

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
(институт)

Кафедра «Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение»

08.04.01 «Строительство»  
(код и наименование направления подготовки)

«Водоснабжение городов и промышленных предприятий»  
(направленность (профиль))

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

на тему «Достоинства и недостатки обеззараживания природной воды  
методом ультрафиолетового облучения»

Студент	<u>М.В. Дятлов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Научный руководитель	<u>В.А. Селезнев</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	_____	_____	(личная подпись)
	_____	_____	(личная подпись)

Руководитель программы к.т.н., доцент В.М. Филенков \_\_\_\_\_  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия ) (личная подпись)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент М.Н. Кучеренко \_\_\_\_\_  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия ) (личная подпись)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ МЕТОДОМ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ .....	7
1.1 Обеззараживание питьевой воды .....	7
1.2 Терминология .....	12
1.3 Обеззараживание ультрафиолетовым излучением.....	13
1.4 Действие УФИ на ДНК и РНК.....	19
1.5 Принципы расчета.....	21
1.5.1 Биологический тест «Биопроба» .....	21
1.5.2 Усредненный расчет дозы УФИ.....	24
1.5.3 Дискретный расчет дозы УФИ .....	25
1.6 Типы реакторов .....	27
1.6.1 Реакторы для обработки питьевой воды .....	29
1.6.2 Реакторы для обработки промышленных вод .....	31
1.6.3 Устройства контроля и регулирования.....	32
1.7 Системы очистки УФ установок .....	33
1.7.1 Загрязнение кварцевых защитных стёкол и системы очистки.....	33
1.7.2 Оценка систем очистки УФ установок .....	35
1.8 Ультрафиолет + ультразвук .....	38
1.8.1 Ультразвуковая кавитация .....	38
1.8.2 Обеззараживание питьевой воды и сточных вод ультрафиолетовым излучением и ультразвуком .....	41
1.8.3 Эффект воздействия ультразвуковых волн на формирование биоплёнки .....	46
1.9 Выводы по 1 главе.....	49
2 Существующие системы водоподготовки с УФ обеззараживанием .....	51
2.1 ООО «Автоград-Водоканал» .....	51
2.2 УФ-обеззараживание в системе водоснабжения города Череповца.....	53
2.3 УФ-обеззараживание в системе водоснабжения города Новосибирска ....	57

2.4	Водоподготовка на Слудинской водопроводной станции в городе Нижний Новгород .....	60
2.5	Выводы по 2 главе.....	72
3	Совершенствование систем водоподготовки .....	74
3.1	Интенсификация процесса обеззараживания воды технологией совмещения ультрафиолета и ультразвука.....	74
3.2	Выводы по 3 главе.....	84
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	85
	Список использованных источников .....	86

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность.** Мы живем на планете Земля. Нуждаемся в пополнении запасов энергии, путем пропитания. Развиваемся. И мы знаем, что неотъемлемая часть жизнедеятельности населения нашей планеты – это ее загрязнение. Биологическое загрязнение является одним из наиболее распространенных и опасных загрязнений водных ресурсов. В добавок, нас окружает еще очень большое многообразие организмов, от малых до великих. Так, вода, которая настолько нам необходима, может быть заражена различными видами микроорганизмов. Конечно же ясно, что загрязненная вода не годится в употребление. И несомненно, без снабжения чистой питьевой водой, здоровье людей и их благополучие будет под угрозой.

Поэтому во многих развивающихся странах, отсутствие чистой питьевой воды будет являться одной из самых актуальных и непростых жизненных проблем.

Требования по соответствию различным параметрам качества воды периодически обновляются и ужесточаются, внося нюанс развития в технологическом плане для систем очистки воды и рекомендации для станций водоподготовки в целом. А также стоит не забывать о влиянии таких новых требований на технико-экономические показатели эксплуатируемых систем водоподготовки, или только проектируемых, откуда встает вопрос об адаптации к современным рыночным условиям.

**Цель работы:** Совершенствование систем водоподготовки с обеззараживанием воды методом ультрафиолетового облучения.

### **Задачи:**

- изучение данных о принципе воздействия ультрафиолетового излучения и самом воздействии обеззараживания ультрафиолетового излучения на микроорганизмы, находящиеся в воде, и являющиеся источником загрязнения;
- изучение данных о существующих в настоящий момент проблемах при очистке воды путем ультрафиолетового облучения;

- сбор, систематизация, анализ уже известных данных и результатов различных исследований, экспериментов по обеззараживанию воды методом ультрафиолетового облучения;
- внести предложения по совершенствованию систем водоподготовки с обеззараживанием воды методом ультрафиолетового облучения;

**Методы исследования:** в данной диссертационной работе были использованы такие методы исследования, как аналитический, статистический, и так называемый метод экспертных оценок, а также был произведен анализ нормативно-технической базы документации.

**Научная новизна диссертации** состоит в том, что в ходе работы были проанализированы различные схем и способы водоподготовки обеззараживания воды, в том числе и методом ультрафиолетового облучения, и технологией совместного воздействия ультрафиолета и ультразвука, в результате с учетом современных требований по технико-экономическим показателям предложен вариант совершенствования и оптимизации системы водоподготовки с обеззараживанием воды методом ультрафиолетового облучения.

**Практическая значимость** диссертационной работы заключается в том, что в ней изложены варианты усовершенствования, которые приведут к повышению уровня эксплуатации системы водоподготовки с обеззараживанием воды методом ультрафиолетового облучения, а также качества очистки воды этой системой.

**Апробация работы:** основные положения работы изложены в двух публикациях:

1. Дятлов М.В., Селезнев В.А. Обеззараживание воды методом ультрафиолетового облучения. В сборнике статей VI Международной научно-практической конференции «Природноресурсный потенциал, экология и устойчивое развитие регионов России». – Пенза, МНИЦ, 2017.

2. Дятлов М.В. Интенсификация процесса обеззараживания воды технологией совмещения уф и ультразвука. – В сборнике: Города России:

проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии. – Пенза, МНИЦ, 2017.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав, выводов по главам, заключения, библиографии из 70 источников. Общий объем работы 90 страниц машинописного текста, включая 31 иллюстрацию, 9 таблиц.

# **1 ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ МЕТОДОМ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ**

## **1.1 Обеззараживание питьевой воды**

Обеззараживание воды в системах питьевого водоснабжения имеет весьма важное значение в связи с тем, что это последний барьер на пути возможной передачи болезнетворных микроорганизмов через воду потребителю. Обеззараживание защищает питьевую воду от внешнего загрязнения и вторичного роста микроорганизмов при транспортировании воды по водопроводным сетям.

Сам принцип и понятие процесса обеззараживания заключается в уничтожении различных вирусов, микроорганизмов, бактерий, и т.п., содержащихся в воде, и которые могут негативно воздействовать на организм человека. Эффективность обеззараживания воды зависит от концентрации и вида микробиологических загрязнений, их устойчивости к используемым обеззараживающим реагентам, качества исходной воды и технологии ее обработки.

Обеззараживание питьевой воды может происходить разными методами. По способу воздействия на микроорганизмы различают: химические (реагентные), физические (безреагентные), и комбинированные. В случае реагентного метода нужный эффект обеззараживания достигается воздействием на воду химическими соединениями. В другом случае, безреагентном, на воду производится физическое воздействие. Ну а при комплексном методе, логично что, вода обрабатывается одновременно как химически, так и физически.

Обработку воды такими окислителями как хлор, озон, относят к химическому методу обеззараживания. А воздействие на воду ультрафиолетовым или ультразвуковым облучением, будет относиться к физическому методу. Обычно, перед обеззараживанием вода проходит через фильтры или же очистку коагуляцией, где удалится большая часть микроорганизмов и взвешенных веществ, что в ней могут содержаться.

Используя химический метод обеззараживания нужно знать меру. Необходимо правильно и точно подбирать дозу реагентов, а также время их контакта с водой для получения требуемого эффекта обеззараживания. Узнать какая доза реагента требуется можно с помощью расчетов, или же подбирается пробными обеззараживаниями. Стоит учитывать запас обеззараживающего эффекта питьевой воды, для чего при химическом методе расчет делают с небольшим избытком (остаточный хлор, например). Тем самым давая гарантию на некоторое время от микроорганизмов, попадающих в воду уже после обеззараживания.

При физическом методе к единице объема обрабатываемой воды подводится необходимое количество энергии, находящееся из умножения интенсивности воздействия на время воздействия.

При дозах, обеспечивающих одинаковый эффект обеззараживания по коли-индексу, воздействие ультрафиолетового излучения на вирусы значительно сильнее, чем у хлора. Озонирование же по данному фактору практически не уступает ультрафиолетовому облучению.

Хлорирование самым популярный из химических методов обеззараживания, как ни крути. Это достаточно высокая эффективность, дешевизна реагента, и, собственно, простота оборудования и обслуживания. Этого вполне хватает чтобы не выпадать из технологических схем на многих станциях водоподготовки.

При применении хлора эффективность обеззараживания в основном зависит от его начальной дозы и времени контакта с водой.

Таблица 1.1 – Технологические характеристики хлорсодержащих реагентов

Реагент	ГОСТ, ТУ	Химическая формула	Содержание активного хлора, %
Хлор жидкий	ГОСТ 6718-93	$Cl_2$	99,8% - высший сорт
Натрий гипохлорит	ТУ 243281	$NaOCl$	90 г/л - марка А 60 г/л - марка Б
Кальций гипохлорит нейтральный	ГОСТ 2563-82Е	$Ca(ClO)_2$	72,0 - высший сорт 64,0 - I сорт 52,0 - II сорт

Все же у такого популярного и простого метода обеззараживания есть свои недостатки. Хлор слабо инактивирует вирусы и спорообразующие кишечные бактерии, а также вступая в реакцию с органическими веществами образует побочные, вредные для человека вещества. Еще опасность возникает при транспортировке хлор-реагентов с точки зрения экологии для людей проживающих неподалеку, при хранении и использовании на станциях водоподготовки, так как хлор – сильнодействующее токсичное вещество, требующее соблюдения мер безопасности. Антропогенное загрязнение воды еще больше усугубляет ситуацию, вынуждая все больше увеличивать дозы. А в связи с высокой стойкостью хлорорганических соединений опять же происходит загрязнение источников водоснабжения вниз по течению.

Наряду с недостатком хлор имеет очень важный и ценный плюс, это – последствие. Как говорилось ранее, расчет дозы рекомендуется брать с запасом. Данный небольшой избыток, к примеру в 0,3-0,5 мг/л остаточного хлора, будет защищать от вторичного роста бактерий и микроорганизмов уже после прохождения очистных сооружений.

Следующий один из основных и популярных методов обеззараживания — это *озонирование*. Действие озонирования основывается на разложении озона в воде, в результате чего образуется атомарный кислород. В свою очередь, атомарный кислород в воде разрушает ферментные системы клеток микробов и еще окисляет некоторые соединения, от чего у воды может быть неприятный запах. Доза при озонировании рассчитывается в зависимости от загрязнения воды. А чтобы после обработки у воды не было специфического запаха, и чтобы дополнительно не вызывать коррозию труб, количество озона на выходе не должно превышать 0,3–0,5 мг/л. Являясь гигиенически одним из лучших методов обеззараживания, озонирование достигает высоких органолептических показателей и отсутствия высокотоксичных веществ в очищенной воде.

Озон является сильным реагентом, но это застраховывает от вторичного загрязнения даже при использовании озонирования на последних стадиях

водоподготовки, так как 0,4 мг/л озона меньше чем за один час разлагается. В противовес этому озон пролонгирует действие хлора и снижает его дозу для обеззараживания. Озонирование требует больших расходов электроэнергии, имеет сложное оборудование, из-за чего никак без квалифицированного обслуживания. Поэтому озонирование получило применение только на крупных станциях водоподготовки.

Рассматривая физические методы обеззараживания наиболее популярным считается обеззараживание с помощью *ультрафиолетового облучения*. Принцип обеззараживания ультрафиолетом базируется на воздействии ультрафиолетовых лучей на клеточный обмен и ферментные системы клеток, при этом не меняя органолептические показатели воды. Нельзя не упомянуть о том, что для воды нет верхнего предела дозы облучения ультрафиолетом, поскольку после обработки ультрафиолетовыми лучами в воде не образуются токсичные вещества. Поэтому не боясь увеличить дозу ультрафиолетового излучения можно добиться желаемого уровня обеззараживания воды.

Одним из недостатков обеззараживания ультрафиолетовым облучением является то, что воздействие данного метода по месту носит локальный характер, т.е. имеем полное отсутствие последствия. После обработки воды ультрафиолетовым облучением в камере реактора и выхода ее из него бактерицидное воздействие прекращается.

Установки для ультрафиолетового обеззараживания требуют хороших капитальных вложений в начале, но имеют низкие эксплуатационные расходы в течении работы: небольшие затраты на электроэнергию, и периодическая замена ламп при необходимости.

Стоит отметить, что при длительном использовании в эксплуатации установок ультрафиолетового обеззараживания защитные чехлы ламп загрязняются органическими и минеральными отложениями. Конечно, данный фактор, снижающий эффективность работы установки, учитывается производителями, которые снабжают установки системами очистки стекол. В крупных установках, чаще всего, это автоматическая система очистки путем

промывки с помощью добавления пищевых кислот. В остальных случаях применяется механическая очистка.

В России метод обеззараживания с помощью ультрафиолетового излучения широко используется для подземных вод высокого качества при небольшом расходе от 20 до 500 тыс.м<sup>3</sup>/сут. Эффективность метода обеззараживания с помощью ультрафиолетового излучения хорошо зарекомендовала себя в технологических схемах водоподготовки на стадии первичного обеззараживания, что позволяет значительно снизить дозу хлора.

Поэтому в последнее время широкое применение находит технология многоступенчатого обеззараживания, сочетающая хлорирование и УФ-излучение. Характерными примерами могут служить такие водопроводные станции, как Lovo производительностью 144 000 м<sup>3</sup>/сут. в Стокгольме (Швеция), Vanliakaupuliki производительностью 120000 м<sup>3</sup>/сут. и Pilkakoski производительностью 168000 м<sup>3</sup>/сут. в Хельсинки (Финляндия), Viktoria Plant производительностью 580400 м<sup>3</sup>/сут. в г. Виктория (Канада), Kapostashmegyer производительностью 600000 м<sup>3</sup>/сут в Будапеште (Венгрия), комплекс водопроводных станций в системе питьевого водоснабжения г. Санкт-Петербурга общей максимальной производительностью 5500000 м<sup>3</sup>/сут, насосно-фильтровальная станция № 1 (НФС-1) проектной производительностью 250000 м<sup>3</sup>/сут в г. Новосибирске (Рис. 1.1).

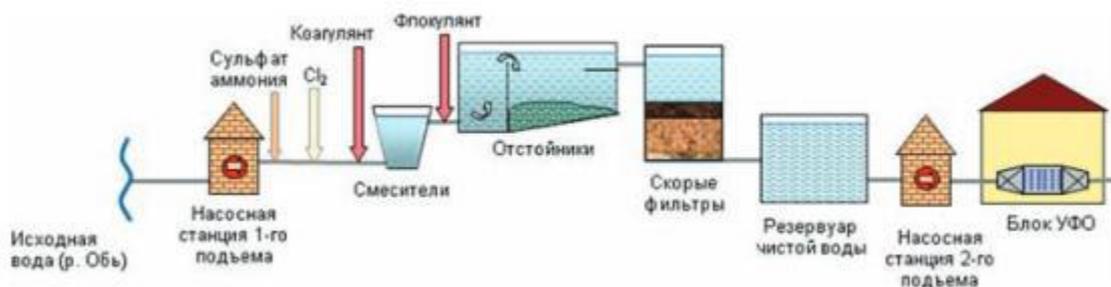


Рисунок 1.1 – Технологическая схема водоподготовки в г. Новосибирске

Еще один физический метод обеззараживания – использование ультразвука. Применение ультразвук получил благодаря своей способности вызывать кавитацию. Другими словами, ультразвук образует пустоты, в

следствии чего создавая большую разность давления, что приводит к разрыву оболочки клеток и к их гибели. Основанное на данном свойстве, бактерицидное действие ультразвука зависит от интенсивности звуковых колебаний, а при совместном воздействии разной частоты весьма значительно.

Из физических методов хочется сказать о народном проверенном индивидуальном способе обеззараживания воды – *кипячении*. Распространен и надежен, при кипячении уничтожаются бактерии, вирусы, плюс к тому удаляются растворенные газы и уменьшается жесткость воды.

*Комплексное* воздействие химических и физических методов дает эффективные результаты. Во многих случаях к примеру, сочетание ультрафиолетового обеззараживания с последующим хлорированием обеспечит высокую очистки, и отсутствие вторичного загрязнения. Аналогично при озонировании с последующим хлорированием, где в начале убиваются микроорганизмы, а после хлор обеспечивает отсутствие вторичного загрязнения, и при этом сокращается количество токсичных веществ благодаря озону.

## **1.2 Терминология**

*«Биопроба»*: биологический тест на обеззараживание, позволяющий оценить возможности системы обеззараживания (в уменьшенном или промышленном масштабе). В тесте «Биопроба» используется процедура введения микроорганизмов на входе в систему обеззараживания.

*УФИ*: электромагнитное излучение с длиной волны в интервале 100-400 нм.

*УФИ-С*: электромагнитное излучение с длиной волны 200-280 нм, соответствующее бактерицидной области.

*Доза УФИ-С, мДж/см<sup>2</sup>*: энергия УФИ-С, применяемая или необходимая для данного значения падения численности данного микроорганизма. Доза УФИ-С определяется потоком УФИ-С за время облучения.

*Поток УФИ-С, Вт/см<sup>2</sup>*: мощность излучения, полученная сферой бесконечно малого размера. Говоря об УФИ-реакторах, часто путают понятия интенсивности (см. ниже) и потока,

*Интенсивность УФИ-С (энергия на площадь, Вт/см<sup>2</sup>)*: поток УФИ-С, полученный бесконечно малой поверхностью. Очень часто используют также термин «облученность».

### 1.3 Обеззараживание ультрафиолетовым излучением

Сначала мир обнаружил инфракрасное излучение, далее физик Иоганн Вильгельм Риттер продолжил изучение в противоположном конце спектра на другие виды излучений, и обнаружил, что под невидимым излучением за пределами фиолетового спектра хлорид серебра разлагается быстрее. Сегодня мы можем использовать гораздо большие возможности ультрафиолетового излучения в различных родах деятельности, благодаря созданию и развитию искусственных источников ультрафиолетового излучения.

Находящееся в электромагнитном спектре ультрафиолетовое излучение в диапазоне длин волн от 100 до 400 нм, располагается между видимой областью и рентгеновским излучением. В свою очередь, ультрафиолетовая область разделяется на четыре поддиапазона длин волн (Рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Диапазоны УФИ в электромагнитном спектре

При рассмотрении того, когда солнечный свет проходит атмосферу Земли, при этом поглощается практически весь УФИ-С, где-то 90% от УФИ-В, и совсем слабо УФИ-А.

Все УФИ являются источником актиничных или химических волн, получивших свое название вследствие того, что энергия соответствующих

фотонов способна вызывать химические преобразования в ходе фотохимических реакций. Излучение, используемое для обеззараживания, располагается в поддиапазоне УФ-С, отвечающем «бактерицидной» области. Дело в том, что компоненты клеточных тканей, белки и нуклеиновые кислоты поглощают УФ в диапазоне 200-300 нм, причем для ДНК допустимый максимум поглощения соответствует 260 нм.

УФ-С получают с помощью кварцевых ламп, заполненных парами ртути под малым или средним давлением. В зависимости от используемого источника получаемое излучение может быть квазимонохроматическим (254 нм) или полихроматическим.

Воздействие ультрафиолетовым излучением на воду относится к физическому методу обеззараживания, или безреагентный. Механизм бактерицидного действия основан на поглощении фотонов пиримидиновыми основаниями, входящими в состав ДНК, — главным образом, тиминном, но также и цитозинном. Облучение вызывает димеризацию двух соседних оснований, приводящую к обрыву цепочки ДНК, что делает невозможной ее последующую репликацию (обратимость).

Эффективность обеззараживания ультрафиолетовым излучением отражается в удалении различных бактерий, вирусов, пропорциональна мощности излучения и продолжительности воздействия на обрабатываемую воду, не зависит от ее рН и температуры. При использовании УФ установок и выборе их режима работы обязательно должно учитываться наличие взвесей, так как они заслоняют собой целевые загрязнения и поглощают собой часть излучения. К тому же от этого зависит не только эффективность обеззараживания, но и экономические показатели процесса: чем выше прозрачность воды для УФ-лучей, тем меньше надо затратить энергии на обеспечение одной и той же дозы для эффективного УФ-обеззараживания.

Способность некоторых микроорганизмов к возвращению к жизни может снижать качество обеззараживания с помощью УФ. Эта проблема возникает в связи с запуском механизмов, способных регенерировать структуру ДНК:

- фотореактивации (мономеризации димеров пиримидинов);
- удаления и восстановления (замены поврежденных нуклеотидов, сопровождаемой рекомбинацией неповрежденных звеньев цепочки).

По результатам некоторых исследований было выявлено, что колиформные бактерии, а также для *Escherichia coli*, *Streptomyces*, *Aerobacter*, *Penicillium*, *Saccharomyces* и *Micrococcus* способны к фотореактивации.

Показатели цветности, мутности, окисляемости, ХПК, БПК воды были исследованы специалистами НИИ гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана на то, как они влияют на ультрафиолетовое обеззараживание.

Таблица 1.2 – Требуемый диапазон обобщенных показателей воды

цветность	20–50 градусов
мутность	1–30 мг/л
перманганатная окисляемость	6–14 мг O <sub>2</sub> /л
ХПК	29–63 мг/л
БПК	5–10 мг/л

Применение ультрафиолетового излучения в целях обеззараживания приводит к минимальному образованию побочных продуктов. Однако некоторые химические соединения, присутствующие в воде, способны поглощать излучение на длинах волн, используемых для такой обработки, и поэтому могут давать побочные продукты. Это явление приобретает тем большую важность, чем более широк спектр УФ-излучения используемого источника по сравнению с бактерицидной длиной волны (лампы среднего давления). Оно затрагивает, в частности, ароматические, а также хлорсодержащие алифатические соединения. Однако для их фотоокисления необходимы очень высокие дозы облучения, не имеющие ничего общего с принятыми условиями обработки. При этом наблюдается образование усваиваемых органических соединений и развитие мутагенеза, что является результатом воздействия излучения на ОВ, присутствующие в природной воде и способные поглощать лучистую энергию в диапазоне УФ-излучения от 200 до 250 нм.

