

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

Институт химии и энергетики  
(наименование института полностью)

---

Кафедра «Химическая технология и ресурсосбережение»  
(наименование)

18.04.01 «Химическая технология»  
(код и наименование направления подготовки)

---

Рационально использование природных и сырьевых ресурсов в химической технологии и  
нефтехимии  
(направленность (профиль))

---

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему: Совершенствование технологии УФ-обеззараживания сточных вод на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот»

---

Студент

Е.М. Кажеева  
(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

к.т.н., доцент, В.С. Гончаров  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ процесса обеззараживания сточных вод .....	8
1.1 Обзор методов обеззараживания сточных вод .....	8
1.1.1 Метод хлорирования.....	8
1.1.2 Метод озонирования.....	10
1.1.3 Метод УФ обеззараживания .....	11
1.1.4 Ультразвуковой метод очистки .....	12
1.1.5 Комбинированный метод обеззараживания.....	15
1.2 Механизм действия УФ излучения .....	18
1.3 Химия сточной воды под влиянием УФ-облучения .....	22
1.4 Влияние ультрафиолета на темп роста и последующее размножение водорослей-макрофитов в естественных условиях .....	23
1.5 Преимущества и недостатки УФО .....	24
1.5.1 Преимущества УФ-обеззараживания воды.....	24
1.5.2 Недостатки УФ-обеззараживания воды.....	25
1.6 Требования к качеству сточных вод, подаваемых на обеззараживание.....	26
1.7 Патентный поиск УФО установок .....	27
2 Система обеззараживания, используемая на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот» .....	44
2.1 Этапы очистки сточных вод на предприятии ПАО «Тольяттиазот» .....	44
2.2 Характеристика сооружения станции УФО .....	46
2.2.1 Описание схемы процесса обеззараживания.....	46
2.2.2 Описание установки ультрафиолетового обеззараживания воды .....	49
2.2.3 Анализ применяемых УФ-ламп в установке.....	53

2.2.4 Принципы расчета количества ультрафиолета в установках обеззараживания воды.....	55
2.3 Оценка систем очистки УФ установок.....	59
2.4 Исследование токсичности сточной воды, подвергнутой УФО-обеззараживанию на поведение дафний.....	61
2.4.1 Выращивание дафний на биологически очищенных сточных водах.....	61
2.4.2 Экспериментальные исследования.....	62
2.4.3 Методика эксперимента.....	62
2.4.4 Ход работы и результаты эксперимента.....	63
3 Разработка рекомендаций по совершенствованию процесса УФО-обеззараживания на очистных сооружениях предприятия ПАО «Тольяттиазот».....	67
3.1 Испытания, проводимые для процессов обеззараживания ультразвуком и ультрафиолетом.....	67
3.2 Эффект воздействия ультразвуковых волн на формирование биопленки.....	78
3.3 Совершенствование технологии УФО.....	82
Заключение.....	88
Список используемых источников.....	90

## **Введение**

### **Актуальность и научная значимость настоящего исследования**

Для очистных сооружений ПАО «Тольяттиазот», а также для всего населения нашего города данная тема является актуальной, так как необходимо сбрасывание сточных вод, эффективно очищенных от различных загрязнений. Биологическое загрязнение является одним из наиболее распространенных и опасных загрязнений водных ресурсов. Очищенные стоки предприятия и хоз/бытовые стоки не должны содержать химических загрязнений, а также возбудителей различных вирусов (дифтерии, холеры, тифа, туберкулеза и так далее). Сброс таких вод напрямую влияет на здоровье населения и обитателей водного пространства.

Проблемой снижения качества обеззараживания является биообрастание ламп в установке ультрафиолетового обеззараживания, что препятствует ультрафиолету проникать через биопленку и уничтожать бактерий. Данная проблема касается не только ПАО «Тольяттиазот», но и других предприятий, использующих в процессе ультрафиолетовое обеззараживание (УФО). Для очистки ламп необходимо химическое промывание установки и при необходимости механическая чистка. Для поддержания ламп в чистоте, такую химическую промывку необходимо проводить каждые 720 часов (30 дней) и чаще, по мере загрязнения. А это ведет за собой временное отключение установки, и при несвоевременном обнаружении загрязнения ламп, недостаточно обеззараженная вода может пройти уже на сброс в водоем.

