Рис.1. Две производственные линии после песочных фильтров медленной фильтрации на водопроводной станции в Lovo, со ступенью дезинфекции и насосами водоснабжения.

Дата	Перед установкой ультрафиолетового излучения	После установки ультрафиолетового излучения	Перед емкостью 2	После емкости 2	В линии подачи воды в зону Hasselby
25.11.02	7830	10	55	440	820
18.02.03	11400	11	55	710	1250
08.04.03	12200	6		480	1040

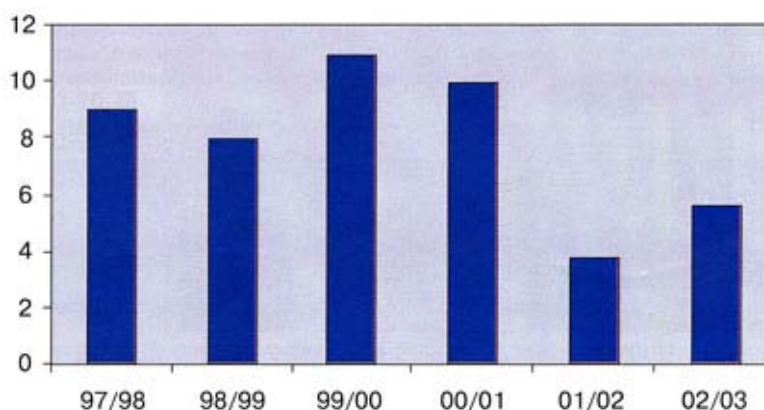
Таблица 2. Анализ НРС (CFU/л) в различных местах взятия проб в производственной линии с дезинфекцией воды ультрафиолетовым излучением (соответствующие места в системе можно видеть на рис.1).

Дата	Поток из фильтров	После емкости 1 А	После емкости 1 В	В линии подачи воды в зону Nockeby
25.11.02				
18.02.03	8800	1770	1380	1620
08.04.03	9270		1050	1140

**Таблица 3.** Анализ НРС (CFU/л) в различных местах взятия проб в производственной линии с дезинфекцией воды обычным хлорированием (соответствующие места в системе можно видеть на рис. 1)

### БАКТЕРИЦИДНОЕ КАЧЕСТВО ВОДЫ В СЕТИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ.

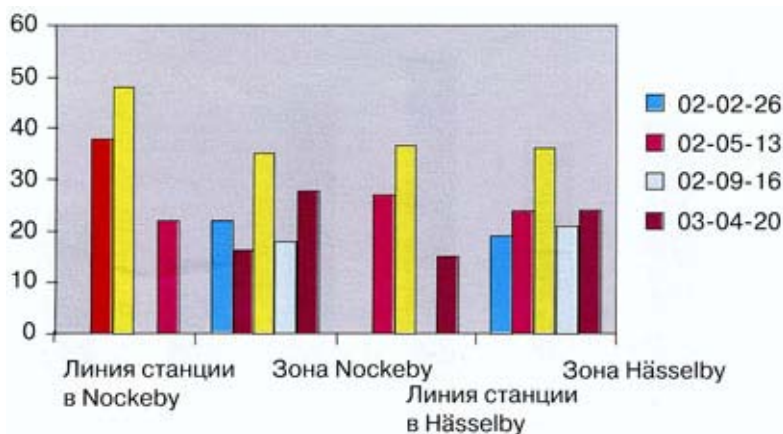
Комбинация обработки ультрафиолетом и приготавливаемого хлорамина используется в производственной линии для зоны Hasselby уже в течение семи месяцев (с 10.09.02 по 10.05.03). В течение этого периода в линии подачи воды для зоны Hasselby было взято 35 проб, которые после семидневной выдержки анализировались на содержание НРС в ходе обычной программы контроля качества воды. Полученные значения сравнивались с результатами анализов из той же зоны, проводившихся в течение семи месяцев в предыдущие годы (рис. 2). В 2001-2002 гг., наряду с обычным хлорированием, использовалась дезинфекция воды ультрафиолетом. Было выявлено, что с момента ввода в эксплуатацию установки ультрафиолетовой дезинфекции воды содержание НРС уменьшилось, но пока еще слишком рано делать какие-либо выводы на основании этих ограниченных данных.



**Рис. 2.** Средние значения НРС (CFU / мл) после семидневной выдержки для восьмимесячного периода с 10.09.02 по 10.05.03, полученные для проб, взятых из линии подачи воды в зону Hasselby в ходе обычной программы контроля качества воды.

### АОС.

Ранее было показано, что при обычном хлорировании благодаря окислению частиц гумуса вырабатывается АОС, а при использовании приготавливаемого хлорамина этого не происходит. Это было также показано в наших экспериментальных испытаниях. При работе в полномасштабном режиме данные, кажется, подтверждаются для воды на выходе из водопроводной станции. Однако большой разницы в соответствующих показателях для двух зон водоснабжения не наблюдается (см. рис. 3).



**Рис. 3.** Показатель АОС в воде на выходе водопроводной станции и его среднее значение в соответствующих зонах водоснабжения.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Когда мы переоборудовали нашу станцию с обычного хлорирования воды на обработку ультрафиолетовым излучением и приготавливаемым хлорамином, то надеялись достичь следующих трех преимуществ:

- снижения образования хлорсодержащих органических побочных продуктов;
- более надежной и эффективной дезинфекции воды;
- менее интенсивного повторного роста бактерий в системе водоснабжения благодаря более низкому уровню АОС.

Как было показано выше, мы достигли первых двух указанных целей. Что касается третьей цели, мы можем утверждать, что при использовании ультрафиолетовой обработки и приготавливаемого хлорамина мы можем снизить уровень АОС на водопроводной станции, но если указанные выше ограниченные данные, которыми мы располагаем, являются верными, далее по сети водоснабжения для разных зон между уровнями АОС нет большого различия.

Такая разница в уровнях АОС на водопроводной станции и в сети водоснабжения может быть, вероятно, объяснена ассимиляцией АОС микроорганизмами, находящимися в воде и биопленке, образующими определенный баланс уровня АОС. Опасность повторного роста бактерий в тех зонах сети водоснабжения, в которых концентрация остаточного хлора низка, вероятно, одинаково высока для обоих методов дезинфекции воды. Однако при использовании ультрафиолетовой обработки и приготавливаемого хлорамина опасность роста патогенных бактерий, вероятно, снижается благодаря более эффективной дезинфекции воды и созданию более эффективного барьера для защиты сети водоснабжения от проникновения патогенных веществ.

**Научное редактирование выполнено:**

**Ген. директором ЗАО «Сварог», действительный член ВАНКБ А.Н. Ульяновым**