При облучении воды, содержащей нитраты, УФИ с длиной волны менее 240 нм в ней в результате фотолиза появляются нитриты.

Итак, как было сказано ранее, обеззараживание ультрафиолетовым излучением (УФИ) имеет следующие преимущества:

- быстрая инаktivация болезнетворных бактерий;
- почти полное отсутствие побочных продуктов;
- высокая эффективность против большинства видов бактерий и цист простейших;
- экологичность, безопасность для жизни и здоровья человека;
- отсутствие необходимости введения дополнительных реагентов;
- отсутствует изменение характеристик воды при превышении доз облучения.

Достаточно сильным недостатком при использовании ультрафиолетового обеззараживания выявляется отсутствие последействия. За пределами камеры УФ обеззараживания воздействие ультрафиолетовых лучей не происходит, поэтому далее текущая вода по трубам может вновь загрязняться. К недостаткам можно отнести и то, что при разрушении клеток микроорганизмов ультрафиолетом, их фрагменты остаются в воде, которые желательно удалять с помощью фильтрации.

Не смотря на небольшие минусы, все это делает ультрафиолетовое излучение одним из лучших инструментов для обеззараживания городских и промышленных сточных вод, а также питьевой воды.

Типовая установка для ультрафиолетового обеззараживания воды (Рис. 1.3) состоит из камеры обеззараживания с пультом управления. Иногда еще комплектуются блоком промывки.

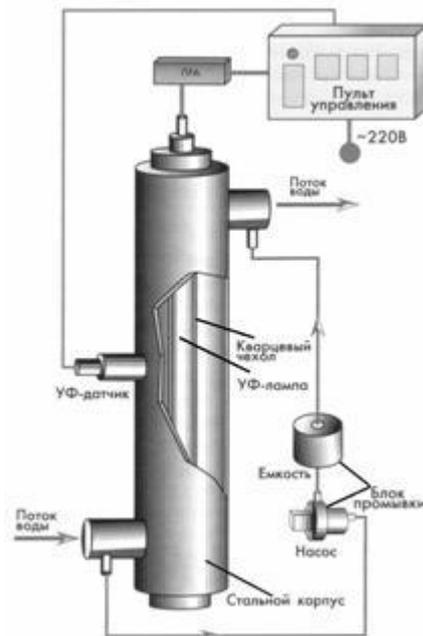


Рисунок 1.3 – Установка УФ - обеззараживания воды.

Корпус установки обычно изготавливается из нержавеющей стали, иногда из пластмассы, имеет патрубки для входа и выхода воды, а также пробоотборники, датчик УФ-излучения. С торцов корпуса располагаются решетки с отверстиями для герметично устанавливаемых защитных чехлов. Внутри защитных чехлов (кварцевые трубки) как раз располагаются бактерицидные лампы. Такая конструкция исключает контакт ламп с водой и обеспечивает их легкую замену. Видно, что конструкция похожа на кожухотрубный теплообменник. Сам корпус и все остальные комплектующие должны быть рассчитаны на рабочее давление воды в системе водоподготовки.

В методических указаниях говорится о том, что установки ультрафиолетового обеззараживания должны комплектоваться: датчиками интенсивности ультрафиолетового излучения в самой камере; автоматика, сигнализирующая о снижении интенсивности излучения; счетчиками времени наработки ламп с индикаторами их работы; и системой очистки защитных чехлов. Говоря о полной комплектации УФ-установок следует отметить, что стоимость ее будет прилично выше, особенно для индивидуальных установок малой производительности. Но эти указания носят рекомендательный характер, поэтому многие производители, не усложняя и не удорожая конструкцию

ограничиваются рекомендацией своевременной замены ламп при выработке их гарантийного ресурса.

Другое дело, когда установки используются на крупных станциях водоподготовки питьевой воды, где работа установок положена только в их полной комплектации. Типоразмер и количество ламп в установках на таких станциях, да и вообще, зависит от производительности, назначения, от показателей обрабатываемой воды. Энергопотребление у ртутных ламп небольшое, а для их зажигания необходимы специальные условия, поэтому чаще всего для большей надежности системы эксплуатация происходит при постоянном горении ламп.

Для поддержания необходимой эффективности ультрафиолетового излучения необходима систематическая очистка защитных чехлов, которая может осуществляться либо механическим способом, либо химической промывкой.

Установки ультрафиолетового обеззараживания воды выпускаются огромным числом изготовителей за рубежом и не менее чем 10 в России. Их производительность колеблется от литров в час для бытовых систем, устанавливаемых «под мойку», до нескольких тысяч м<sup>3</sup>/ч для городских систем.

Этап ультрафиолетового обеззараживания в технологической схеме станции водоподготовки может располагаться как на предварительной стадии, так и на заключительной. Зависит это месторасположение от конкретных условий на конкретной станции водоподготовки: от того какая технологическая схема очистки применяется, каковы показатели и свойства воды из забираемого источника, от необходимых требований к качеству воды и т.д.

Следует еще раз отметить, что эффективность комплексного использования установок ультрафиолетового обеззараживания воды в сочетании с другими методами обеззараживания, в том числе возможно и с физическими методами, может неслабо повышена. Таким образом, например, совместное воздействие на воду ультразвуковыми колебаниями разной частоты и ультрафиолетовым излучением; озонирование в небольших дозах после

ультрафиолетовой обработки позволит уменьшить дозу облучения и добиться достаточного обеззараживания воды даже при наличии взвесей. А хлорирование, также в небольших дозах, поможет обеспечить эффект последствия, т.е. избавиться от вторичного загрязнения воды при транспортировке.

Ультрафиолетовое излучение в диапазоне 100–200 нм вызывает образование озона из молекул кислорода в воде и тем самым воздействует на молекулы органических веществ. Тогда получается, что если использовать достаточно мощные лампы, то можно создать глубокую фотохимическую очистку воды от загрязнения, к примеру, нефтепродуктами, или мутагенными циклическими органическими соединениями.

#### 1.4 Действие УФИ на ДНК и РНК

Нуклеиновые кислоты — дезоксирибонуклеиновая (ДНК) и рибонуклеиновая (РНК) — являются фундаментальными элементами в репродуктивной системе всех микроорганизмов. Ранее было показано (гл. Ультрафиолетовое излучение), что нуклеотиды, составляющие ДНК и РНК, очень сильно поглощают УФИ с длиной волны в интервале 220-290 нм с максимумом 260 нм. При этом нуклеотиды повреждаются, и в них блокируется процесс воспроизводства клеток. Облученные клетки живут еще некоторое время, но неспособными к воспроизводству и заражению потенциального хозяина (Рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Механизм воздействия УФИ на ДНК.

В таблице 1.3 приведена сопротивляемость различных видов микроорганизмов ультрафиолетовому облучению. Значения доз облучения в таблице приведены для 99,9% инактивации микроорганизма, произведенной в условиях лаборатории. Отмечу еще раз, что превышение дозы ультрафиолетового облучения не ведет к негативным последствиям.

Таблица 1.3 – Дозы облучения в зависимости от микроорганизма

Вид микроорганизмов	Доза УФ-облучения, мВт·с/см <sup>2</sup>
<i>Бактерии</i>	
Escherichia Coli (E.Coli)	9-12
Proteus Vulgares	7,3
Legionella pneumophila	3,3
Pseudomonas aeruginosa	11,5
Salmonella enteritidis	6,1
Salmonella paratyphi	6,1
Salmonella typhosa	7,5
Shigella flexneri	4,2
Shigella dysenteriae	8,8
Vibrio cholerae	10,2
<i>Вирусы</i>	
Bacteriophage (E.Coli)	10,8
Virus Poliomyelitis	6-15
Hepatitis Virus	8-11,1
Rotavirus SA	24
Poliovirus Strains (test organism)	
<i>Простейшие</i>	
Giardia Lamblia	120
Giardia muris	246

Таблица 1.4 – Характеристики основных УФИ-ламп

Тип лампы	Низкое давление	Низкое давление, высокая интенсивность	Среднее и высокое давление	Вспышка	Экцимер
Спектр <sup>1</sup>	МС	МС	РС	РС	МС
Состав	Благородные газы + ртуть	Благородные газы + ртуть или металлические соединения	Благородные газы + ртуть	Ксенон	Благородные газы + галиды
Мощность УФИ-С, Вт	13–27	26–300	150–500	100–500	100–1000
Плотность УФИ-С, Вт/см <sup>2</sup>	0,2	0,8	7	20	10
КПД, % <sup>3</sup>	30–35	30–35	8–10	8–10	8–10
Рабочая температура, °С	55–65	105–200	600–700	800–1000	800–1000
Срок службы, ч	9000–13 000	8000–13 000	5000–6000	1000–3000	4000–6000
Сравнительная стоимость <sup>4</sup>	1	1	1	2	3

<sup>1</sup> Монохроматический (МС) или полихроматический (РС).

<sup>2</sup> На сантиметр длины дуги.

<sup>3</sup> Отношение энергии УФИ-С к энергии, подаваемой на всю лампу + балласт.

<sup>4</sup> Сравнительная стоимость при эквивалентной мощности УФИ-С.

## 1.5 Принципы расчета

УФИ-реактор характеризуется потерей напора и дозой УФИ, которую он способен выдать при данном расходе обрабатываемой воды. Следует учитывать следующие виды потерь напора в реакторе:

- при прохождении через ряд модулей или реакторов (определяется в процессе экспериментов);
- обусловленная наличием системы контроля уровня в открытых каналах (с фиксированным или подвижным сливным порогом);
- связанная с системой успокоения потока на входе в модули или реакторы.

Величина выдаваемой реактором дозы УФИ может быть получена тремя способами: усредненный расчет, дискретный расчет и с помощью теста «Биопроба».

### 1.5.1 Биологический тест «Биопроба»

«Биопроба» — это тест, оценивающий УФИ-реактор. Проводится в два этапа. На первом, лабораторном, этапе определяется отклик микроорганизмов

на различные дозы УФИ. Микроорганизмы облучаются ультрафиолетом в течение определенного времени при помощи коллиматора, позволяющего генерировать точно измеряемые дозы излучения (Рис. 1.6). Тип микроорганизма выбирается в зависимости от условий линейности, от устойчивости к УФИ, от сохранения и воспроизводимости. Типичная кривая изображена на рисунке 1.5

Второй этап «Биопробы» проводится на производственной площадке. Он состоит в определении эффективности системы обеззараживания при разных расходах системы УФИ-обеззараживания. На этом этапе используются те же микроорганизмы, что и на предыдущем. Измерение полученного уровня инактивации (логарифм снижения численности) позволяет с помощью данных теста с коллиматором определить реальную дозу УФИ, которую выдает данная система обеззараживания. На рисунке 1.7 приведен пример. Полученная кривая позволяет на основании значений.

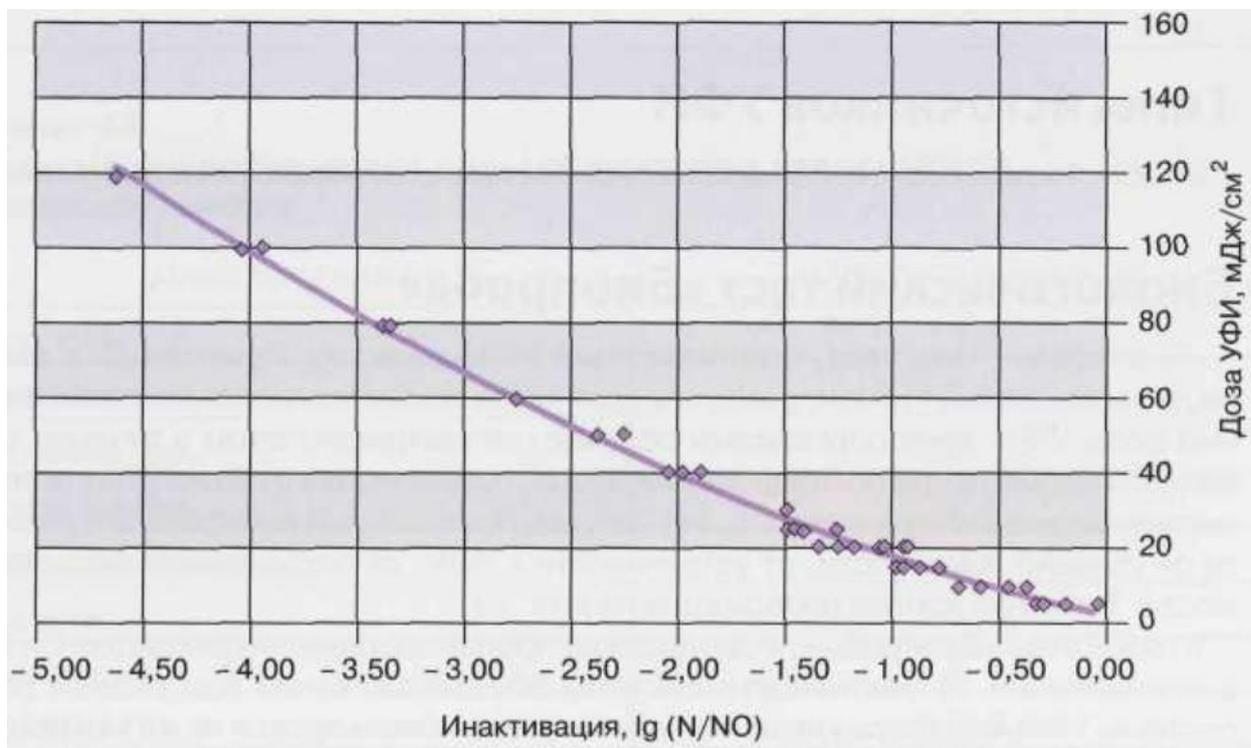


Рисунок 1.5 – Тест на инактивацию колифагов MS2 с использованием коллиматора

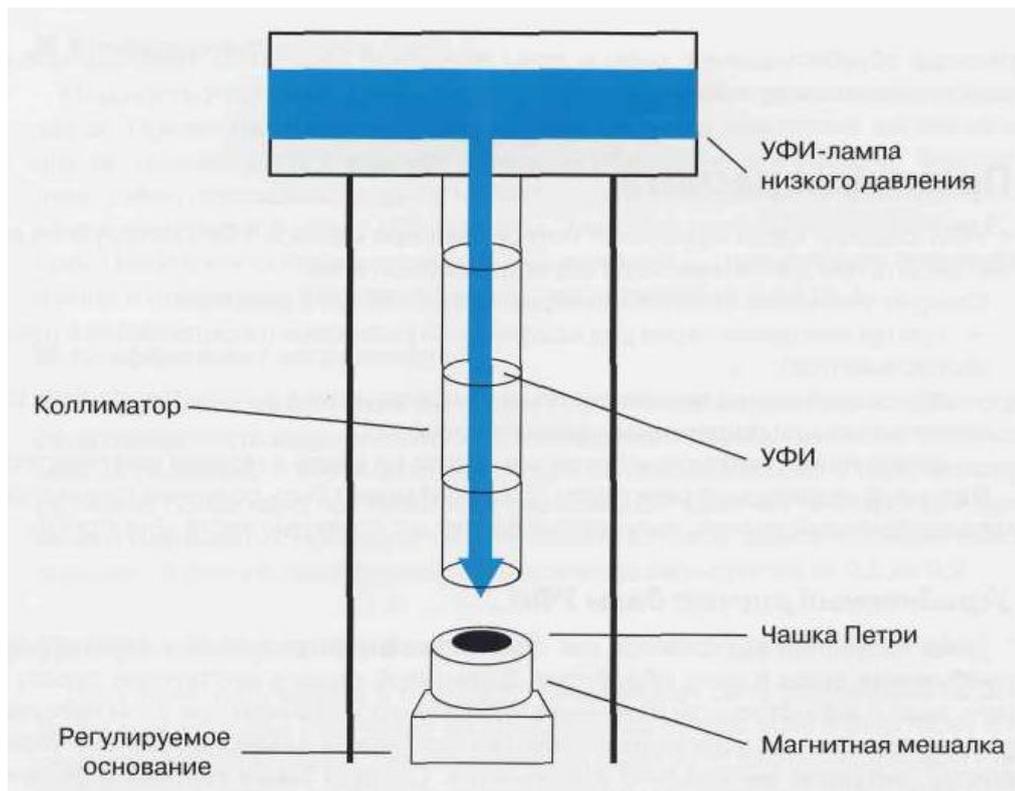


Рисунок 1.6 – УФИ-коллиматор

Кривая, получаемая с помощью теста «Биопроба», позволяет рассчитывать систему УФИ-обеззараживания. Для тестов по одному или нескольким микроорганизмам кривую строят исходя из зависимости

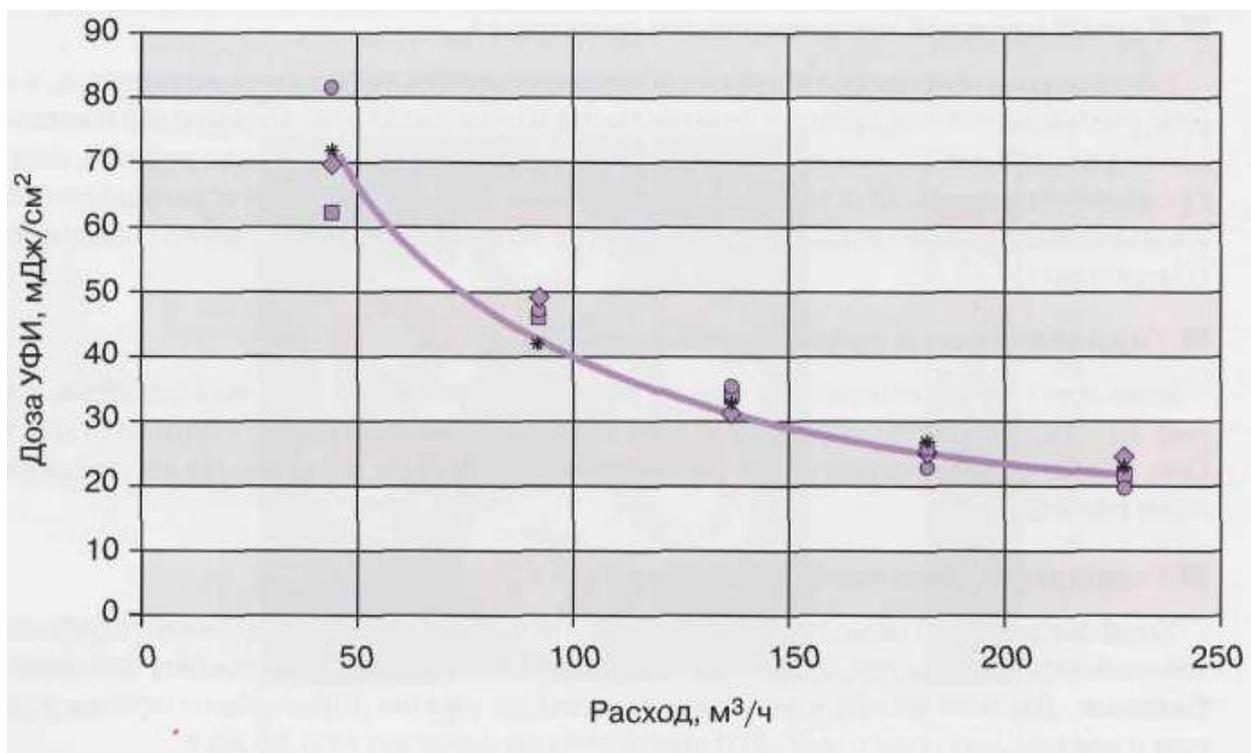


Рисунок 1.7 – Пример результатов теста «Биопроба» на пилотной установке *Aquaray 40 НО*.

### 1.5.2 Усредненный расчет дозы УФИ

Доза излучения выражается как произведение интенсивности УФИ и времени пребывания воды в зоне обработки. Если такой подход достаточно прост, когда речь идет о единственном источнике УФИ и микроорганизм при этом неподвижен, то для реакторов, содержащих множество источников и имеющих динамический характер, ситуация значительно усложняется.

Следует также учитывать физические параметры износа ламп (продолжительность работы, количество циклов включение/выключение).

Средняя доза излучения, выдаваемая системой обеззараживания, выражается следующим соотношением:

$$\text{Доза} = I_{\text{cp}} * \theta/t * F_h * F_p * F_t.$$

*Расчет средней интенсивности реактора  $I_{\text{cp}}$*

Среднюю интенсивность реактора можно получить на основании расчета, в котором учитываются следующие элементы: размеры реактора, количество и мощность ламп, расстояние между лампами, диаметр и природа кварцевых трубок и, наконец, прозрачность воды. Она может быть получена для разных длин волн в целях точной взаимной адаптации характеристик ламп и воды (при использовании ламп среднего давления).

*Гидравлическое время пребывания  $t$*

Речь идет о теоретическом времени пребывания воды в зоне обработки, в течение которого присутствующие в ней микроорганизмы будут подвергаться УФИ. Оно равно объему одного или нескольких реакторов, деленному на гидравлический расход.

*Гидравлические коэффициенты  $\theta/t$  и  $F_h$*

Коэффициент  $\theta/t$  представляет собой отношение среднего времени пребывания, измеряемого путем трассировки, к теоретическому гидравлическому времени пребывания. Данный коэффициент характеризует

режим поршневого потока в одном или в нескольких реакторах. Его значение варьируется от 0,85 до 1.

Коэффициент  $F_h$  учитывает радиальное перемешивание внутри реактора. Сильное радиальное перемешивание позволяет менять «уровни облученности» микроорганизмов и таким образом повышает эффективность реактора. Его значение варьируется от 0,5 до 1.

*Коэффициент износа ламп  $F_p$*

Мощность УФ-лампы уменьшается с увеличением количества отработанных ею часов. Причинами этому служат главным образом окисление загрязняющих веществ, находящихся в корпусе лампы, и обеднение электродов. Фактор износа ламп равен отношению мощности УФ, выдаваемой после  $N$  часов работы, к мощности, измеряемой после 100 ч. работы. Значение коэффициента износа  $F_p$  в конце срока работоспособности лампы — это значение  $F_p$ , при котором принимается решение о ее замене. Этот коэффициент варьируется от 0,65 до 1.

*Коэффициент загрязнения  $F_t$*

Коэффициент загрязнения учитывает воздействие элементов, которые осаждаются на поверхности кварцевых трубок, защищающих лампы. Наиболее часто встречаемые загрязнения — это жиры, соединения на основе кальция и соли металлов. Загрязнение более явно проявляется с увеличением рабочей температуры лампы. Его можно уменьшить с помощью чистки, частота которой зависит от характера использования. Значение коэффициента загрязнения варьируется от 0,5 до 0,9.

### **1.5.3 Дискретный расчет дозы УФ**

Доза УФ, получаемая в реакторе, также может быть рассчитана на основании связи между полем излучения (распределение потока УФ в реакторе) и траекториями микроорганизмов, пересекающими реактор. В расчете поля УФ учитывается мощность лампы, ее спектр, коэффициенты поглощения кварцевых труб и воды (Рис. 1.8). Траектории микроорганизмов определяются при помощи гидравлического моделирования, дающего

информацию также и о поле скоростей (Рис. 1.9). Доза УФИ, полученная микроорганизмом, определяется суммированием бесконечно малых доз на протяжении всей траектории. Рассматривая множество микроорганизмов, можно получить распределение доз, позволяющее на основании кривых инактивации (см. Рис. 1.5) определить рабочие характеристики реактора.

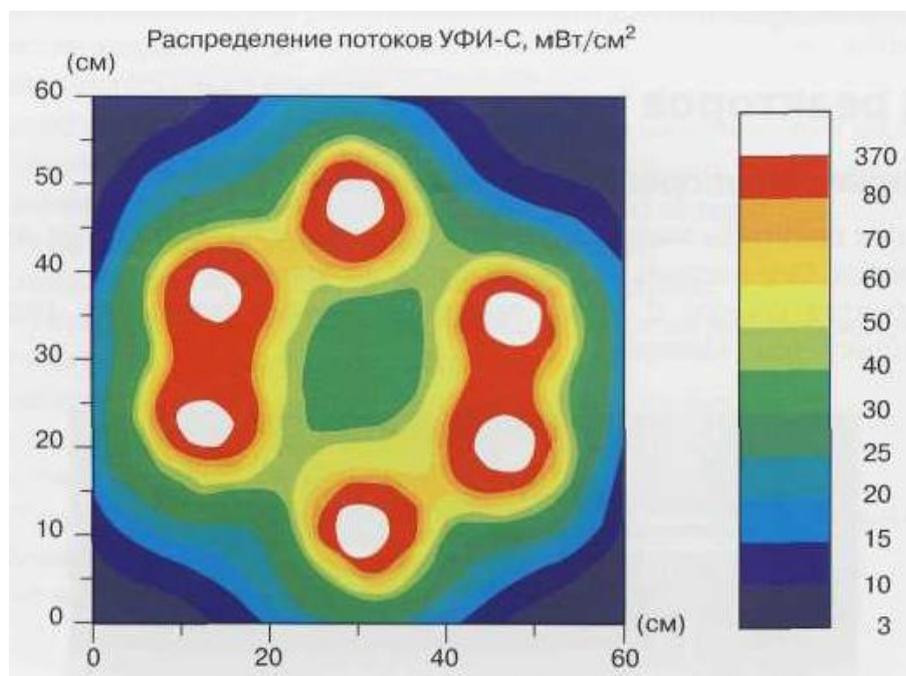


Рисунок 1.8 – Пример распределения потока УФИ-С в шестиламповом УФИ- реакторе

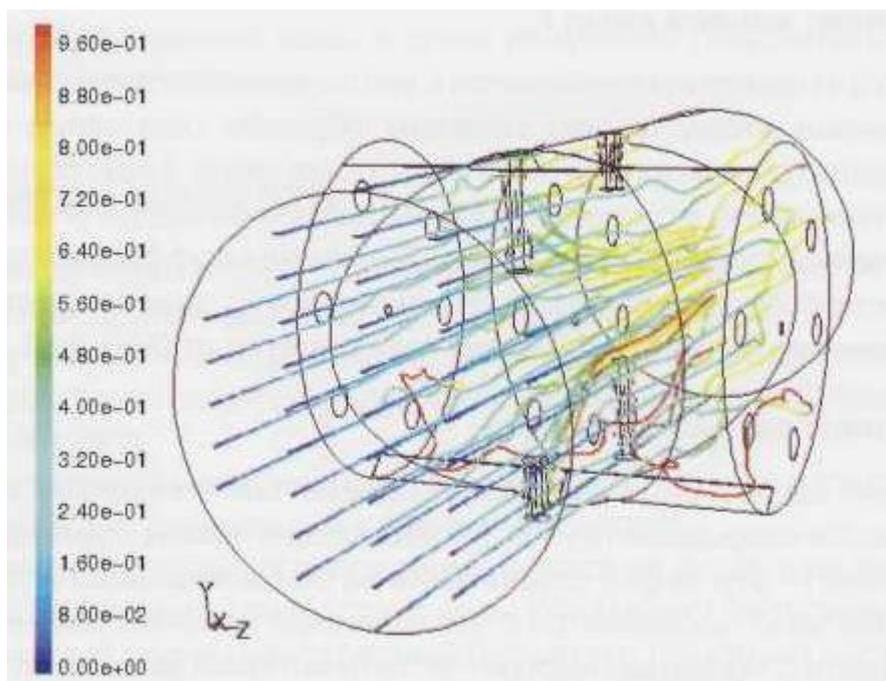


Рисунок 1.9 – Гидродинамическое моделирование  
УФИ-реактора — траектория движения микроорганизмов

## 1.6 Типы реакторов

### *Закрытые реакторы малых размеров*

Закрытые реакторы малых размеров обычно располагаются на напорной линии после насоса. Они состоят из следующих компонентов:

- трубчатая камера с двумя соединительными фланцами, расположенными перпендикулярно камере;
- одна или несколько ламп с кварцевыми трубками, расположенными параллельно оси камеры;
- система контроля и управления работой ламп;
- система автоматической чистки кварцевых трубок.

Для закрытых реакторов малых размеров характерны:

- высокая скорость потока и, следовательно, небольшие габариты;
- простота установки;
- потери напора меньше 0,5 м вод. ст.

### *Закрытые линейные реакторы средних и больших размеров*

Закрытые линейные реакторы средних и больших размеров устанавливаются на линиях гравитационного потока (выход из фильтра) или на напорных линиях (выход из накопительного резервуара или насоса). Они состоят из следующих компонентов:

- трубчатая камера с двумя соединительными фланцами на концах;
- одна или несколько ламп с кварцевыми трубками, расположенными перпендикулярно оси камеры;
- система контроля и управления работой ламп;
- система автоматической чистки кварцевых трубок.

Для закрытых линейных реакторов средних и больших размеров характерны:

- высокая скорость потока благодаря высокой средней интенсивности и, следовательно, небольшие габариты;
- простота установки;
- относительно низкие потери напора (меньше 35 см вод. ст.).

### *Открытые реакторы*

Открытые реакторы предназначены для обработки сточных вод, но также, при значительных расходах, могут использоваться и для питьевой воды. В их состав входит:

- один или несколько каналов;
- множество модулей, расположенных последовательно или параллельно в канале (каналах); каждый модуль состоит из нескольких ламп и кварцевых трубок, размещенных параллельно или перпендикулярно потоку;
- система контроля и управления работой ламп;
- система автоматической чистки кварцевых трубок;
- резервуар для химической очистки модулей (если реактор используется в технологической линии обработки ГСВ);
- устройство для регулирования уровня воды в канале.

Для открытых реакторов характерны:

- течение гравитационного типа;
- удобный доступ к лампам, кварцевым трубкам и системам чистки;
- возможность извлечения модуля без остановки течения;
- незначительная потеря напора (порядка 0,5 м вод. ст.).

### **1.6.1 Реакторы для обработки питьевой воды**

#### *Условие применения*

Проницаемость воды должна быть не менее 85 %.

#### *Тип реактора и размещение*

Для обработки питьевой воды в целях обеззараживания в зависимости от ее расхода используют закрытые напорные или линейные реакторы. Количество камер реактора также определяется в зависимости от расхода обрабатываемой воды, а их размещение (последовательно или параллельно) - исходя из максимально допустимой потери напора и желательной гибкости работы. Необходимо предусматривать дополнительную линию обработки, которая позволит обеспечивать техническое обслуживание камер реакторов (замену ламп, кварцевых трубок или соединений) без прерывания процесса обеззараживания.

#### *Системы чистки*

Для нормальной работы реактора необходима систематическая чистка ламп. В этих целях должна быть предусмотрена легкодоступная механическая система чистки кварцевых трубок, которая обеспечит легкость технического обслуживания. Ее следует дополнить системой химической чистки на месте работы реактора, частота проведения которой будет определяться в процессе работы.

#### *Условия реализации*

Геометрия и, следовательно, гидравлика аппаратов для обеззараживания имеют важное значение. В настоящее время эффективность контактных камер может быть оценена компьютерным моделированием потоков (см., например,

гл. Дискретный расчет дозы УФИ), которое учитывает гидравлику системы (и, следовательно, время прохождения воды через зону влияния ламп- генераторов УФИ), мощность пучка, а также его ослабление в результате абсорбции водой и растворенными веществами.

Хорошее удаление железа и цветности воды необходимо как для обеспечения ее высокой прозрачности, так и для того, чтобы избежать значительного загрязнения кварцевых оболочек, которые защищают лампы.

Учитывая достаточно сильное выделение тепла, нужно следить за тем, чтобы вода не была слишком агрессивной и не произошло быстрое отложение накипи на защитных оболочках. В любом случае реактор обеззараживания должен быть снабжен системой автоматической очистки этих оболочек.

#### *Преимущества и недостатки*

Ультрафиолетовое излучение — единственное дезинфицирующее средство, не образующее вредных побочных продуктов и эффективное против всех микроорганизмов, включая цисты простейших, — имеет два недостатка:

- не существует возможности проверить эффективность используемой дозы облучения измерением остаточной концентрации, как в случае применения химических окислителей; следовательно, необходимо, чтобы реактор был снабжен УФИ-датчиками (если возможно, по одному датчику на лампу), позволяющими непрерывно контролировать реально испускаемое лампами излучение для того, чтобы:
  - следить за нормальным старением ламп (компенсируемым увеличением тока питания);
  - быстро определять возможную неисправность любой из ламп, чтобы автоматически привести в действие резервный реактор или тут же заменить неисправную лампу (в течение нескольких минут остановки);
- при отсутствии остаточного действия, если только сеть не является короткой и хорошо содержится, УФИ-излучение должно сочетаться с введением другого дезинфицирующего реагента с хорошим остаточным действием (С12, С102, хлорамин). Таким образом, УФИ-реактор должен

применяться после доочистки, но перед введением какого-либо последнего дезинфицирующего вещества.

Хлорирование, озонирование, ультрафиолетовое облучение – три основных и наиболее популярных метода обеззараживания питьевой воды. Каждый из трех методов, если применять в соответствии с нормами, может в достаточной степени избавиться от бактерий и вирусов. Но что касается цист патогенных простейших, здесь ни один из методов не обеспечит требуемую степень очистки. Эти микроорганизмы можно уничтожить при совмещении обеззараживания с процессами удаления мутности и взвесей. Хлорирование, в отличие от озонирования и ультрафиолетового облучения, не способно по отношению удаления вирусов. Но привлекает своей простотой процесса, когда озонирование по оборудованию технологически сложнее и дороже. По цене ультрафиолетовое обеззараживание стоит где-то между хлорированием и озонированием. Сравнивая последствия при превышении необходимых доз, ультрафиолетовое облучение бесспорно побеждает по отсутствию таковых, но нельзя сказать того же про хлорирование и озонирование, у которых в результате образуются нежелательные токсичные соединения или побочные продукты.

### **1.6.2 Реакторы для обработки промышленных вод**

Наиболее распространенной областью их применения является обеззараживание:

- чистых и сверхчистых вод в сочетании с УФ-обработкой или без нее;
- промывных вод в аграрно-пищевой промышленности;
- вод, циркулирующих в системах охлаждения;
- аквариумных вод и вод, используемых в рыбоводстве (с оборотным водоснабжением).

#### *Типы реакторов*

В перечисленных выше областях применяют те же самые реакторы, что и при обработке питьевой воды и сточных вод. Выбор зависит от качества

подлежащей обеззараживанию воды. Если проницаемость воды более 85 %, используют реакторы, предназначенные для обработки питьевой воды. При более низкой проницаемости применяют реакторы, предназначенные для обработки сточных вод, Системы чистки УФИ-ламп те же, а их выбор зависит от конкретных условий применения реактора.

### **1.6.3 Устройства контроля и регулирования**

#### *Устройства контроля*

Чтобы обеспечить стабильность результатов процесса обеззараживания, в системах УФИ-обеззараживания устанавливаются устройства контроля. Их используют и в процессе технического обслуживания этих систем. С их помощью осуществляется:

- контроль за работой ламп (включение/выключение, ток, напряжение, количество рабочих часов, количество циклов включения/выключения);
- одно или несколько измерений интенсивности УФИ внутри реактора (датчик УФИ);
- измерение расхода обрабатываемой воды;
- в некоторых случаях — постоянное измерение проницаемости УФИ;
- в некоторых случаях — расчет дозы УФИ, выдаваемой системой, на основе измерений проницаемости УФИ, интенсивности УФИ и расхода обрабатываемой воды.

#### *Устройства регулирования дозы УФИ*

Работа устройств регулирования дозы УФИ определяется по таким показателям, как расход обрабатываемой воды, интенсивность УФИ (в некоторых случаях — ток лампы) и проницаемость УФИ.

Чтобы обеспечить заданную величину дозы УФИ, устройство регулирования может изменять количество рабочих ламп УФИ или их мощность, в некоторых случаях менять ток дугового разряда либо выключать и вновь включать лампы в определенном порядке.

## 1.7 Системы очистки УФ установок

### 1.7.1 Загрязнение кварцевых защитных стёкол и системы очистки

Системы очистки стёкол признаны эффективным средством удаления загрязнений и поддержке высокой УФ проводимости защитных стёкол (Oliver 2003), однако их долговременное применение приводит к образованию царапин на поверхности стёкол и формированию неудаляемых загрязнений (Pengetal., 2005).

Эксперименты были проведены на установке **Swift** с лампами среднего давления производства **Trojan Technologies Inc.** (London, Ontario, Canada). Во время определения исходных данных система очистки стёкол запускалась раз в каждые 24 часа. Система очистки использует комбинацию абразивной и химической очистки. Во время проведения экспериментов, система очистки была полностью отключена чтобы позволить аккумуляцию загрязнений на стёклах.

Замеры УФ проводимости стёкол были проведены с помощью оптоволоконного спектрофотометра с источником пульсирующего ксенон излучения. Продвигая стекло вдоль измерительной аппаратуры было получено пространственное распределение УФ проводимости.

Четыре загрязнённые лампы были исследованы после двух недель работы установки, и ещё четыре лампы были исследованы после четырёх недель работы.

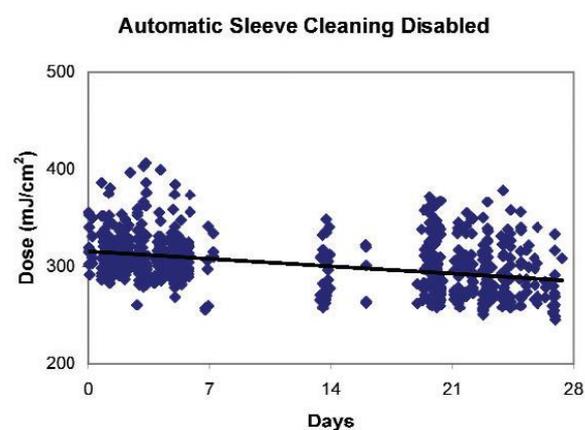
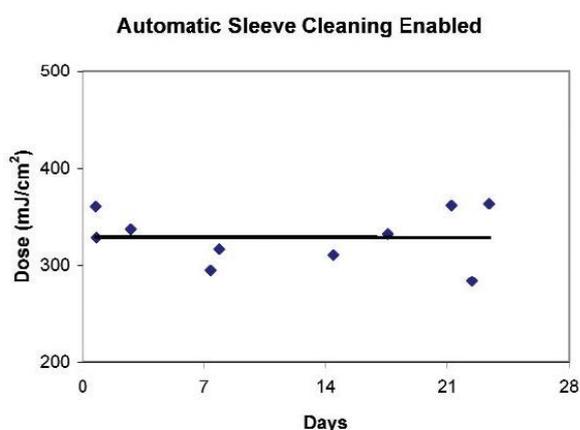


Рисунок 1.10 – Графики дозы УФ при работающей и выключенной системе очистки

Замеры средней дозы УФ в реакторе, работающем при 60% проектной мощности и при потоке воды 2 миллиона галлонов в день (приблизительно 8,000 м<sup>3</sup>/день). При работающей системе очистки стёкол, линейная регрессия показывает что доза УФ падала на 0.04 мДж/см<sup>2</sup> в день (**график слева**). При выключенной системе очистки, доза падала на 1.07 мДж/см<sup>2</sup> в день (рис. 1.10).

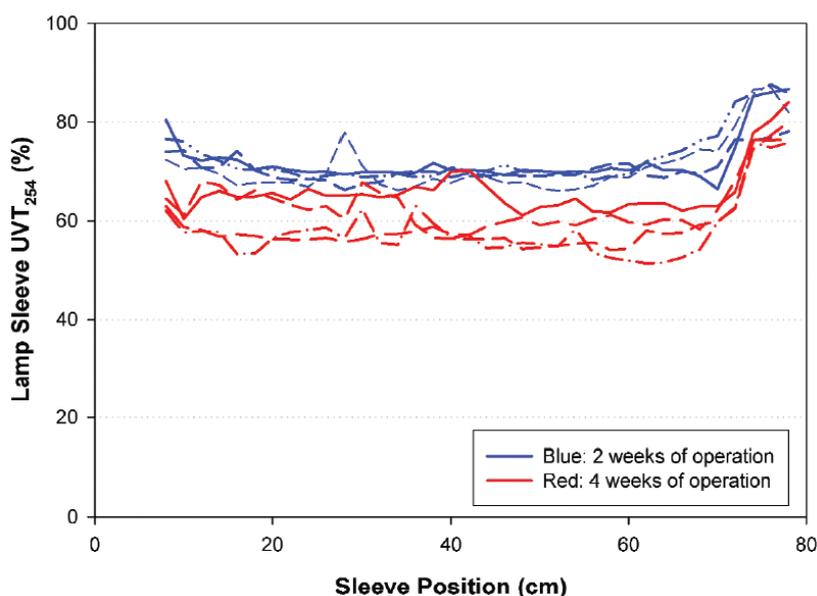


Рисунок 1.11 – УФ проводимость стёкол после двух и четырех недель работы

Как показано на **графике** (рис. 1.11), после двух недель работы, УФ проводимость стёкол упала с 92% по воздуху до начала эксперимента до 72%, 71%, 73% и 71% (распределение по длине стекла). После четырёх недель работы, проводимость составила 60%, 58%, 61%, и 66%.

На данном объекте вода имеет низкие концентрации железа и кальция, и представляет собой щадящие условия. На объектах, работающих с высоко минерализированной водой, осаждение вещества на стёклах может достигать порядка 2 mmol/m<sup>2</sup> в день (Wait 2005), и в таких случаях излучение может упасть на 80% всего за один день.

По сравнению, воды с низкой жёсткостью и с полностью окисленными веществами, представляют собой уменьшенный риск загрязнения стёкол, и должны подвергаться менее частой очистке. При высокой частоте очистки

стёкол, вследствие появления царапин, может происходить неудаляемое загрязнение стёкол, и известны случаи снижения УФ проницаемости стёкол на 72%.

### **1.7.2 Оценка систем очистки УФ установок**

В данном исследовании автоматические системы механико-химической очистки стёкол показали отличную эффективность очистки. Автоматические механические системы и отсутствие каких-либо систем показали быстрое падение эффективности дезинфекции.

Такие факторы как температура поверхности стёкол, УФ интенсивность, гидродинамика, микроструктура и топография кварца – влияют на прикрепление неорганических веществ, органических плёнок и жиров.

Загрязнение – сложный процесс, и трудно предсказуем. Хотя степень загрязнения разнится от объекта к объекту, в конце концов, на всех объектах образуется загрязнение стёкол.

В настоящее время существует несколько методов очистки:

А) **Оффлайн** – периодический вывод системы из работы, отмачивание стёкол в химической ванне и ручная очистка стёкол с помощью моющих веществ.

Б) **Автоматические** – используют механические очистители (кольца, спирали, пальцы и т.д.) для частой протирки стёкол и периодически - ручную химическую очистку.

В) **Полностью автоматические** химически-механические очистные системы.

#### **Эффективность работы и стоимости таких систем:**

Ручная очистка трудозатратная и дорогая. Автоматическая механическая система не эффективна для всех вод, и в большинстве случаев требует периодического вывода из работы для химической очистки. Более того, такие системы очистки требуют частое сервисное обслуживание. В сравнении, автоматические химико-механические системы очистки эффективны и работают без обслуживания до 6 месяцев и дольше.

Таблица 1.5 – качество воды (перед УФ установками) на четырёх участках очистных сооружений. Пояснение: **Treatment** (Очистка), **Primary** (Первичная),

**Secondary** (Вторичная), **Secondary** (Вторичная), **Tertiary** (Третичная), **Co-agulant** (Коагулянт), **None** (Отсутствует), **Ferric Salt** (Соли железа), **Alum** (Алум), **TSS (mg/L)** (Взвешенные вещества), **TDS (mg/L)** (Общие растворённые вещества), **Hardness** (Жёсткость), **Fe (mg/L)** (Железо).

Site Reference	1	2	3	4
Treatment	Primary	Secondary	Secondary	Tertiary
Co-agulant	None	Ferric Salt	Alum	Alum
UVT (%)	25 - 45	70 - 80	65 - 75	70 - 80
pH	6.5 - 7.5	7.0 - 7.6	6.7 - 7.3	7.0 - 7.6
TSS (mg/L)	150 - 200	5 - 10	15 - 35	< 5
TDS (mg/L)	600 - 700	700 - 800	450 - 550	600 - 700
Hardness	300 - 400	200 - 250	200 - 250	250 - 350
Fe (mg/L)	1.5 - 2.0	0.2 - 0.6	<0.02 - 0.05	0.05 - 0.20

В исследовании были применены стандартные системы с лампами низкого давления (Trojan UV 3000 Plus) без систем очистки, с механическими системами и химико-механическими системами.

Таблица 1.6 – Потеря УФ трансмиссии стёкол (в процентах) в день в установках без систем очистки.

Site Reference	1	2	3	4
Treatment	Primary	Secondary	Secondary	Tertiary
Co-agulant	None	Ferric Salt	Alum	Alum
Fouling Rate (%)	20.7	9.8	2.1	9.4

Как видно из таблицы 1.6, на всех четырех участках произошло быстрое снижение эффективности работы УФ установок без систем очистки стёкол.

Приемлемый уровень потери УФ стёкол не должен превышать 20% (то есть, УФ проводимость стёкол не должна опускаться ниже 80% по сравнению с изначальной проводимостью) – согласно Нормативам для Питьевой Воды и повторному использованию воды 2000 (NWRI Guidelines for Drinking Water and Water Reuse, 2000). В противном случае требуется остановка работы и вывод модуля для ручной химической очистки и сервисного обслуживания механизмов очистки.

Таблица 1.7 – Необходимая частота вывода установки из работы для ручной химической очистки и сервисного обслуживания механизмов очистки.

Site Reference	1	2	3	4
Treatment	Primary	Secondary	Secondary	Tertiary
Co-agulant	None	Ferric Salt	Alum	Alum
No Wipe	1 day	2 days	9 days	2 days
Mech Wipe Design 1	2.5 months	40 days	6 months	3 months
Mech Wipe Design 2	2 months	15 days	> 6 months	1 month
Chem / Mech Wipe	> 4 months	> 5 months	> 6 months	> 5 months

Результаты показывают, что без систем очистки стёкол вывод установки из работы требуется каждые 1 – 9 дней.

Установки с системами механической очистки (двух различных дизайнов) показали различные результаты. Спрогнозировать частоту вывода из работы основываясь на показателях качества воды – было невозможно.

На всех четырёх участках установки с химико-механической системой очистки смогли обеспечить чистоту стёкол на уровне 95% по сравнению с первоначальным показателем.

Типично, как только стёкла начинают засоряться, механические системы уже не могут поддерживать чистоту стёкол и эффективность работы установки быстро снижается.

Испытания показали, что процесс загрязнения стёкол – сложный, специфический для каждого объекта, и трудно прогнозируемый.

Данные по качеству воды не смогли обеспечить связь между компонентами воды и степенью загрязнения (и качества очистки от загрязнений).

На всех участках, УФ установки с механической очисткой стёкол требуют периодического вывода установок из эксплуатации и ручной химической очистки стёкол.

Необходимо обеспечить баланс между обеспечением достаточной чистоты стёкол и повышенным износом очистных систем (трудозатраты и запчасти). Механические системы очистки стёкол как правило требуют высокой частоты запуска очистки (например, каждые 15 минут) для предотвращения накопления загрязнений на стёклах.

Химико-механическая система способна поддерживать высокую УФ проводимость стёкол со значительно более редкой частотой запуска очистки, поскольку химическая очистка позволяет убирать все слои загрязнений.

Режим работы, позволяющий понижение УФ проводимости стёкол на уровень 80% (по сравнению с чистым стеклом) между выводами установки из работы на ручную химическую очистку, приведёт к необходимости увеличения объёмов УФ оборудования на 25% для компенсации потери интенсивности УФ из-за загрязнения стёкол. Также, потребуется увеличение мощности УФ установки для поддержки УФ дозы между чистками стёкол.

Рекомендуется, что частота запуска системы очистки стёкол должна обеспечить условия, при которых УФ прозрачность стёкол не должна опускаться ниже 95% от первоначального показателя. Для установок с химико-механическими системами очистки, такая частота может быть 1 раз в 12 часов на объектах с трудной водой, и 1 раз в 24 часа – на менее проблематичных объектах.

## **1.8 Ультрафиолет + ультразвук**

### **1.8.1 Ультразвуковая кавитация**

Ультразвук — упругие звуковые колебания высокой частоты. Обычно диапазон частот от 20 кГц до миллиарда Гц считают ультразвуковым диапазоном. А в жидкой среде и твердых телах звуковые колебания могут достигать частоты в 1000 ГГц.

Ультразвуковая кавитация представляет собой образование в жидкой среде, находящейся под ультразвуковым облучением, пульсирующих и схлопывающихся пузырьков, внутри которых пар, газ или их смесь. Кавитационные пузырьки в распространяющейся в жидкости ультразвуковой волне возникают и расширяются во время полупериодов разрежения и сжимаются после перехода в область повышенного давления.

В идеальных однородных жидкостях пузырьки могут возникнуть лишь при весьма высоких растягивающих усилиях (отрицательных давлениях), превосходящих прочность жидкости. Прочность реальных жидкостей довольно

низка из-за того, что в них всегда достаточно много зародышей кавитации – микропузырьков газа, пылинок гидрофобных частиц и т. д.

Порогом кавитации называется интенсивность ультразвука, ниже которой не наблюдаются кавитационные явления. Порог кавитации зависит от параметров, характеризующих как ультразвук, так и саму жидкость.

Для воды и водных растворов пороги кавитации возрастают с увеличением частоты ультразвука и уменьшением времени воздействия.

При расширении пузырьков-зародышей, попадающих в область пониженного давления, в пузырек испаряется жидкость и диффундирует растворенный в жидкости газ. Если температура жидкости значительно ниже точки кипения, то пузырьки растут главным образом в результате диффузии.

При повышении давления в следующую половину периода колебания пузырек сжимается, направление диффузии меняется, и молекулы диффундируют из пузырька в жидкость. Количество протиффундировавшего газа пропорционально площади поверхности пузырька. Эта площадь в стадии сжатия меньше, чем в стадии расширения. Поэтому количество газа, попадающего в пузырек при расширении, несколько больше количества газа, выходящего из пузырька при его сжатии. Поэтому после каждого цикла сжатия-растяжения в пузырьке остается избыток газа.

Накопление газа в пузырьке, обуславливающее рост среднего размера пузырька в поле переменного давления, называется выпрямленной, или направленной, диффузией. Диффузионный механизм обеспечивает сравнительно медленный рост зародышей, и при высокой частоте ультразвука они успевают совершить значительное число пульсаций, прежде чем достигнут резонансных размеров. Амплитуда пульсации пузырька с резонансными размерами (для данной частоты ультразвука) будет максимальной. Пульсирующие в течение многих периодов пузырьки называются стабильными полостями, а само явление, связанное с существованием в жидкости таких пузырьков, - стабильной кавитацией.

Повышение интенсивности ультразвука приводит к нестабильной кавитации: пузырьки довольно быстро (за несколько периодов) достигают резонансного размера, стремительно расширяются, после чего резко захлопываются.

Предполагается, что при захлопывании содержащаяся в пузырьке парогазовая смесь, адиабатически (не успевая обменяться теплом с окружающей средой) сжимается до давления 105 Па (300 атм) и нагревается до температур порядка 8000 - 12000 К. Известно, что уже при 2000 К около 0,01 % молекул  $H_2O$  внутри пузырька диссоциируют на водородные и гидроксильные свободные радикалы. Эти радикалы могут рекомбинировать с образованием электронно-возбужденных состояний молекул  $H_2O$ : При переходе молекул  $H_2O$  из электронно-возбужденного состояния в основное высвечивается квант света - происходит сонолюминесценция.

Свободные Н и ОН радикалы могут диффундировать в раствор и вступать в реакции с растворителем или растворенными веществами, инициируя радикальные химические процессы.

Захлопывающиеся кавитационные пузырьки порождают в жидкости мощные импульсы давления и ударные волны.

Кавитация в жидкой среде сопровождается следующими явлениями:

- характерным шумом во всем диапазоне частот и сильным акустическим сигналом на частоте, равной половине частоты ультразвука, вызвавшего кавитацию;
- ускорением одних химических реакций и инициированием других;
- интенсивными микропотоками и ударными волнами, способными перемешивать слои жидкости и разрушать поверхности граничащих с кавитирующей жидкостью твердых тел;
- ультразвуковым свечением, а также различными биологическими эффектами.

Вследствие концентрирования энергии в очень малых объемах ультразвук может вызывать такие явления, как разрыв химических связей макромолекул,

инициирование химических реакций, эрозию поверхностей твердых тел и свечение. Кавитация в суспензии клеток.

При повышении интенсивности ультразвука до значений, когда в среде возникают механические усилия, сравнимые с прочностью клеточных мембран, начинается процесс разрушения клеток.

Обычно появление значительных механических возмущений в жидкостях связано с возникновением в них стабильных и нестабильных газовых пузырьков, которые могут образоваться в воде и водных средах, если интенсивность ультразвука превышает порог кавитации.

При высоких частотах ультразвукового воздействия на суспензию клеток механизмы разрушения также имеют механическую природу. Пороговая интенсивность ультразвука, вызывающего гибель клеток, зависит как от частоты ультразвука, так и от типа клеток.

Ультразвуковая дезинтеграция клеток получила широкое применение в биотехнологии, и биохимических и вирусологических исследованиях для выделения отдельных веществ или фрагментов клеток, а также в лабораторной диагностике для определения механической резистентности клеточных мембран.

### **1.8.2 Обеззараживание питьевой воды и сточных вод ультрафиолетовым излучением и ультразвуком**

Идя по направлению поиска действенных методов дезинвазии воды исследования последних лет показали, что наиболее доступным методом является ультрафиолетовое излучение. Эффективность обеззараживания ультрафиолетовым облучением зависит от параметров исходной воды, подвергающейся обработке. Наличие в воде нерастворимых взвесей должно учитываться при работе УФ-установок, поскольку они снижают эффективность ультрафиолетового обеззараживания, т.к. данные вещества поглощают собой часть излучения, а также заслоняют собой целевые микроорганизмы от их невеселой участи. В диапазоне ультрафиолетового излучения 250 - 270 нм происходит эффективная инактивация ооцист криптоспоридий, поэтому было

установлено, что для обеззараживания воды могут использоваться лампы низкого и среднего давления. В России методы обеззараживания и действующие нормы по дозам ультрафиолетового облучения в 16-25 мДж/см<sup>2</sup> для питьевой воды и 30 мДж/см<sup>2</sup> для хозяйственно-бытовых и промышленных не обеспечивают необходимой инактивации патогенной микрофлоры. Более того, следует учесть естественный процесс эволюции и повышение устойчивости микроорганизмов к воздействию популярных методов обеззараживания, таким как хлор, озон и ультрафиолет. Ведущие научные центры в своих отчетах дают понять, что за последние десятилетия устойчивость микроорганизмов к хлору повысилась в 5 раз, к озону - в 2-3 раза, к ультрафиолету - в 4 раза. Отсюда может следовать только, что с учетом дальнейшего повышения устойчивости микроорганизмов к распространенным методам обеззараживания, необходимо будет при проектировании будущих сооружений закладывать уровни воздействия с учетом динамики роста сопротивляемости микроорганизмов. Поэтому на сегодняшний день в развитых странах в нормах уже учтен данный нюанс и минимальная доза ультрафиолетового облучения составляет 40 мДж/см<sup>2</sup>, а для проектируемых станций закладывается доза ультрафиолетового облучения уже в 70-100 мДж/см<sup>2</sup>. В таком случае необходимо рассмотреть методы комплексного воздействия различных дезинфицирующих средств на обрабатываемую воду.

Одним из комплексных методов обеззараживания воды, разработанный еще в середине 90-х годов, но скорее всего не получил популяризацию в то время, является метод, в котором предлагается использование совместного воздействия на воду ультрафиолетовым излучением и ультразвуком. В основе выше предложенного метода закладывается непрерывная обработка воды УФИ, с плотностью потока не менее 40 мДж/см<sup>2</sup> и с одновременным ультразвуковым воздействием плотностью около 2 Вт/см<sup>2</sup> и акустическими колебаниями. Представленный метод был успешно реализован и апробирован в бактерицидных установках (рис. 1.12).



Рисунок 1.12 – УФ-установки обеззараживания с технологией совмещения ультрафиолетового излучения и ультразвука

Излучатель, размещенный непосредственно в корпусе, обрабатывает проходящий по камере установки поток воды ультразвуком. В процессе обработки проходящего потока воды ультразвуком, в воде при этом образуются короткоживущие парогазовые «каверны». За счет резкого изменения давления и температуры при образовании и последующим схлопыванием пузырьков в воде уничтожается патогенная микрофлора. В роли неоднородностей выступают споры грибов, бактерии, собственно и являющиеся мишенями обработки. Оценивая эффективность этого комплексного метода по степени инактивации патогенной микрофлоры в сравнении только с ультрафиолетовым обеззараживанием (рис. 1.13 и 1.14) получается, что при аналогичных энергетических затратах это воздействие эквивалентно  $150 \text{ мДж/см}^2$ , что практически недостижимо в приемлемых экономически целесообразных вариантах ультрафиолетовых установок, производимых компаниями в США, Европе и в России.

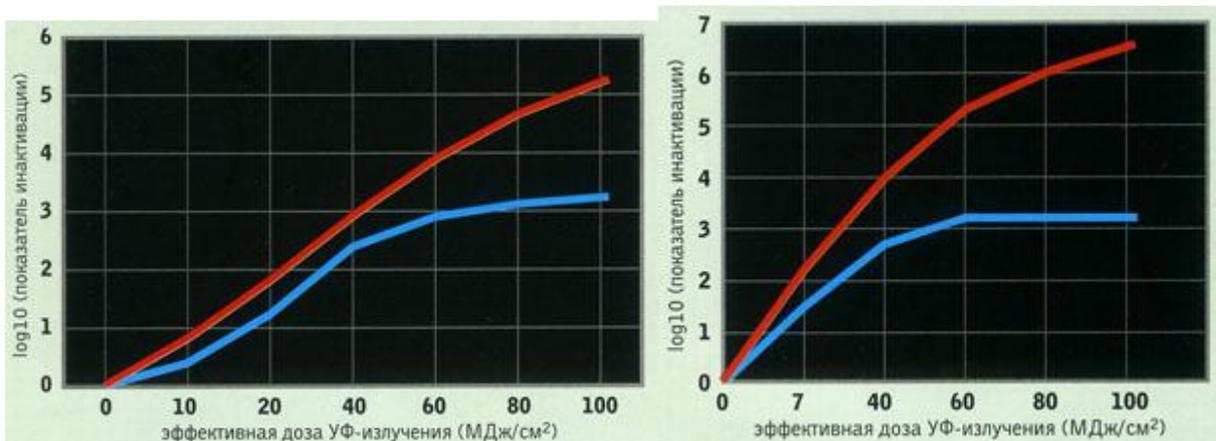


Рисунок 1.13 – Логарифм показателя инактивации фага *MS 2*. Логарифм показателя инактивации эндоспор *Bacillus subtilis*

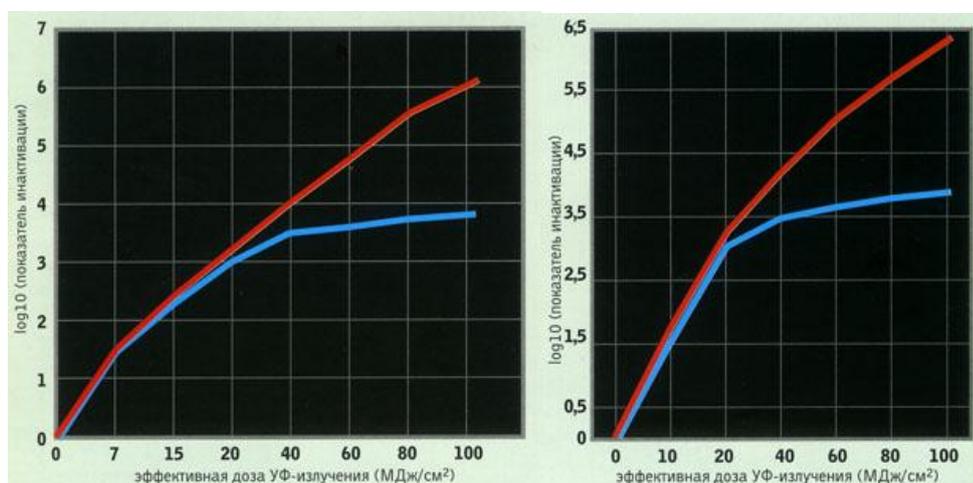


Рисунок 1.14 – Логарифм показателя инактивации цист *Giardia Muris*. Логарифм показателя инактивации ооцистов *Cryptosporidium parvum*

Подобная эффективность (рис. 1.15) бактерицидных установок с технологией «Ультразвук + Ультрафиолет» дает практически безусловный гарант надежности в обеззараживании воды на ближайшие десятилетия. Дополнительно можно учесть в плюс более низкие требования к прозрачности воды, количеству взвешенных в воде частиц, а также, благодаря ультразвуку, отпадает необходимость столь периодической очистки кварцевых защитных чехлов ламп от отложений.

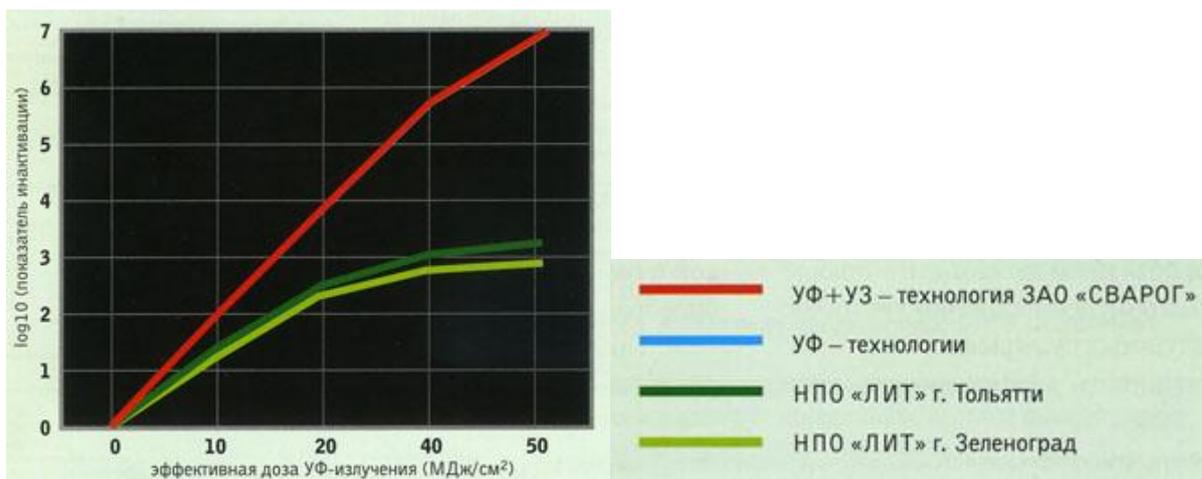


Рисунок 1.15 – Логарифм показателя инактивации *E. coli*

Испытания и тестирования установок с технологией «Ультрафиолет + Ультразвук» проходили в крупных аккредитованных центрах России, ЮАР, Новой Зеландии и др. Испытаниями было безусловно доказано, что при совместной работе ультрафиолетового излучения и ультразвука, присутствует синергетический эффект.

Таблица 1.8 – Инактивация по MS 2 фагу при одновременном воздействии ультрафиолетового излучения и ультразвука

УФ + УЗ		
Скорость потока, (л/мин)	MS2 Log инактивации	Плотность потока (мДж/см²)
4,5	5,43	>75,3
12	5,03	>75,3
20	3,78	65,2

Таблица 1.9 – Результаты сертификационных испытаний на бактерицидной установке серии «Лазурь М».

Скорость потока (л/мин)	E. coli, до				среднее	E.coli, после *			среднее	Log инактивации
	1	2	3	4		1	2	3		
4,5	8.10E+07	8.10E+07	9.10E+07	8.43E+07	<1	<1	1.00E+00	1.00E+00	7.9	
12	6.70E+07	1.00E+08	1.00E+08	8.90E+07	<1	<1	<1	<1	>7.9	
20	6.10E+08	7.90E+08	7.00E+08	7.00E+08	<1	<1	<1	<1	>8.8	

Скорость потока (л/мин)	Palo PFE, до				среднее	Palo PFE, после *			среднее	Log инактивации
	1	2	3	4		1	2	3		
4,5	2.24E+04	3.14E+04	2.54E+04	2.64E+04	<100	<100	<100	<100	>2.4	
12	2.92E+05	1.66E+05	2.11E+05	2.23E+05	<100	<100	<100	<100	>3.3	
20	1.14E+05	1.03E+05	4.70E+04	8.80E+04	<100	<100	<100	<100	>2.9	

\* - Показатель количество микроорганизмов после обработки, лимитируется чувствительностью прибора контроля.

### **1.8.3 Эффект воздействия ультразвуковых волн на формирование биоплёнки**

Образование и рост биоплёнки (биообрастание) происходит повсеместно в системе где присутствует биоразлагаемые вещества и кислород. Биоплёнка формируется из органических и неорганических веществ:

Органические вещества:

- Бактерии, колонии связанные с биоплёнкой, особенно бактерии вида *Aeromonas*, которые имеют способности формировать биоплёнку.
- Высшие организмы (амёбы, инфузории и т.п.)
- Внеклеточные органические полисахариды, выделяемые бактериями для начала роста биоплёнки и её закрепления.

Неорганические вещества:

- Карбонаты и оксиды кальция и магнезия, свободные ионы кальция также связаны с ростом биоплёнки.
- Металлы, такие как железо, также наблюдаются в биоплёнке.

Скорость развития биоплёнки зависит от количества имеющегося кислорода и ХПК.

Обмывочная вода в процессе мойки яблок и груш содержит большое количество легко биологических разлагаемых веществ, в основном сахаров. Яблоки и груши не содержат большое количество азота и фосфора в своей биомассе. При биологической деградации ХПК, микробная биоплёнка имеет недостаток в питательных веществах.

Как следствие, развитие биоплёнки ограничено в скорости роста, и питательные вещества передаются от бактерии к бактерии. Реакция бактерий на рост в условиях дефицита питательных веществ выражается в выработке внеклеточного полимерного вещества, необходимого для закрепления

биоплёнки. Это вещество приводит к образованию весьма слизистой био­плёнки.

Таким образом, данная об­мывочная вода является наиболее подходящей средой для проведения тестов по удалению био­плёнки с кварцевых защитных чехлов за счёт применения ультразвуковых волн в УФ реакторе. В следующем разделе представлены результаты тестов.

В первой фазе теста, УФ лампы включены и система работает без применения ультразвука. Вода насыщена ХПК (легко биоразлагаемым) и кислородом. Слизистая био­плёнка сформировалась на стенках реактора и на кварцевых защитных стёклах в течение двух недель. В результате образования био­плёнки, доза УФ упала до нулевой отметки поскольку УФ свет не пропус­кался через плотно сформированную био­плёнку на стёклах. Фотографии ниже демонстрируют биооб­растание.



Рисунок 1.16 – Биооб­растание кварцевых защитных стёкол

Био­плёнка сформировалась не только на кварцевых защитных стёклах, но и на стенках реактора (прикреплена к металлу). Во второй стадии теста был включён ультразвук. Ультразвуковые волны создают эффект кавитации в воде, и схлопывающиеся пузырьки газа разрушают био­плёнку и последовательно её удаляют.

- После трёх часов, биоплёнка удалена на 50%.
- После 24 часов, биоплёнка полностью удалена с кварцевого стекла и самого реактора.



Рисунок 1.17 – После 3 часов обработки ультразвуком: сокращение биоплёнки.



Рисунок 1.18 – После 24 часов: полностью очищенное стекло и УФ реактор.

Тесты были проведены с ультразвуковой системой, которая является функциональной частью технологии и установки Лазурь:

- Тестируемая вода имеет огромный потенциал для формирования биоплёнки.
- Ультразвуковая система способна полностью удалить биоплёнку в течение 24 часов.
- При работающей ультразвуковой системе, не возникает никакого биообрастания кварцевых стёкол и реактора.

## 1.9 Выводы по 1 главе

1. Обеззараживание воды в системах питьевого водоснабжения имеет весьма важное значение, т.к. это барьер на пути возможной передачи болезнетворных микроорганизмов через воду потребителю.
2. Хлорирование – самым популярный химический метод обеззараживания воды. Это объясняется достаточной эффективностью, простотой и дешевизной. Но имеющий свои недостатки, которые можно и нужно компенсировать.
3. Уровень эффективности обеззараживания воды ультрафиолетовым облучением зависит от интенсивности излучения и продолжительности воздействия. И чем выше прозрачность воды для ультрафиолетовых лучей, тем меньше надо затратить энергии на обеспечение одной и той же дозы для эффективного УФ-обеззараживания.
4. Минусом метода УФ обеззараживания является полное отсутствие последствия. Отсюда следует, что на стадии обработки воды УФ лучами нужно добиваться максимально возможной эффективности обеззараживания.
5. Достаточно сильное значение, влияющее на уровень обеззараживания при ультрафиолетовом облучении, играет то, что защитные чехлы ламп со временем загрязняются органическими и минеральными отложениями.
6. Воздействие ультразвуком на воду образует пустоты, в следствии чего создает большую разность давления (кавитация), что приводит к разрыву оболочки клеток и к их гибели. Бактерицидное действие ультразвука основано на данном свойстве. Обеззараживание воды с помощью ультразвука показывает неплохую эффективность даже при отдельном рассмотрении, а при комплексном использовании тем более.
7. Одним из перспективных комбинированных методов для обеззараживания воды является технология, использующая одновременное воздействие на воду ультрафиолетового излучения и ультразвука.



## 2 СУЩЕСТВУЮЩИЕ СИСТЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ С УФ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕМ

### 2.1 ООО «Автоград-Водоканал»

ООО «АВК» осуществляет забор воды из Куйбышевского водохранилища для бытового и производственного водоснабжения Автозаводского района, промышленной площадки ОАО «АВТОВАЗ» и предприятий ПКЗ и ТЭЦ ВАЗа. Водозаборные сооружения расположены на 1498 км от устья реки Волга в Ставропольском районе Самарской области на левом берегу Куйбышевского водохранилища, западнее села Подстепки на 5 км. Забор воды осуществляется с глубины 18 м. Проектная производительность водозаборных сооружений – 378 тыс.м<sup>3</sup> в сутки. Фактическая производительность - 332 тыс.м<sup>3</sup> в сутки. Дата ввода в эксплуатацию - август 1970 года. Вода насосами по пяти ниткам трубопроводов подается на очистные сооружения, «ТЭЦ ВАЗа» Самарского филиала ОАО «Волжская ТГК», на поливные нужды других абонентов.

#### *Очистные сооружения водоподготовки ООО «АВК»*

Сооружения водоподготовки обеспечивают хозяйственно-питьевые производственные и противопожарные потребности жилого района г.о. Тольятти, предприятий промышленно-коммунальной зоны, «ТЭЦ ВАЗа» Самарского филиала ОАО «Волжская ТГК», ОАО «АВТОВАЗ». Система водоснабжения является централизованной, I-ой категории, объединенной.

Технологический состав сооружений:

1. блоки УФ-обеззараживания (4шт.);
2. реагентное хозяйство;
3. вертикальные смесители (4шт.);
4. горизонтальные отстойники (4шт.);
5. открытые скорые фильтры (16шт.);
6. хлораторная;
7. резервуары питьевой воды 20тыс.м<sup>3</sup> (4шт.);
8. насосная станция второго подъема;

## 9. станция повторно используемой воды.

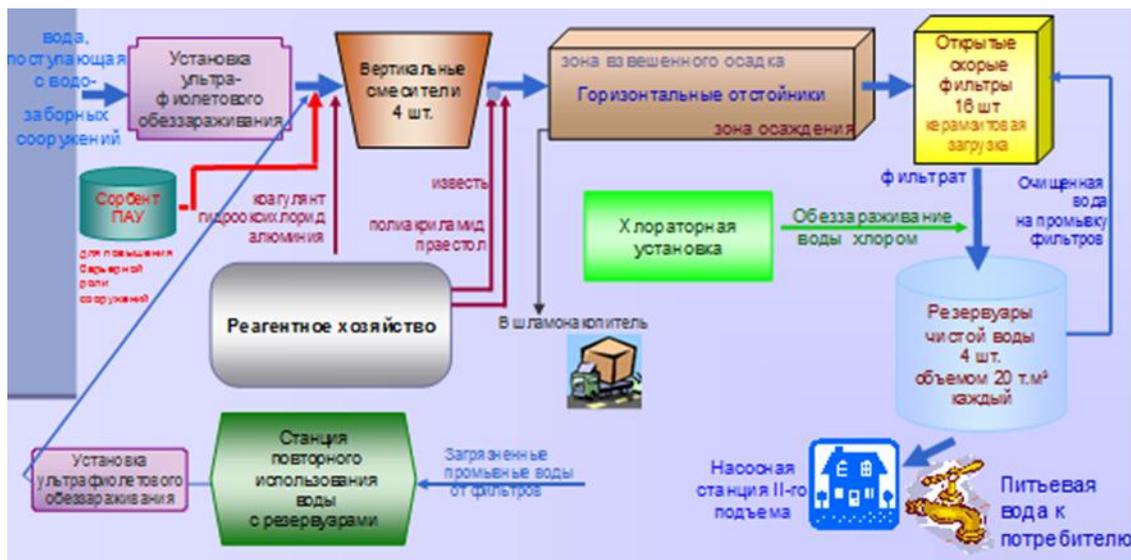


Рисунок 2.1 – Схема подготовки воды, ООО «Автоград-Водоканал»

По графику производится контроль качества воды на входе и на выходе станции водоподготовки, также фиксируются параметры исходной воды. Контроль производится аккредитованной лабораторией организации, а также надзорными организациями.

Имеются четыре независимые линии обработки воды. Применяемые методы очистки: обеззараживание ультрафиолетовым облучением, коагулирование, отстаивание, фильтрование, стабилизационная обработка, хлорирование.

Обеззараживание ультрафиолетовым облучением производится на первичном этапе. Комплекс состоит из 16 установок ультрафиолетового обеззараживания воды, по четыре в блоке, производительность каждой 1100 м<sup>3</sup>/час. Расположение обеззараживания ультрафиолетовым облучением позволило отказаться от первичного хлорирования, оставляющее в воде загрязнение хлорорганическими веществами, и дать антивирусный барьер на дальнейших стадиях.

Данная проектная схема водоподготовки не работает на очистку от солей жёсткости, щёлочности, сухого остатка, анионных ПАВ, летучих фенолов и радиоактивности, позволяет очищать воду в основном от дисперсных частиц.

Органические вещества частично удаляются путем коагулирования и обеззараживания, но этого недостаточно при такой степени загрязнения.

## 2.2 УФ-обеззараживание в системе водоснабжения города Череповца

МУП «Водоканал» - это организация, осуществляющая холодное водоснабжение жителям г. Череповца и Череповецкого района (п.Тоншалово, д. Ботово, д. Малечкино, д. Ирдоматка), а также в полном объеме объектам социального назначения и крупным промышленным и пищевым предприятиям.

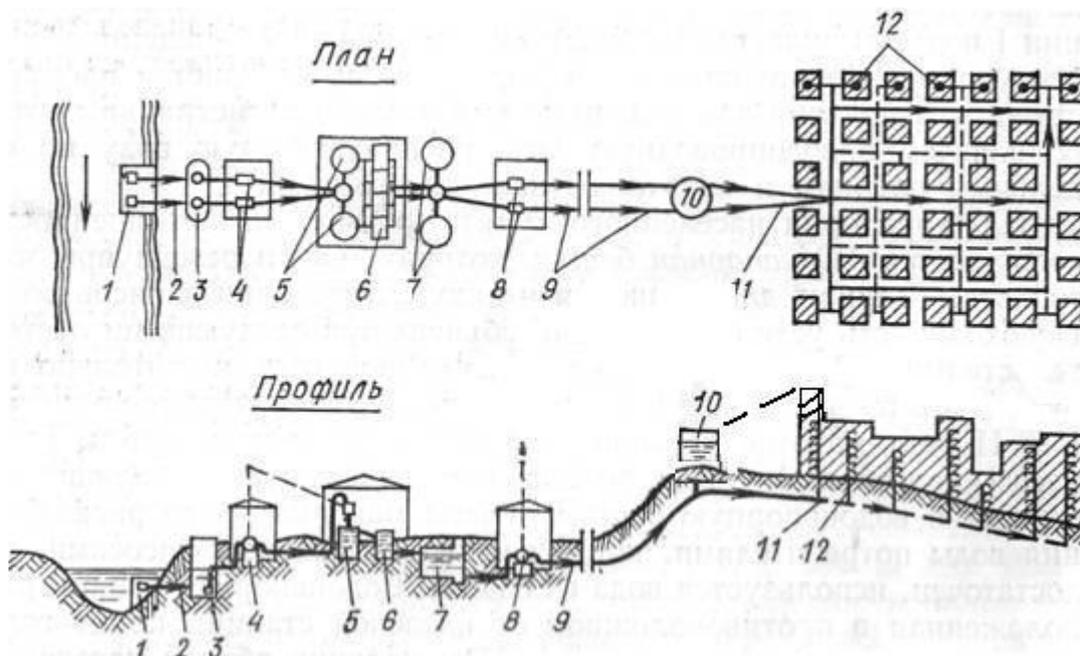


Рисунок 2.2 – Структура системы водоснабжения г. Череповца. 1 — водозаборные сооружения; 2 — самотечные трубопроводы; 3 — береговой колодец; 4 — насосные станции I подъема; 5,6 — водоочистные сооружения; 7 — резервуары чистой воды; 8 — насосные станции II подъема; 9 — водоводы; 10 — повысительные насосные станции; 11 — магистральные трубопроводы; 12 — распределительные трубопроводы.

Данная централизованная система является единой и осуществляет водоснабжение всех районов города и части его окрестностей. Забор воды производится из Шекснинского руслового участка (далее – ШРУ) Рыбинского водохранилища.

Вода источника относится к маломутным, цветным водам, имеет невысокий щелочной резерв. Средние значения показателей цветности 60-90 град. (мах 130 град) имеют небольшие сезонные колебания. Мутность – до 20

мг/л поднимается в паводковые периоды, в остальное время года средние показатели равны 3,5-7,9 мг/л, рН – 7,6 – 7,95. Общая минерализация не более 200мг/л. Характерной особенностью водоема является обильное цветение воды в период с мая по ноябрь, что влечет за собой повышенное содержание фито- и зоопланктона затрудняющее процесс водоочистки (снижает эффективность работы обеззараживающих агентов, образуют «панцирь» на поверхностях фильтрующих сооружений). Также ухудшаются органолептические показатели качества питьевой воды, появляется специфический неприятный запах. Из фитопланктона преобладают диатомовые, сине-зеленые и зеленые водоросли. Общее количество водорослей от 2000 до 50000 клеток/мл. По числу бактерий группы кишечной палочки водоем относится к 3 классу ГОСТ 2761-84 (коли-индекс до 50000 ед/дм<sup>3</sup>).

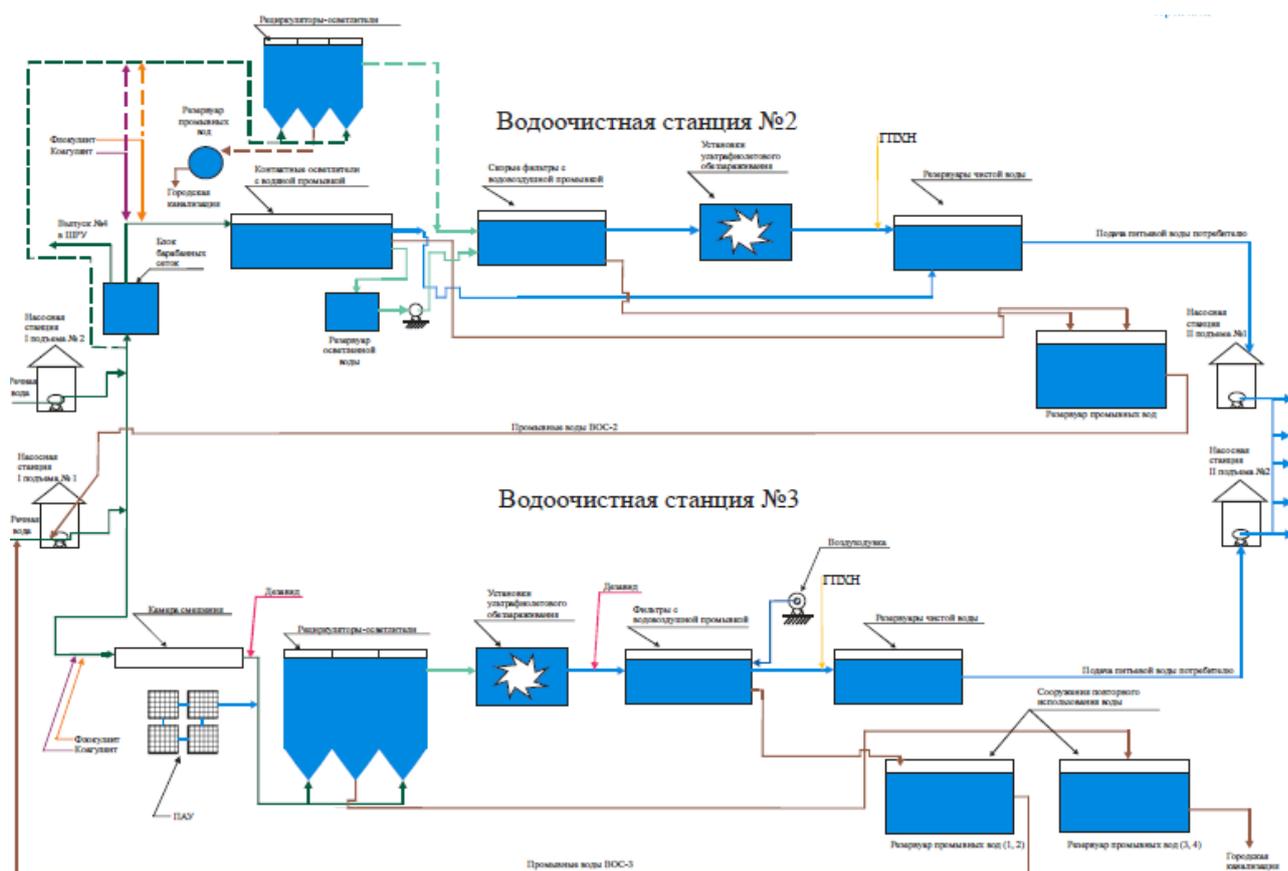


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема водоподготовки на КВОС города  
Череповца

*Водоочистные станции*

ВОС № 2 Производительность станции – 100 тыс.м.куб./сут. Первая очередь (12 штук контактных осветлителей) введена в эксплуатацию в 1962 году, вторая очередь (еще 12 штук) – в 1973 году. Процесс водоподготовки осуществляется по одноступенчатой схеме очистки с использованием контактных осветлителей.

В 2006-2007 годы была начата реконструкция ВОС-2 с переходом на более эффективную двухступенчатую схему водоочистки. Первая ступень – контактные осветлители (12 единиц), вторая – скорые фильтры (12 единиц).

ВОС № 3 Производительность 110 тыс.м.куб./сут. Введена в эксплуатацию в два этапа: в 2000 году – 12 рециркуляторов-осветлителей и 7 скорых фильтров, в 2001 году – еще 12 рециркуляторов-осветлителей и 6 скорых фильтров. ВОС № 3 работает по двухступенчатой схеме водоочистки. Первая ступень – осветлители-рециркуляторы (24 единицы), вторая – скорые фильтры (13 единиц).

Станции работают параллельно, регламент их работы определен технологической службой в зависимости от потребности города в питьевой воде.

Вся вода, производимая комплексом водоочистных сооружений, обрабатывается ультрафиолетом. Технология УФ-обеззараживания была внедрена на КВОС МУП «Водоканал» в 2002-2003гг.

В состав станций УФО входит:

- 4 установки типа УДВ-1000/288-Д14 на водоочистной станции №2
- 8 установок типа УДВ-1000/288-Д14 на водоочистной станции №3.

Расположение узла УФ-обеззараживания на промежуточной стадии водоподготовки создает надежный барьер к распространению бактериологических загрязнений. Результаты внедрения УФ-обеззараживания в технологию производства питьевой воды - отсутствие в питьевой воде колифагов, антигена ротавирусов и гепатита А, общих колиформных бактерий.

В 2012 году была проведена модернизация действующего оборудования ультрафиолетового обеззараживания (УФО) ВОС№3, в результате которой

появилась возможность проводить автоматическое регулирование мощности УФ ламп, снизить потребление электроэнергии, сократить эксплуатационные затраты, в т.ч. затраты на утилизацию отработанных ламп и повысить эффективность обеззараживания питьевой воды (инактивации вирусов, цист патогенных простейших и других микроорганизмов) независимо от качества воды водоисточника.

В настоящее время использование инновационной реагентной технологии водоподготовки в сочетании с уже с применяемым УФО позволило при оптимальной дозе дезинфицирующего средства «Дезавид-концентрат» получать питьевую воду с окисляемостью 2,5-3,9 мг/дм<sup>3</sup>, с содержанием остаточного алюминия 0,08-0,11 мг/дм<sup>3</sup>, хлороформа 0,002-0,045 мг/дм<sup>3</sup>, что соответствует требованиям новых гигиенических нормативов ГН 2.1.5.2280-07 «Дополнения и изменения №1 к ГН 2.1.5.1315-03 «ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».

Таблица 2.1 – Сравнительная таблица показателей качества питьевой воды

Наименование показателя	Традиционная схема водоподготовки (аммиачная вода + хлор + коагулянт + флокулянт + УФО)	Инновационная схема водоподготовки (коагулянт + дезавид + УФО)	ПДК по ГН 2.1.5.2280-07, ГН 2.1.5.1315.-03
Цветность	до 20 град.	до 10 град.	20 град.
Мутность	до 0,28 мг/дм <sup>3</sup>	отс.	1,5 мг/дм <sup>3</sup>
Остаточный алюминий	до 0,50 мг/дм <sup>3</sup>	до 0,05 мг/дм <sup>3</sup>	0,2 мг/дм <sup>3</sup>
Хлороформ	до 0,60 мг/дм <sup>3</sup>	до 0,045 мг/дм <sup>3</sup>	0,06 мг/дм <sup>3</sup>
Перманганатная окисляемость	до 5 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	до 3,5 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	5,0 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>

## 2.3 УФ-обеззараживание в системе водоснабжения города Новосибирска

В последние годы на станциях водоподготовки МУП г. Новосибирска «Горводоканал» был внедрен ряд передовых технологий и инновационных решений, позволивших значительно повысить качество очищенной воды.

По проекту на станциях водоподготовки очистка поверхностной воды, забираемой из реки Обь, осуществлялась по классической схеме – горизонтальные отстойники и скорые фильтры, с первичным и вторичным хлорированием.

Современная концепция водоподготовки основана на принципе многобарьерной очистки, надежно обеспечивающей эпидемиологическую безопасность и высокое качество воды. Такой подход, в сочетании с использованием современных систем управления, в настоящее время применяется на новосибирских сооружениях водоподготовки – насосно-фильтровальных станциях.

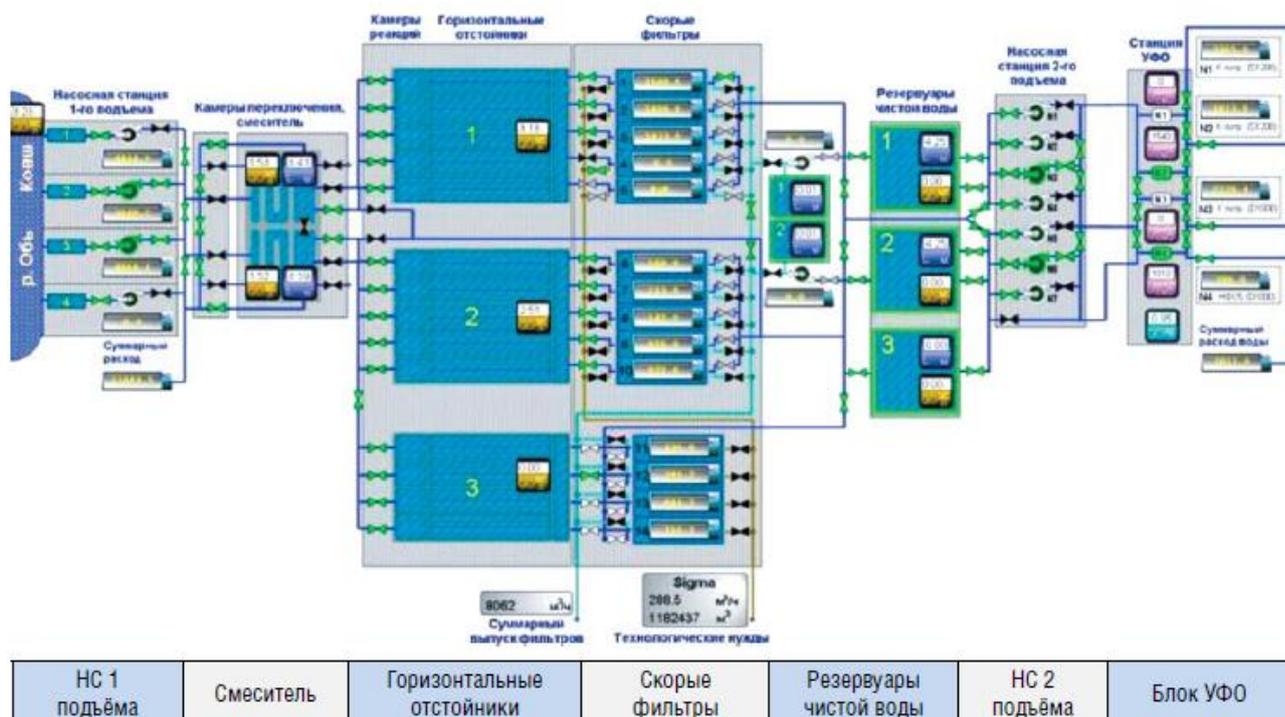


Рисунок 2.4 – Технологическая схема НФС

Для укрепления антивирусного и бактерицидного барьера в дополнение к основной схеме обеззараживания воды хлорированием в 2010 г. было внедрено обеззараживание ультрафиолетом на НФС-1, а в 2013 г. – на НФС-5 (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Установки УФО

Цеха оснащены современным отечественным оборудованием, полностью автоматизированным (рис. 2.6), для обработки воды используются амальгамные лампы высокой мощности, и большой срок службы (не менее 16 тыс.ч.). В каждом цехе по четыре установки, обрабатывающие до 15 тыс.м<sup>3</sup>/час воды на НФС- 1 и до 25 тыс.м<sup>3</sup>/ч на НФС-5, т.е. всю воду, идущую на нужды города.

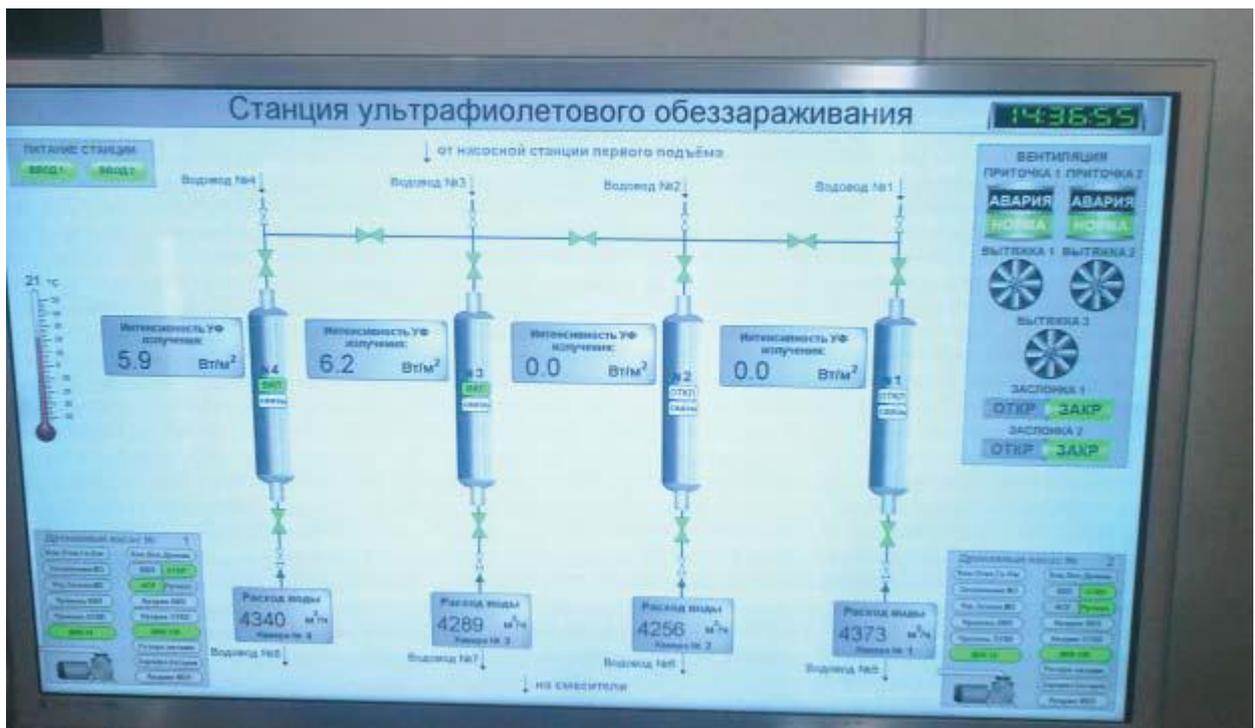


Рисунок 2.6 – Автоматизация УФО

Таблица 2.2 – Основные показатели качества питьевой воды на НФС МУП г. Новосибирска «Горводоканал»

Показатели качества	Единицы измерения	Нормативы Сан ПиН 2.1.4.1074-01 «Вода питьевая», ГН2.1.5.1315-03, ГН 2.1.5.2280-07, не более	Результаты контроля	
			предельные значения	средние значения
1	2	3	4	5
<b>1. Органолептические показатели</b>				
1.1. Мутность по каолину	мг/дм <sup>3</sup>	1,5	<0,1–0,95	0,22
1.2. Цветность	град.	20	1–10	5,4
1.3. Запах	балл	2	0–1	1
1.4. Привкус	балл	2	0–1	0
<b>2. Обобщенные показатели</b>				
2.1. Водородный показатель	pH	в пределах 6–9	7,30–8,30	7,79
2.2. Сухой остаток	мг/дм <sup>3</sup>	1000	92–200	131
2.3. Жесткость общая	°Ж	7	1,25–3,65	2,34
2.4. Щелочность	ммоль/ дм <sup>3</sup>	не нормируется	1,20–3,45	2,22
2.5. Окисляемость	мгО/дм <sup>3</sup>	5	0,8–3,8	2,2
2.6. Фенольный индекс	мг/дм <sup>3</sup>	0,25	<0,0005	<0,0005
2.7. Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	<0,005	<0,005
2.8. АПАВ	мг/дм <sup>3</sup>	0,5	<0,025	<0,025
<b>3. Неорганические вещества</b>				
3.1. Хлор остаточный свободный	мг/дм <sup>3</sup>	в пределах 0,3–0,5*	0,3–0,48*	0,38*
3.2. Алюминий	мг/дм <sup>3</sup>	0,2**	0,020–0,160	0,061
3.3. Железо	мг/дм <sup>3</sup>	0,3	<0,05–0,19	0,060
3.4. Марганец	мг/дм <sup>3</sup>	0,1	0,0010–0,0290	0,0088
<b>4. Органические соединения</b>				
4.1. Хлороформ	мг/дм <sup>3</sup>	0,06**	0,008–0,055	0,032
4.2. Четыреххлористый углерод	мг/дм <sup>3</sup>	0,002**	<0,0001–0,0008	<0,0001

В настоящее время схема водоподготовки на НФС МУП г. Новосибирска «Горводоканал» включает в себя аммонизацию воды, подачу коагулянта (оксихлорида алюминия) современными автоматизированными системами и установками «MixLine» автоматического приготовления и дозирования флокулянта, первичное хлорирование, предварительное флокулирование, отстаивание, фильтрацию, вторичное хлорирование и ультрафиолетовое обеззараживание.

Комплексное использование в схеме водоподготовки нескольких технологий, некоторых технических решений, и методов очистки, не только делает эту схему исключительно надежной и практически универсальной, но и позволяет взаимоисключить недостатки почти каждого из методов в схеме, этим путем добиться наивысшей эффективности очистки и требуемого качества воды (табл. 2.2).

## **2.4 Водоподготовка на Слудинской водопроводной станции в городе Нижний Новгород**

Слудинская водопроводная станция снабжает питьевой водой часть Нижнего Новгорода по правому берегу р. Оки, которая является источником водоснабжения города. Как и большинство водопроводных станций крупных городов России Слудинская станция была построена и введена в эксплуатацию в послевоенные годы – в 1951 г. Первоначально подготовка воды на станции осуществлялась на осветлителях с взвешенным осадком и песчаных фильтрах, обеззараживание проводилось традиционным двухступенчатым хлорированием.

В последующие годы станция поэтапно развивалась в соответствии с потребностями города. Были построены новые резервуары чистой воды, реконструированы блок осветлителей, смесители, фильтры, возведены вторая насосная станция первого подъема и два блока очистки производительностью по 50 тыс. м<sup>3</sup>/сут, добавлены секции горизонтальных отстойников, модернизированы реагентное хозяйство и хлораторная. С ростом численности населения и развитием промышленности наращивалась производительность водопроводных сооружений от 20 тыс. м<sup>3</sup>/сут в 1954 г. до 120 тыс. м<sup>3</sup>/сут к 1979 г.

С 1980-х годов главным направлением стала модернизация сооружений с целью повышения качества и безопасности питьевой воды. В этот период подходы к решению этой проблемы претерпели принципиальные изменения во всем мире. Участвовавшие техногенные аварии и возросшее загрязнение водоисточников от промышленных предприятий заставили принимать во внимание широкий перечень показателей токсичности загрязняющих веществ антропогенного происхождения. После аварии в Чернобыле на большинстве крупных станций был введен радиационный контроль воды. Было установлено, что хлорирование воды приводит к образованию вредных для здоровья человека побочных продуктов – тригалометанов. Введено ограничение на содержание в питьевой воде остаточного алюминия, поступающего в нее при

коагуляционной очистке. Ужесточились требования к обеззараживанию воды: вместо единственного индикатора эпидемиологической безопасности – колииндекса – оценка стала производиться по шести показателям, относящимся к различным группам микроорганизмов.

Таким образом, с одной стороны, требовалось повысить эффективность очистки и обеззараживания воды, а с другой, – создать условия, при которых собственно процесс очистки не добавлял бы в воду нежелательных побочных продуктов. Все это привело к необходимости пересмотра традиционных схем водоподготовки и дополнения их новыми элементами.

В процессе решения новых задач были разработаны или адаптированы из других областей многие технологии и технические решения, но, к сожалению, они не являются универсальными и не лишены некоторых недостатков. Поэтому современная концепция водоподготовки подразумевает рациональное использование одновременно нескольких методов для создания многобарьерной защиты и получения наилучшего качества питьевой воды. Этот подход в настоящее время в полной мере реализован на Слудинской водопроводной станции в Нижнем Новгороде, первой в России станции, на которой помимо оптимизации традиционного процесса очистки воды совместно используются такие современные технологии, как озонирование и ультрафиолетовое обеззараживание.

Оптимизация технологических процессов и работы сооружений. Запроектированные и построенные в 1950–1980-х годах очистные сооружения обладают достаточно большим потенциалом, особенно в условиях снижения гидравлической нагрузки. Поэтому первоочередным мероприятием, направленным на повышение качества питьевой воды, является оптимизация технологических процессов и работы сооружений. На Слудинской водопроводной станции для достижения этой цели, прежде чем инвестировать средства в новые технологии, были использованы все имеющиеся ресурсы. В частности, в период с 1995 по 2004 г. проводилась реконструкция осветлителей и скорых фильтров. В осветлителях были установлены рециркуляторы осадка, а

в фильтрах предусмотрен колпачковый дренаж. Данные мероприятия оптимизировали и повысили уровень работы первой и второй ступеней очистки, а также уровень качества воды. В 1996 г. на станции стали использовать флокулянты «Феннопол» и «Праестол» и перешли на автоматическое растворение и дозирование этих реагентов.

С 1991 г. на Слудинской станции используется преаммонизация с целью снижения образования хлорорганических соединений в питьевой воде. Известно, что на этапе первичного хлорирования, где хлор взаимодействует с недостаточно чистой водой, образуются токсичные побочные продукты хлорирования. В присутствии с аммиаком образуется, так называемый, связанный хлор, который чуть дольше остается в воде, но гораздо меньше способствует появлению побочных продуктов, чем свободный хлор. Введение аммиака во всасывающие водоводы насосных станций первого подъема позволило:

- сократить концентрацию хлорорганических соединений в питьевой воде на 60–80% – содержание хлороформа не превышает 0,01 мг/л при ПДК 0,2 мг/л;
- уменьшить расход хлора на 40–50%;
- значительно снизить образование хлорфенольных запахов при поступлении в водоисточник фенолов или нефтепродуктов;
- улучшить санитарное состояние технологических сооружений и распределительной сети – количество нестандартных проб по микробиологическим показателям снизилось до 1,5–
- 2% по сравнению с установленным СанПиН 2.1.4.1074-01 значением – 5%.

Следующим шагом по совершенствованию станции стал переход на обеззараживание воды с использованием гипохлорита натрия ( $\text{NaClO}$ ), содержащего не менее 190 г/л активного хлора (рис. 2.7). Гипохлорит натрия обеспечивает эффективное обеззараживание и защиту от большинства

известных патогенных бактерий, грибковых инфекций, простейших. По данным, в ряду наиболее эффективных дезинфицирующих веществ стоит озон и после него гипохлорит натрия. Неэффективность действия гипохлорита натрия против вирусов компенсируется следующей ступенью очистки (барьером) – установкой УФ-обеззараживания.



Рисунок 2.7 – Станция обеззараживания воды с использованием гипохлорита натрия

Переход на обеззараживание питьевой воды гипохлоритом натрия ликвидирует потенциальную опасность, связанную с хранением и применением жидкого хлора, для жизни и здоровья людей. Затраты же на ликвидацию последствий разгерметизации емкости с многотонным запасом жидкого хлора, хранящегося на площадке очистного сооружения вблизи жилой застройки, вообще предсказать невозможно.

Озонирование является одним из современных методов обработки воды с достаточно широкой областью применения и возможностью решения различных задач. Действие озона может быть направлено как на интенсификацию различных процессов, так и на разложение определенных веществ и обеззараживание. Являясь мощным окислителем, озон изменяет поверхностный заряд частиц, что в дальнейшем способствует интенсификации процесса коагуляции-осветления, может разлагать за счет окисления многие вещества антропогенного происхождения и обладает выраженным

обеззараживающим действием. Все эти три направления актуальны для водоподготовки в Нижнем Новгороде.

Оба источника водоснабжения города – реки Ока и Волга – подвержены действию антропогенных загрязнений, поступающих из расположенных выше по течению промышленных регионов. Переход с первичного хлорирования воды на использование хлораминов позволил снизить концентрацию хлорорганических соединений. Но хлорамины относятся к слабым окислителям и дезинфектантам, поэтому не способствуют улучшению процесса коагуляции и повышению надежности обеззараживания. По рекомендациям Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета, было принято решение о техническом перевооружении водоочистных станций с использованием первичного озонирования. Реализация проекта проходила в рамках городской программы по повышению качества питьевой воды до уровня требований стандартов европейских стран.

В 2000 г. на Слудинской водопроводной станции была принята в эксплуатацию озонаторная установка производительностью 40 кг/ч. К этому времени у Водоканала уже имелся более чем трехлетний опыт применения озона на станции «Малиновая гряда». Озон вырабатывается непосредственно на месте из кислорода воздуха и используется для первичной обработки речной воды. Остаточный озон нейтрализуется сернистым ангидридом. Первичное озонирование позволило улучшить качество питьевой воды по всем показателям, особенно ощутимый эффект был получен в области снижения образования побочных продуктов: остаточного алюминия и хлороформа, содержание которых снизилось на 90 и 45% соответственно. Расход хлора сократился в среднем на 17%, а расход коагулянта более чем в 10 раз. Несмотря на увеличение потребления электроэнергии на производство озона, общие расходы на реагенты и электроэнергию сократились на 40%.

Как изменилась работа станции после применения технологии первичного озонирования, видно из таблиц ниже (за 100% приняты показатели до применения озонирования).

Таблица 2.3 – Результаты применения технологии первичного озонирования

Показатель	Технология		Снижение показателя, %
	без озона	с озоном	
Окисляемость, мг/л	3,68	3,54	4
Мутность, мг/л	1,1	< 0,58	48
Цветность, град	12	10	17
Остаточный алюминий, мг/л	0,41	< 0,04	90,3
Хлороформ, мг/л	0,0038	< 0,002	45

Технико-эксплуатационный показатель	Технология		Изменение показателя, %
	без озона	с озоном	
Доза озона, мг/л	0	3	–
Расход коагулянта, т/сут	13	1,1	–90,5
Расход хлора, кг/сут	360	300	–17
Потребление электроэнергии, кВт·ч/сут	133 405	146 091	+9,5
Затраты на коагулянт, тыс. руб/сут	39	3,3	–90,5
Затраты на электроэнергию, тыс. руб/сут	38,29	41,93	+9,5
Затраты на хлор, тыс. руб/сут	1,3	1,08	–17
Суммарные затраты (коагулянт, хлор, электроэнергия), тыс. руб/сут	78,59	46,31	–41

Ультрафиолетовое облучение достаточно широко применяется для обеззараживания в технологических схемах водоподготовки. Аргумент в пользу использования ультрафиолетового облучения является в необходимости удаления устойчивых к хлору вирусов и цист простейших. Эффективность обеззараживания ультрафиолетовым облучением в отношении этих микроорганизмов доказана исследованиями российских ученых и практическими заключениями в ходе эксплуатации на действующих станциях.

Учитывая наличие широкого спектра побочных продуктов у некоторых отдельных методов очистки, достижение высокой степени очистки с помощью какого-либо одного метода невозможно. Поэтому совершенствование схемы водоподготовки, как правило, происходит по пути увеличения этапов очистки и, собственно, комплексного использования разных методов обеззараживания. Благодаря высокой эффективности по удалению различных микроорганизмов и отсутствию побочных продуктов ультрафиолетовое облучение хорошо вписывается в эту концепцию. Потому что, в любой даже практически самой совершенной системе водоподготовки, в которой может присутствовать такие

методы очистки как мембранная фильтрация или обратный осмос, ультрафиолетовое облучение включают как конечный гарант безопасности.



Рисунок 2.8 – Станция ультрафиолетового обеззараживания воды

До того, как внедрили блоки ультрафиолетового обеззараживания, на Слудинской водопроводной станции уже имелись этапы, которые способны обезопасить от микроорганизмов: хлораммонизация, озонирование, коагуляция-осветление, хлорирование. Однако стоит уточнить, что даже такой сильный окислитель, как озон на предварительной стадии не гарантирует полное удаление микроорганизмов, а основной его функцией является окисление. Уязвимость водоисточника и эпидемиологическая ситуация в городе свидетельствовали о необходимости усиления эффективности обеззараживания воды.

Для повышения барьерной роли на этапе заключительной обработки воды в дополнение к основной схеме обработки в 2009 г. на Слудинской станции было внедрено обеззараживание ультрафиолетом перед подачей в сеть (рис. 2.8). Цех был оснащен современным отечественным оборудованием, использующее для облучения воды амальгамные лампы высокой мощности с длительным сроком службы. В блоке три УФ-установки вертикального типа (рис. 2.9) производительностью по 7 350 м<sup>3</sup>/ч и энергозатратами порядка 26 Вт/м<sup>3</sup>.



Рисунок 2.9 – Блок УФ-установок

*Преимущества совместного использования озона, ультрафиолета, хлораминов.*

В настоящее время схема водоподготовки на Слудинской станции включает в себя предварительную аммонизацию перед насосом первого подъема, первичное озонирование в контактной камере, первичное хлорирование, подачу коагулянта (сернокислого алюминия) в смеситель (а также, при необходимости, перед осветлителями), использование флокулянта, осветление в горизонтальных отстойниках или осветлителях с взвешенным осадком, фильтрацию, вторичное хлорирование, ультрафиолетовое обеззараживание (рис. 2.10).

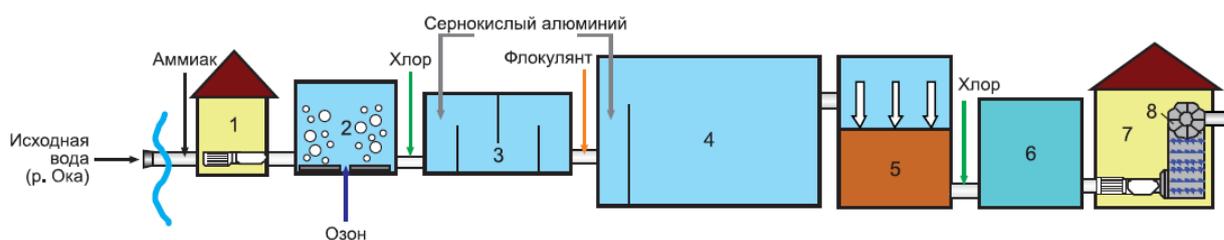


Рисунок 2.10 – Технологическая схема Слудинской водопроводной станции.

1 – насосная станция первого подъема; 2 – озонирование; 3 – смеситель;  
4 – отстойник или осветлитель; 5 – скорый песчаный фильтр; 6 – резервуар чистой воды; 7 – насосная станция второго подъема; 8 – установка ультрафиолетового обеззараживания.

Схема совмещает в себе несколько технологий, работающих на эпидемиологическую безопасность воды, это делает эту схему исключительно не только надежной, но и универсальной, а также отбрасывает некоторые

недостатки отдельных методов, исключая их другими, тем самым идет стремление к максимальной эффективности от их использования.

Нет оснований для сомнения в том, что хлорирование еще долгие годы будет оставаться неотъемлемой составляющей процесса водоподготовки. Ни одно из промышленных средств дезинфекции не обладает, в отличие от соединений хлора, пролонгированным действием, а транспортировка питьевой воды по распределительной сети требует поддержания ее качества на уровне норматива. Это наиболее ценное свойство хлора максимально выражено у хлораминов.

В достоинства хлораммонизации можно выделить стабильность соединения, в результате которого хлорамины могут долго присутствовать в воде, а отсюда следует повышение санитарного состояния водопроводных сетей. Также следует учесть данные о предотвращении хлораминами биологического обрастания внутри трубопроводов, что опять же способствуют улучшению санитарного состояния водопроводных сетей, следствием чего, конечно, повысится качество питьевой воды. Упомянутый уже ранее не раз недостаток хлорирования – образование побочных хлорорганических соединений, в случае с хлораминами слабо дает о себе знать, т.е. почти не заметен. Это связано с тем, что хлор и аммиак держат стабильное соединение. Еще одним фактором контроля образования хлорорганических соединений является использование на этапе предварительной обработки озона.

Таким образом, использование хлораминов и свободного хлора, а также дополнительное озонирование исходной воды позволили свести к минимуму образование хлорорганических соединений в питьевой воде. По СанПиН 2.1.4.1074-01, ПДК хлороформа составляет 0,2 мг/л, а в питьевой воде, подаваемой Слудинской станцией в город, концентрация хлороформа ниже на два порядка – 0,002 мг/л. Основным недостатком хлораммонизации является низкая эффективность обеззараживания, которая компенсируется применением озона и ультрафиолета.

К достоинствам озонирования относятся высокая эффективность очистки воды, возможность окисления ряда органических соединений, т. е. создается барьер от антропогенных загрязнений и запахов, предотвращение формирования хлорорганических соединений. К недостаткам озонирования традиционно относят высокий расход электроэнергии. Опыт работы Слудинской станции свидетельствует о том, что при рациональном использовании всех реагентов и адаптации регламента реагентной обработки к новым технологическим элементам расход электроэнергии на озонирование может быть компенсирован экономией других реагентов (коагулянтов и хлора).

Еще одним потенциальным недостатком озонирования является возможность образования побочных продуктов – броматов, но аммиак, присутствующий в воде, поступающей на озонирование, препятствует этому процессу. Второе нежелательное свойство озонирования – увеличение содержания ассимилируемого органического углерода, который играет важную роль в развитии биопленки в сетях, однако, как уже указывалось выше, хлор-амины являются эффективным средством для контроля этого процесса. Таким образом, использование предварительной аммонизации совместно с озонированием исключает возможные негативные последствия.

Несмотря на то что озон является сильным окислителем, его применение не способно гарантировать полное уничтожение микроорганизмов и надежное обеззараживание на этапе предварительной обработки, поскольку мутность, характерная для исходной воды, всегда будет негативным фактором для любого метода обеззараживания. Кроме того, с понижением температуры воды требуется более продолжительное время контакта и более высокие дозы озона, поскольку эффективность озона зависит не от pH, а от температуры. Этот недостаток озона компенсируется УФ-облучением, которое на последнем этапе обеззараживания гарантирует инактивацию любых видов микроорганизмов.

Еще одним преимуществом совместного использования УФ-облучения и озонирования является то, что озон повышает прозрачность воды для УФ-лучей и таким образом снижает затраты электроэнергии на УФ-обеззараживание.

Этот эффект наиболее характерен для воды, содержащей большое количество органических веществ и имеющей исходный коэффициент УФ-пропускания ниже 90%. При проектировании крупнейшей в Канаде станции УФ-обеззараживания для регионального округа Большой Ванкувер было выявлено, что использование озона в дозе 2 мг/л для обработки воды до УФ-облучения обеспечивает увеличение коэффициента пропускания воды на 10 единиц. Поскольку коэффициент УФ-пропускания оказывает значительное влияние на технико-экономические показатели процесса УФ-обеззараживания, совместное использование озона и УФ-технологии является в первую очередь экономически выгодным. Значимость такой выгоды легко оценить, если перенести этот опыт на ситуацию в Нижнем Новгороде: для обработки воды на Слудинской станции по существующей схеме с применением озона суммарно используется 432 лампы УФ-облучения, а без озона понадобилось бы 624 лампы. Таким образом, предварительное озонирование воды обеспечивает снижение на 33% капитальных и эксплуатационных затрат на ультрафиолетовое обеззараживание.

Ультрафиолетовое обеззараживание универсально практически по отношению к любым микроорганизмам и практически полном отсутствии побочных образований. В добавок к этим устоявшимся достоинствам ультрафиолетового облучения воды применение хлораминов поможет компенсировать его небольшой минус в отношении отсутствия последействия.

Совместное использование озона и ультрафиолета является определенным прогрессивным трендом в мировой практике водоподготовки. В 2007 г. даже состоялся объединенный конгресс международной ультрафиолетовой и озоновой ассоциаций, лейтмотивом которого были преимущества совместного применения этих технологий. Озонирование, предшествующее УФ-обеззараживанию, уже много лет используется на двух крупных станциях (Pitkakoski и Vanhakaupunki) в Финляндии, снабжающих питьевой водой г. Хельсинки, на канадской станции Coquitlam, входящей в систему водоснабжения Ванкувера, на американской станции John J. Carroll,

обеспечивающей питьевой водой 2 млн. человек в метрополии г. Бостона и др. Слудинская станция в Нижнем Новгороде стала первой в России, использующей такую технологию.

Итак, на Слудинской водопроводной станции в Нижнем Новгороде впервые в России реализована технологическая схема водоподготовки, обеспечивающая многоступенчатую очистку и обеззараживание питьевой воды на основе совместного использования современных технологий озонирования и ультрафиолетового облучения.

Предварительная обработка воды хлораминами и применение гипохлорита натрия минимизирует образование хлорорганических соединений и поддерживает надлежащее санитарное состояние очистных сооружений.

Озонирование повышает эффективность последующей очистки воды, позволяет снизить расход коагулянта и хлора, создает первичный барьер от микробного загрязнения, достигается высокая прозрачность воды для УФ-лучей, что делает ультрафиолетовое обеззараживание более экономичным. Обработка воды гипохлоритом натрия и ультрафиолетом на заключительном этапе очистки создает надежный барьер от любых инфекций и гарантирует эпидемиологическую безопасность питьевой воды.

Внедрение на Слудинской станции современных технологий хлораммонизации, озонирования, оптимальной системы коагуляции, обеззараживания ультрафиолетом позволили добиться их максимальной эффективности, оптимизировать эксплуатационные затраты, снизить влияние негативных побочных эффектов и обеспечить высокое качество питьевой воды.

## 2.5 Выводы по 2 главе

1. Понимая, что все моря, реки и озера - все источники водоснабжения отличаются друг от друга по содержащимся в них веществам, в нашем случае это загрязнения различного характера, говорит что мы должны индивидуально подходить к очистке каждого из них.
2. Ультрафиолетовое обеззараживание на станциях водоснабжения в системах водоподготовки, относительно остальных стадий очистки воды, может быть использовано на предварительном или заключительном этапах обеззараживания воды:
3. На стадии предварительного этапа очистки воды ультрафиолетовое обеззараживание чаще всего используется как метод, альтернативный первичному хлорированию, если конечно параметры исходной воды позволяют это сделать. Также возможно комплексное использование УФ-облучения с химическими методами, при котором можно будет сократить дозу реагента.
4. Требуемая степень обеззараживания на предварительном этапе прописывается в техническом регламенте, индивидуально для каждой конкретной станции водоподготовки, в зависимости от источника водоснабжения на основе исследований и опыта работы других станций с похожими условиями.
5. На стадии заключительного этапа очистки воды ультрафиолетовое обеззараживание используется как отдельно, так и в сочетании с химическими методами обеззараживания. Потому что, в любой даже практически самой совершенной системе водоподготовки, в которой может присутствовать такие методы очистки как мембранная фильтрация или обратный осмос, ультрафиолетовое облучение включают как конечный гарант безопасности.
6. При выборе схемы обеззараживания отталкиваются в основном от анализа параметров источника водоснабжения (цветность, мутность воды, содержание различных веществ, техническое состояние сетей и т.д. и т.п.).

7. На всех рассмотренных, и не только, станциях водоснабжения отмечается повышение эффективности очистки и качества воды с применением в системах водоподготовки этапа УФ-обеззараживания.

### **3 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ**

#### **3.1 Интенсификация процесса обеззараживания воды технологией совмещения ультрафиолета и ультразвука**

В ходе работы установок ультрафиолетового обеззараживания выявлено, что защитные кварцевые чехлы ламп подвержены обрастанию отложениями органического и минерального состава. Данное явление будет постепенно ограничивать эффективность обеззараживания. Что в итоге приводит к остановке процесса работы оборудования для очистки поверхности стекол.

Введение в зону обработки упругих колебаний достаточной мощности с ультразвуковой частотой позволяет получить уровни обеззараживания, достижение которых только лучевой энергией невозможно. Причем достижение нужных уровней инактивации может быть обеспечено при более низких суммарных уровнях энергии, что обуславливает невысокую себестоимость обеззараживания воды при стабильном результате. В воде под действием различных ультразвуковых частот происходит разрушение микроорганизмов, разделение бактериальных кластеров и преобразование органических фаз. Параллельно при этом одновременно с ультразвуковым воздействием происходит бактерицидное воздействие ультрафиолетового облучения. Эти процессы происходят совместно в одной камере, ударяя комплексным действием. Колебания ультразвуковой частоты распространяются по воде, заставляя колебаться все внутренние поверхности камеры УФ-реактора, что, собственно вкратце, и препятствует биообрастанию и соляризации поверхности, как стенок камеры реактора, так и, что самое главное, защитных чехлов ультрафиолетовых ламп. Таким образом, благодаря ряду процессов, происходящих одновременно, поддерживается стабильный уровень обеззараживания воды в течении всей работы установки. В итоге по статистическим данным это позволяет повысить эффективность обработки воды в целом при сопоставимой мощности УФ-облучения до  $10^3$  раз (см. рис. 3.1) и практически полностью уничтожить (фотохимическая очистка) любые микроорганизмы.

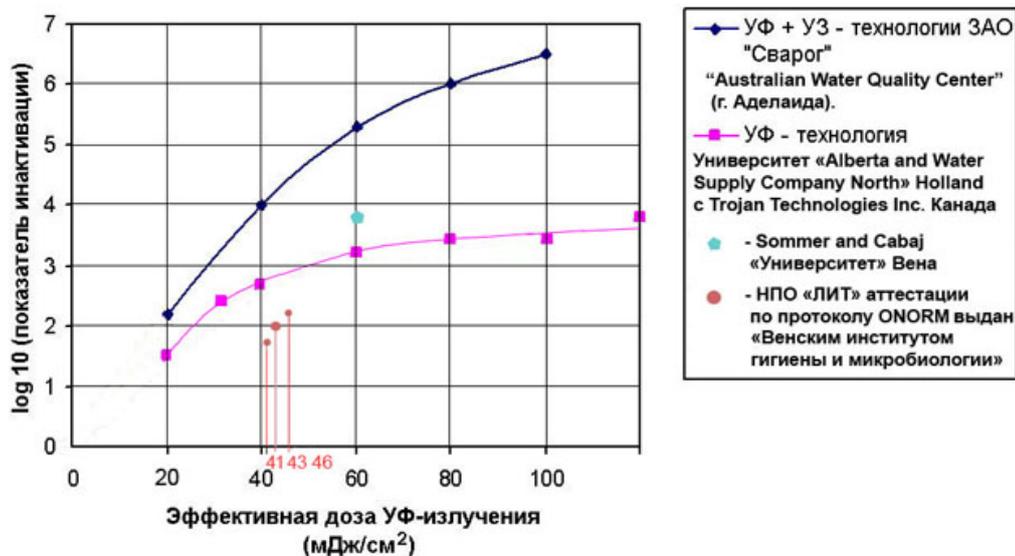


Рисунок 3.1 – Логарифм инaktivации эндоспор *Bacillus subtilis*

Совместное использование технологии «Ультразвук + Ультрафиолет» для обеззараживания воды с традиционными технологиями позволяет существенно уменьшить использование химических средств дезинфекции. Например, использование «Ультразвук + Ультрафиолет» для бассейнов позволяет исключить «цветение» воды, а также снизить концентрацию хлора. Так использование технологии «Ультразвук + Ультрафиолет» в бассейнах с жесткой водой на бассейновых объектах в Англии (Ливерпуль, Манчестер) позволило снизить концентрацию активного хлора с 3,6÷3,4 мг/л до 0,05÷0,1 мг/л, а также расход флокулянтов и коагулянтов в 2-3 раза. При этом обеспечивалось высокое качество воды. Побочные продукты, образующиеся при обеззараживании питьевой воды и сточных вод в результате химических реакций между средствами дезинфекции и молекулами органических веществ, присутствующими в воде, могут быть причиной возникновения неприятного вкуса и запаха воды, либо образования в воде токсичных или канцерогенных веществ.

Поэтому технология «Ультразвук + Ультрафиолет» реализованная в бактерицидных установках успешно используется для обеззараживания воды как в системах индивидуального использования, так и в промышленных масштабах. Как пример можно привести результаты длительного исследования

обеззараживающих свойств бактерицидных установок «Лазурь», проведенного одной из крупнейших в мире компаний по производству средств водоочистки Rand Water Board в Южно-Африканской Республике в 1998 – 2003 г.г.

По заключению специалистов этой компании, использование данного способа обеззараживания воды, по сравнению с традиционными УФ методами (при промышленных производительностях установок), эффективнее в 100–1000 раз, а экономические затраты на обработку 1 м<sup>3</sup> в 2...3 раза ниже (см. табл. 3.1 и рис. 3.2).

Таблица 3.1 – Сравнение эффективности бактерицидных установок «Лазурь» с традиционными УФ-установками других производителей

	Входная концентрация (орг/мл)	Выходная концентрация (орг/мл)	
		УФ	УФ+УЗ
1. Тест: E. Coli	2•10 <sup>6</sup>	99,99	99,9999
2. Тест Aspergillus niger *	8•10 <sup>6</sup>	8•10 <sup>5</sup>	6,6•10 <sup>3</sup>

\* (самая сильная из известных спора плесени). Этот вид спор плесени эффективно не уничтожается ни ультрафиолетом, ни озоном.

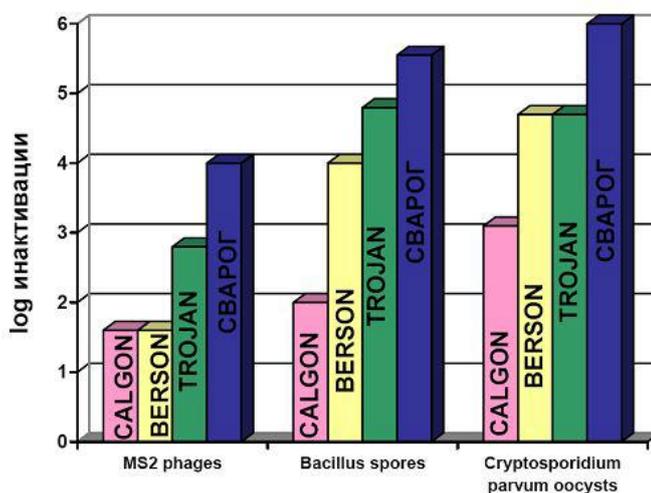


Рисунок 3.2 – Сравнение эффективности бактерицидных установок «Лазурь» с традиционными УФ-установками других производителей

В диапазоне ультрафиолетового излучения 250 - 270 нм происходит эффективная инактивация ооцист криптоспоридий, поэтому для

обеззараживания воды могут использоваться лампы низкого и среднего давления.

В России методы обеззараживания и действующие нормы по дозам ультрафиолетового облучения в 16-25 мДж/см<sup>2</sup> для питьевой воды и 30 мДж/см<sup>2</sup> для хозяйственно-бытовых и промышленных не обеспечивают необходимой инактивации патогенной микрофлоры. Более того, следует учесть естественный процесс эволюции и повышение устойчивости микроорганизмов к воздействию популярных методов обеззараживания, таким как хлор, озон и ультрафиолет. Ведущие научные центры в своих отчетах дают понять, что за последние десятилетия устойчивость микроорганизмов к хлору повысилась в 5 раз, к озону - в 2-3 раза, к ультрафиолету - в 4 раза. Отсюда может следовать только, что с учетом дальнейшего повышения устойчивости микроорганизмов к распространенным методам обеззараживания, необходимо будет при проектировании будущих оборудований закладывать уровни воздействия с учетом динамики роста сопротивляемости микроорганизмов. Поэтому на сегодняшний день в развитых странах в нормах уже учтен данный нюанс и минимальная доза ультрафиолетового облучения составляет 40 мДж/см<sup>2</sup>, а для проектируемых станций закладывается доза ультрафиолетового облучения уже в 70...100 мДж/см<sup>2</sup>. Поэтому производители оборудования, из-за необходимости увеличения себестоимости изготовления, не спешат учитывать современные требования. Иногда для борьбы с конкурентами составляются псевдонаучные отчеты публикуются статьи, подписываемые учеными, чьи научные интересы даже не пересекались с обсуждаемой темой. Особую озабоченность вызывает то пренебрежение к читателям, с которым мы сталкиваемся, читая публикации где эти авторы, предполагая, что никто не захочет переводить текст с иностранного языка, производят прямой подлог результатов исследования зарубежных ученых с положительных на отрицательные.

Так по данным Blume T., Neis G., которые провели большой объем исследований в рамках своей работы «Стерилизация вод ультразвуком в комбинации с обычными процессами дезинфекции», проведенной с

01.11.2000г. по 31.10.2004 г. в Technische Universitat Hamburg-Harburg подтверждено, что: «...комбинация процесса «Ультразвук + Ультрафиолет» не только эффективна, но и энергетически предпочтительнее, чем только ультрафиолетовое облучение» (см. рис. 3.3). Мы видим, что после 5 сек. ультразвука и 10 сек. УФ облучения получается степень инактивации, недостижимая даже после 30 сек. обработки среды только ультрафиолетом. Но и эти 30 сек. только УФ облучения не достаточны для достижения необходимого уровня дезинфекции, предписанного директивными документами.

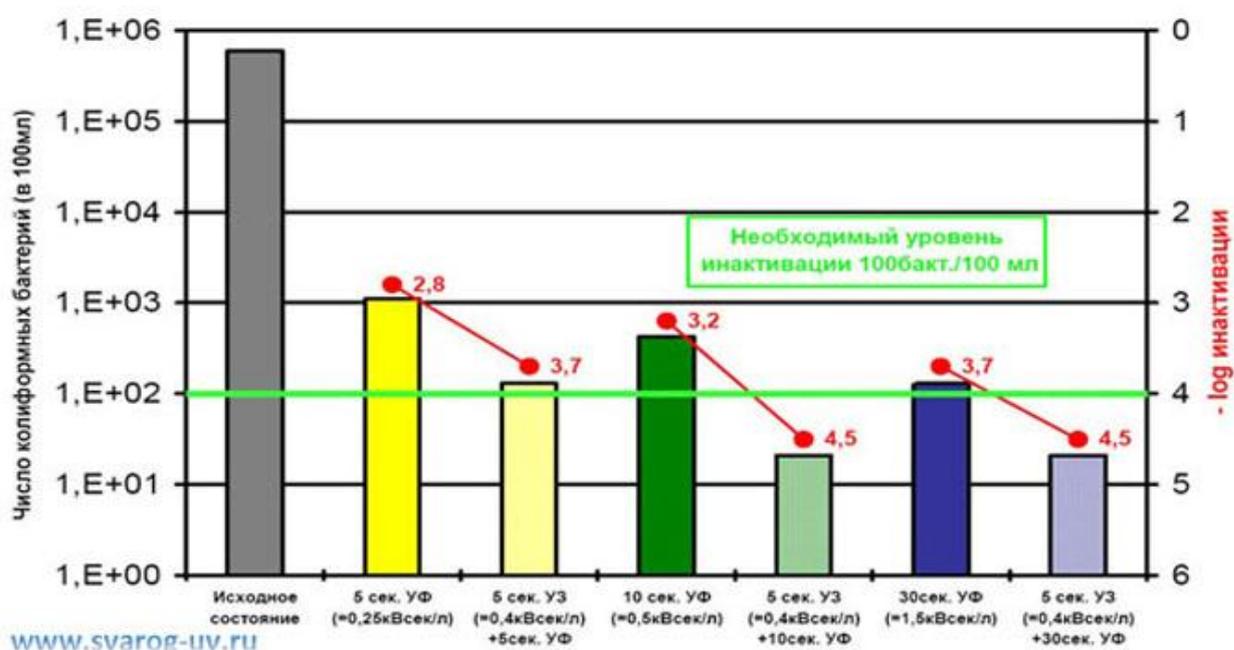


Рисунок 3.3 – Результаты исследований воздействия УФ + УЗ

Одним мифом о вредности ультразвука является то, что его механическое воздействие увеличивает общее число микроорганизмов в воде. На самом деле количество микроорганизмов не изменяется, но при существующей методике измерений тщательное перемешивание влияет на их количество в заборной пробе. После механической очистки частота выделения вирусов может незначительно возрасти за счет дезагрегирования крупных конгломератов и реадсорбции вирусов.

Высокие технико-эксплуатационные показатели выпускаемого оборудования, обеспечивают промышленную востребованность технологии

«Ультразвук + Ультрафиолет» и современный уровень развития УФ-технологии, что в целом создает благоприятные условия для многочисленного применения данных установок различных больших городах и крупных промышленных предприятиях.

В настоящее время несколько ведущих производителей оборудования для гарантированно качественной обработки воды ведут научные разработки и предлагают технологию совмещенной обработки:

- Один из них - германская фирма «Grunbeck Wasseraufbereitung» еще 11 лет назад предложила систему «GRUNBECK GENO Break System IV», основанную на комбинации блоков ультразвукового и ультрафиолетового излучения и позволяющую уничтожать легионелл и их промежуточных хозяев амёб. Ими выпускаются несколько модификаций этой установки.
- В последние годы интенсивно разрабатывает и внедряет комбинированную «Ультразвук + Ультрафиолет» обработку воды международный консорциум «Atlantium». Созданы и успешно внедряются установки серии «RZ 104». Применение ультразвука позволяет достичь приведенной дозы по ультрафиолету до 120 мДж/см<sup>2</sup>. Фирма называет этот метод «гидрооптической дезинфекцией воды». Они уже внедряют свои установки в России на заводах корпораций по розливу напитков «The Pepsi Bottling Group», «Coca-Cola» и московском пивобезалкогольном комбинате «Очаково» с 2008г..

Коллектив российских ученых различных направлений более 10 лет проводил работы по оценке эффективности губительного воздействия в воде на яйца гельминтов, цисты патогенных кишечных простейших, с помощью только УФ и «Ультразвук + Ультрафиолет» методов обеззараживания воды, в результате которых смогли дать оценку данным методам в санитарно-паразитологическом отношении.

Экспериментальные исследования технологии совместного воздействия ультрафиолетового излучения и ультразвука по определению паразитоцидного эффекта с использованием биотестирования в различных гидродинамических

режимах эксплуатации установки показали, что полный паразитоцидный эффект наступает при использовании всех гидродинамических режимов, и только при комплексном воздействии технологии «Ультразвук + Ультрафиолет». В связи с тем, что ультразвук является прекрасным диспегатором, внесение окислителя даже в небольших количествах усиливает паразитоцидный эффект комплексного воздействия технологии «Ультразвук + Ультрафиолет», что позволяет увеличить скорость потока воды и снизить экономические затраты при использовании данной технологии очистки воды.

Примерная доля затрат энергии, идущая на обеспечение ультразвуковой компоненты, составляет в установках до 10 м<sup>3</sup>/час менее 10% от общей, в установках с большими производительностями менее 2%. Приведенная доза по ультрафиолету превышает в этом случае 65 мДж/см<sup>2</sup>, при том, что реальная доза только УФ составляет 40-45 мДж/см<sup>2</sup>.

В пример можно поставить ультрафиолетовое оборудование, выпускаемое ЗАО «Сварог». При оптимальной стоимости которое соответствует современным требованиям к оборудованию для водоподготовки и нормативным документам, регламентирующим его применение:

- в оборудовании реализована оптимально рассчитанная доза облучения, которая гарантирует достижение нормативных санитарно-бактериологических и паразитологических показателей качества обрабатываемой воды;
- используются бактерицидные ртутные лампы низкого давления, с рабочей температурой поверхности до 110°C. Высокий КПД излучения в бактерицидном диапазоне и длительный срок службы (до 16 тыс.ч.);
- камеры обеззараживания были спроектированы для обеспечения малых потерь напора. Специальные различные модификации оборудования позволяют включить этап совместного обеззараживания воды ультрафиолетом и ультразвуком практически в любую схему водоподготовки;
- для сборки бактерицидных установок используются качественные материалы: корпус камеры из нержавеющей стали, защитные чехлы - из кварцевого стекла;

•ультразвуковые излучатели, помещенные внутри камеры ультрафиолетовой обработки, работают и как стиральная машина, тщательно отмывающая поверхности корпуса и защитного кварцевого кожуха ультрафиолетового излучателя, что предотвращает их биообрастание и соляризацию. При правильной эксплуатации установок работы по очистке внутренней части фотохимического реактора и кварцевых трубок минимальны.

•все обеззараживающие установки «Лазурь» соответствуют требованиям ГОСТ 12.2.051-80 «Оборудование технологическое ультразвуковое. Требования безопасности», что позволяет их использовать в составе любой технологической цепочки без специальных ограничений.

•на пульт управления установкой вынесены индикация о режиме ее работы, состоянии загрязнения кварцевых чехлов, счетчик выработки ламп по времени, сигнализация на случай аварийных ситуаций. При разработке установок особое внимание уделялось простоте и удобству их обслуживания.

Не вдаваясь в подробности, еще раз кратко отметим следующее:

•в большинстве случаев в качестве химического метода обеззараживания используют хлорирование. Для чего необходимо иметь где-то запасы хлора поблизости, который в свою очередь экологически опасен. А разлагаясь в воде, хлориды химические соединения вредные человека. Остаточный хлор приводит к преждевременному разрушению системы трубопроводов.

•озонирование. Озон является мощным средством дезинфекции, имеет высшие оценки по органолептическим характеристикам воды, однако включение процесса озонирования в схему накладывает более высокие затраты по стоимости и энергии сложностью оборудования, его обслуживанием, и отсутствием должного отечественного.

Другое дело, обеззараживание питьевой воды ультрафиолетовым излучением, является наиболее современным и эффективным средством.

Таблица 3.2 – Техничко-экономические показатели установок обеззараживания воды с применением ультрафиолетового облучения

№	Модель, страна,	л/м	Стоимость	Соляризация,	Бактер	Споры	Вирусы
---	-----------------	-----	-----------	--------------	--------	-------	--------

	область применения	ин	ь очистки 1м <sup>3</sup> воды, USD	биообращание	ии ед/л	ед/л	ед/л
1	MITA-Kian-200, Франция, Госпрограмма экстремальной медицины	7,2	0,83	Значительная	с 10 <sup>6</sup> до 10 <sup>2</sup>	с 10 <sup>6</sup> до 10 <sup>5</sup>	не эффективно
2	PROTERM (KSI 1-7), Франция, опреснение морской воды, NATO (COSRAM)	40.0	1.3	Значительная	с 10 <sup>6</sup> до 10 <sup>2</sup>	с 10 <sup>6</sup> до 10 <sup>4</sup>	не эффективно
3	VIM-T, Великобритания, Совместная программа США-Британия "Проблема Выживания"	6.8	0.9	Значительная	с 10 <sup>6</sup> до 10 <sup>4</sup>	не эффективно	не эффективно
4	KOROS-VP-11, Великобритания – Швеция, производство лекарственных препаратов	43.0	1.6	Значительная	с 10 <sup>6</sup> до 10 <sup>3</sup>	не эффективно	не эффективно
5	Hydro-TOR, США, NASA (COSRAM)	7.3	0.6	Нет данных, малый ресурс работы (до 300 часов)	с 10 <sup>6</sup> до 10 <sup>2</sup>	с 10 <sup>6</sup> до 10 <sup>4</sup>	не эффективно
6	Hydro-Flow, США, серия UV-6	1.0 (specific 200)	0.4	Значительная	с 10 <sup>6</sup> до 10 <sup>3</sup>	нет данных	нет данных
7	Лазурь М-1К	16.7	0.04	Отсутствует	с 10 <sup>6</sup> до 0	с 10 <sup>6</sup> до 0	с 10 <sup>6</sup> до 0
8	Лазурь М-3К	50.0	0.02	Отсутствует	с 10 <sup>6</sup> до 0	с 10 <sup>6</sup> до 0	с 10 <sup>6</sup> до 0
9	Лазурь М-10	170	0.01	Отсутствует	с 10 <sup>6</sup> до 0	с 10 <sup>6</sup> до 0	с 10 <sup>6</sup> до 0
10	Установка УОВ0395.05-02, (лампа ДРБ-40-1), АО "ЕГА+ EGA Ltd", С.-П.	8.3	0.3	Значительная	с 10 <sup>6</sup> до 3	нет данных	нет данных

Подобная эффективность бактерицидных установок с технологией «Ультразвук + Ультрафиолет» дает практически безусловный гарант надежности в обеззараживании воды на ближайшие десятилетия. В этой связи,

сравнения бактерицидные установки «Лазурь» компании ЗАО «Сварог» и ОС-36А; ОС-72А; УДВ-288 - компании «ЛИТ», хочется отметить, что по всем основным показателям (вес, габариты, стоимость, энергопотребление, затраты на эксплуатацию) именно установки серии «Лазурь» имеют реальное превосходство на практике. Дополнительно можно учесть в плюс более низкие требования к прозрачности воды, количеству взвешенных в воде частиц, а также благодаря ультразвуку отпадает необходимость столь периодической очистки кварцевых защитных чехлов ламп от отложений.

### 3.2 Выводы по 3 главе

1. Внедрение технологии совмещения работы ультрафиолета и ультразвука будет эффективно в тех случаях, где УФ-обеззараживание происходит на предварительном этапе. На котором, как раз, хорошо выявляются минусы УФ-обеззараживания относительно загрязнения защитных стекол, и при высокой мутности воды.
2. Технология совмещения работы ультрафиолета и ультразвука дает баланс между обеспечением достаточной чистоты стёкол и повышенным износом очистных систем.
3. Технология «Ультразвук + Ультрафиолет» позволит получить уровни обеззараживания, достижение которых только лучевой энергией невозможно. И притом достижение нужных уровней инактивации может быть обеспечено при более низких суммарных уровнях затрат энергии.
4. Одновременная работа ультрафиолета и ультразвуковых устройств в корпусе бактерицидной установки для обеззараживания воды позволит еще больше снизить количество химических реагентов, если они применяются по технологии.
5. Бактерицидные установки для обеззараживания воды с технологией «Ультразвук + Ультрафиолет» имеют характеристики по облученности микрофлоры, соответствующие международным стандартам, что обеспечивает высокую степень дезинфекции на ближайшие 30 лет, с учетом постоянной адаптации микрофлоры к ультрафиолетовому излучению.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Обеззараживание воды в системах питьевого водоснабжения имеет весьма важное значение, т.к. это барьер на пути возможной передачи болезнетворных микроорганизмов через воду потребителю.
2. Основным фактором, постепенно ограничивающий эффективность обеззараживания УФ-установок в ходе эксплуатации, является загрязнение защитных чехлов ламп органическими и минеральными отложениями.
3. При выборе схемы обеззараживания отталкиваются в основном от анализа параметров источника водоснабжения (цветность, мутность воды, содержание различных веществ, техническое состояние сетей и т.д. и т.п.).
4. Обеззараживание воды ультрафиолетовым излучением, является наиболее современным и эффективным средством. А одним из перспективных комбинированных методов для обеззараживания воды является технология, использующая одновременное воздействие на воду ультрафиолетового излучения и ультразвука.
5. Внедрение технологии совмещения работы ультрафиолета и ультразвука даст баланс между обеспечением достаточной чистоты стёкол и повышенным износом очистных систем, а также обеспечит повышение эффективности очистки и качества воды

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Технический справочник по обработке воды: в 2 т. Т. 1: пер. с фр. — СПб.: Новый журнал, 2007.
2. Фрог Б. Н., Левченко А. П. Водоподготовка: Учебн. пособие для вузов. М. Издательство МГУ, 1996 г. 680 с; 178 ил.
3. Водоподготовка: Справочник. /Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.
4. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: издание второе, переработанное и дополненное. Учебное пособие. - М.: Издательство АСВ, 2004. - 496 с.
5. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. Учебник для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1974. 480 с.
6. Справочник проектировщика. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий. Под ред. И. А. Назарова. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1977, 288 с. Авт.: В. А. Клячко, С. Н. Аронов, В. И. Лазарев и др.
7. Громогласов А.А. Водоподготовка. Процессы и аппараты. / А.А. Громогласов А.А. [и др.] – М.: Атомиздат, 1977. – 325с.
8. Отчет от ИМПитМ им. Е.И. Марциновского ГОУВПО ММА им. И.М. Сеченова. (2007). Испытание паразитоцидной функции в отношении протозойных возбудителей кишечных болезней установки бактерицидной ультрафиолетовой серии «Лазурь М» производства ЗАО «Сварог».
9. А.Н. Ульянов, д-р физ. мат. наук «Применение ультрафиолетового излучения совместно с физическими процессами для обработки воды в небольших населенных пунктах» // Журнал «Водоподготовка» №1 2004г стр. 13-16// журнал «Водоочистка» №4 2007г стр. 6-9.
10. А.Н. Ульянов, д-р физ. мат. наук (по материалам II международного конгресса по ультрафиолетовым технологиям) «Полномасштабные

- испытания ультрафиолетовой дезинфекционной установки на месте ее эксплуатации»// журнал «Водоснабжение» №2 2005г стр. 22-26.
- 11.Ульянов, д-р физ. мат. наук (по материалам международного конгресса по УФ-технологиям в июле 2003г) «Ультрафиолетовое излучение при дезинфекции питьевой воды»// журнал «Водоснабжение» №4 2003 г стр. 16-18.
- 12.Ульянов А.Н., Патент № 2092448. (1996). Способ очистки и обеззараживания водных сред.
- 13.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., 2006.
- 14.Карттунен Э. Водоснабжение. - СПб, Новый журнал, 2005.
- 15.Богомолов М. В., Коверга А. В., Волков С. В. и др. Международный конгресс озоновых и ультрафиолетовых технологий в Лос-Анджелесе // Водоснабжение и сан. техника. 2008. № 4.
- 16.Романенко Н. А., Новосильцев Г. И., Недачин А. Е. И др. УФ-излучение и его воздействие на вирусы и цисты простейших // Водоснабжение и сан. техника. 2001. № 12.
- 17.Романенко Н.А., Новосильцев Г.И., Рахманин Ю.А., Сергиев В.П. и др. Влияние ультрафиолетового излучения на ооцисты криптоспоридий и цисты лямблий в питьевой воде // Гигиена и санитария, 2002. №1. - С.33-36.
- 18.Ультразвук: Энциклопедия. – Под ред. И.П. Голяминой. – М., 1979г.
- 19.Основы физики и техники ультразвука: Учеб. Пособие для вузов/Б. А. Агранат, М. Н. Дубровин, Н. Н. Хавский и др. – М: Высш. шк., 1987. – 352 с.: ил.
- 20.Эльпинер И. Е. Ультразвук. Физико-химическое действие. – М., 1963.

21. Кожевников А. Б., Петросян О. П. Промышленная и эпидемиологическая безопасность при обеззараживании питьевой воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2005, № 5.
22. Иванов В. Г. Обеззараживание. Альтернатива традиционным методам/В. Г. Иванов, М. М. Хямяляйнен // Вода и экология. т.2000. - N 1. - С. 33 – 39.
23. Лукерченко В.Н., Никифорова Л.О. Обеззараживание питьевой воды.// Вода и экология.-2000.- №2. - С. 19-26.
24. Черкинский С.Н. Обеззараживание питьевой воды // С.Н. Чертинский, Н.Н. Трахтман. М.: Медгиз., 1962, - 275 с.
25. Рябченко В.А., Русанова Н.А. Действие озона при обеззараживании воды // Гиг. и сан. 1986, №4,- с.20-23.
26. Гончарук В.В., Потапченко Н.Г., Вакуленко В.Ф. Озонирование как метод подготовки питьевой воды: возможные побочные продукты и токсикологическая оценка// Химия и технология воды. 1995, №6, — с.217-221.
27. Потапченко Н.Г., Савлук О.С. Использование УФ-излучения в практике обеззараживания воды // Хим. и технолог, воды. 1991, т. 13; №12,-с.1117-1127.
28. Потапченко Н.Г., Славчук О.С. Использование УФ-излучения в практике обеззараживания воды.// Химия и технология воды. 1989. - Т.33. -№42.-С. 18-22.
29. Храменков С.В., Русанова Н.А., Медриш Г.Л. К вопросу о рациональном использовании УФ-облучения в целях обеззараживания питьевой воды // Водоснабжение и сан. техника 2001, №2, с.17-19.
30. Волков С.В., Костюченко С.В., Красночуб А.В., Якименко А.В. и др. Технологические аспекты обеззараживания воды УФ-излучением // Водоснабжение и санитарная техника, 2001. №2. - С. 20-25.

- 31.Альшин В.М., Волков С.В., Калинин А.В. и др. Ультрафиолетовая дезинфекция воды в промышленности // Водоснабжение и сан. техника. - 1994.-№10.
- 32.Васильев С.А., Волков С.В., Костюченко С.В. Обеззараживание воды ультрафиолетовым излучением. Особенности применения // Водоснабжение и сан. техника. 1998. - №1. - С. 28.
- 33.Альшин В.М., Волков С.В., Гильбух А.Я., Гречухин А.И. и др. Достоинства и недостатки промышленных методов обеззараживания воды // Водоснабжение и сан. техника. 1996. - №12. - С. 2 - 7.
- 34.Соколов В.Ф. Обеззараживание воды бактерицидными лучами. М.: Стройиздат. -1964.
- 35.Рябченко В.А., Соколов В.Ф., Ловцевич Е.Л. К оценке обеззараживания воды УФ-излучением // Биологическое действие ультрафиолетового облучения. М.: Наука, 1975. - С. 11 - 12.
- 36.Скурлатов Ю.И., Штамм Е.В. Ультрафиолетовое излучение в процессах водоподготовки и водоочистки // Водоснабжение и сан. техника. 1997.- №9.-С. 14-18.
- 37.Бутин В.М., Волков С.В., Костюченко С.В., Кудрявцев Н.Н. и др. Обеззараживание питьевой воды ультрафиолетовым излучением // Водоснабжение и сан. техника. 1996. - №12. - С. 7 - 10.
- 38.Алынин В.М., Безделин С.М., Волков С.В. и др. Применение технологии УФ-облучения воды взамен первичного хлорирования // Водоснабжение и сан. техника. 1996. - №12.
- 39.Потапченко Н.Г., Томашевская И.П., Иллященко В.В. Оценка совместного действия УФ-излучения и хлора на выживаемость микроорганизмов в воде // Химия и технология воды. 1993. - Т. 15. № 9 - 10. -С. 678-682.
- 40.Новиков Ю.В., Цыплакова Г.В., Ехина Р.С. и др. Санитарно-эпидемиологический надзор за применением УФ-излучения в подготовке питьевой воды // Водоснабжение и сан. техника, 1998. № 12. - С. 2 - 3.

41. Голов А.В., Александров А.А. К вопросу обеззараживания питьевой и сточных вод методом ультрафиолетового облучения // Вестник госпитальной инженерии, 1997. - №1. С. 57-62
42. Костюченко С.В., Васильев С.А. Требования к современному оборудованию для обеззараживания питьевой воды ультрафиолетовым облучением // Водоснабжение и санитарная техника, 1998. №11. - С. 11-13.
43. Новиков Ю.В., Тулакин А.В., Цыплакова Г.В. Гигиенические аспекты применения УФ излучения для обеззараживания воды // В материале исслед. «Вода»: экология и технология ЭКВАТЭК - 2000, М., - 2000. - С.763.
44. Скурлатов Ю.И. Преимущества и перспективы применения водопогруженных ламп УФ-излучения для обеззараживания питьевых и сточных вод // Зеленый мир., 2000. №7-8. - С.28.
45. Минц О.Д. Применение ультрафиолетового излучения для обеззараживания питьевой воды // Водоснабжение и сан. техника. 1987. - №7.
46. Петрановская М.Р., Семенова М.А., Медриш Г.Л. и др. Новое направление в обеззараживании воды ультрафиолетовыми методами // Санитария и гигиена. 1986. - № 12. - С. 54 - 56.
47. Mohammad Hadi DEHGHANI, Gholam-Reza JAHED, Ahmad ZAREI. Iranian J Publ Health, Vol. 42, No.3, Mar 2013, pp.314-319.
48. Matthew R. First, Lisa A. Drake. Management of Biological Invasions (2013) Volume 4, Issue 2: 87–99.
49. Blume T., Neis U. (2004). Improved Waste Water Disinfection by Ultrasonic Pre-treatment. Ultrasonics Sonochemistry, V.11. № 5
50. Blume T., Martinez I., Neis U. (2002). Wastewater disinfection using ultrasound and UV light. TU Hamburg-Harburg Reports on Sanitary Engineering, № 35

51. Clancy I.L., Bukhari Z. et al. (1999). Inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts by medium pressure ultraviolet light. *Water technology*, p. 151-154, September
52. Campbell A.T. (1995). Inactivation of oocyst *Cryptosporidium parvum* by ultraviolet radiation. *Water Res.*, 29:2583.
53. GwyAm Shin, Zuzana Bohrerova, Karl G. Linden, and Gaetan Faubert. (2005). DNA repair of UV-irradiated *Giardia lamblia* cysts detected by both infectivity and molecular biological assays. Third International Congress on ultraviolet Technologies, May
54. van der Walt E. «The Use of UV in Combination with Physical Unit Processes for the Treatment of Raw Water in Small or Rural Communities (South Africa)» //Материалы 2-го международного конгресса по ультрафиолетовым технологиям июль 2003г.
55. Test report. (2007). Determination of the efficiency of inactivation of MS2 phage, Poliovirus, *Cryptosporidium parvum* and a bacterial cocktail in Adelaide drinking water-A detailed evaluation, AWQC
56. Kruithof J. C. State of the art of the use of ozonation, UV treatment and related AOP's in Dutch drinking water treatment: CDROM Proceedings World Congress on Ozone and Ultraviolet Technologies, Los-Angeles, USA, August 27-29, 2007, International Ultraviolet Association.
57. Eira T., Veli-Pekka V., Heli H. Long-term Experience of Ozone and UV in Large Waterworks: Case Helsinki Water. CDROM Proceedings World Congress on Ozone and Ultraviolet Technologies, Los-Angeles, USA, August 27-29, 2007, International Ultraviolet Association.
58. Awad J. UV Disinfection Synergy with Ultrafiltration. CDROM Proceedings 3rd International Congress on Ultraviolet Technologies, Wistler, Canada, May 24-27, 2005, International Ultraviolet Association.
59. Burns N., Neemann J., Hulsey R. A., et al. Synergistic Evaluation of Ozone and UV at the Coquitlam Source for Enhanced DBP Control and *Cryptosporidium* Inactivation. CDROM Proceedings World Congress on

Ozone and Ultraviolet Technologies, Los-Angeles, USA, August 27-29, 2007, International Ultraviolet Association.

60. Jung Y. J., Oh B. S., Kang J. W. Synergistic effect of sequential or combined use of ozone and UV radiation for the disinfection of *Bacillus subtilis* spores // Water Research. March 2008. V. 42, Issues 6-7.
61. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84". Москва: б.н., 2012.
62. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.»
63. ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб».
64. ГОСТ 12.2.051-80 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование технологическое ультразвуковое. Требования безопасности».
65. Методические указания МУ 2.1.4.719-98 "Санитарный надзор за применением ультрафиолетового излучения в технологии подготовки питьевой воды"
66. Методические указания МУ 2.1.5.1183-03 "Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием воды в системах технического водоснабжения промышленных предприятий"
67. Методические указания МУ 2.1.5.732-99 «Санитарно-эпидемиологический надзор за обеззараживанием сточных вод ультрафиолетовым излучением»
68. Методические указания МУ 3.2.1757-03 «Профилактика паразитарных болезней. Санитарно-паразитологическая оценка эффективности обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением».
69. Методические указания. МУ 4.3.2030-05 «Санитарно-вирусологический контроль эффективности обеззараживания питьевых и сточных вод УФ-облучением».

70. Методические указания. МУК 4.2.964-00 Санитарно-паразитологическое исследование воды хозяйственного и питьевого использования.

71. <https://ru.wikipedia.org/>

72. <http://www.vstmag.ru/>

73. <http://www.avkvoda.ru/about/activities>

74. [http://www.vodokanal.spb.ru/vodosnabzhenie/tehnologii\\_ochistki/](http://www.vodokanal.spb.ru/vodosnabzhenie/tehnologii_ochistki/)

75. <http://wodoswet.ru/>

76. <https://cherinfo.ru/>

77. <http://vodanews.info/>

78. <https://www.gorvodokanal.com/>