**Объект исследования:** очистные сооружения ПАО «Тольяттиазот».

**Предмет исследования:** ультрафиолетовая система обеззараживания очистных сооружений ПАО «Тольяттиазот».

**Цель исследования:** повышение качества очистки сточных вод путем совершенствования технологии УФ-обеззараживания сточных вод на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот» комбинированным способом

воздействия ультразвука и ультрафиолета.

**Гипотеза исследования** состоит в том, что, если совместно с ультрафиолетовым излучением применить ультразвуковое излучение при обеззараживании сточной воды, то повысится эффективность предотвращения биообрастания ламп в установке и повысится качество очистки от патогенной микрофлоры.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Проанализировать методы обеззараживания сточных вод, известные данные и результаты различных исследований по обеззараживанию воды ультрафиолетовым и ультразвуковым излучением;
2. Изучить технологический процесс станции УФО на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот»;
3. Исследовать токсичность обеззараженных сточных вод;
4. Исследовать воздействие ультразвуковых волн на формирование биопленки;
5. Разработать предложение по совершенствованию технологии ультрафиолетового обеззараживания воды на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот».

**Теоретико-методологическую основу** исследования составили: научные труды отечественных и зарубежных ученых в области обеззараживания сточной воды, существующая схема обеззараживания сточных вод на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот».

**Базовыми для настоящего исследования явились также:** работы Ульянова А. Н. и Лебедева Н. М. в области исследования обеззараживания сточной воды безреагентными способами.

**Методы исследования:** в магистерской диссертации были использованы теоретический и экспериментальный методы.

**Опытно-экспериментальная база исследования:** работы Ульянова А. Н. в области безреагентного обеззараживания сточных вод, ГОСТ Р 56236-2014 по определению токсичности вод.

**Научная новизна исследования** заключается в:

- обосновании выбора технологии совместного воздействия ультразвука и ультрафиолета в результате анализа различных способов обеззараживания воды;
- разработке варианта совершенствования системы ультрафиолетового обеззараживания воды методом облучения совместно с ультразвуком, применяя установки без блока промывки.

**Теоретическая значимость исследования** заключается в поиске и анализе патентной и научной литературы по существующим способам обеззараживания сточных вод.

**Практическая значимость исследования** заключается в разработке технологического решения для ультрафиолетового обеззараживания сточных вод на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот» с использованием ультразвука. Данный метод безопасен за счет своей безреагентной основы, не образуя токсичных веществ в воде. При этом, была предложена схема установки включающая бактерицидные лампы и ультразвуковые излучатели с техническими характеристиками, что позволит работать установке непрерывно, не загрязняя лампы.

**Достоверность и обоснованность результатов исследования** обеспечивались точным соблюдением использованных источников.

**Личное участие автора** в организации и проведении исследования состоит в поиске и анализе научной и патентной литературы, проведении экспериментального биотестирования воды, обработке и анализе полученных результатов, предложении разработки схемы установки и станции УФО на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот».

**Апробация и внедрение результатов работы** велись в течение всего исследования. Его результаты докладывались на следующей конференции:

V Всероссийская научно – техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов «Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов (ЭЭПП-2019) ».

**На защиту выносятся:**

1. Комбинированное действие ультразвука и ультрафиолета, способствующее повышению эффективности обеззараживания воды;
2. Система ультрафиолетового обеззараживания с использованием ультразвукового излучения, включающая в себя установи без блока промывки.

**Структура магистерской диссертации.** Работа состоит из введения, 3 разделов, выводов по разделам, заключения, содержит 20 рисунков, 16 таблиц, списка использованных 74 источников. Основной текст работы изложен на 97 страницах.

## **1 Анализ процесса обеззараживания сточных вод**

### **1.1 Обзор методов обеззараживания сточных вод**

В системах водоснабжения обеззараживание воды имеет важное значение, потому что это последний этап на пути возможной передачи болезнетворных микроорганизмов через воду потребителю. Обеззараживание способствует защите очищенной воды от внешнего загрязнения и вторичного роста микроорганизмов.

Процесс обеззараживания заключается в уничтожении разного рода вирусов, микроорганизмов, бактерий, содержащихся в воде, которые могут оказывать негативное воздействие на живые организмы. Эффективность обеззараживания воды зависит от концентрации и вида микробиологических загрязнений, их устойчивости к используемым обеззараживающим реагентам, качества исходной воды и технологии ее обработки.

Существует несколько методов обеззараживания воды по способу воздействия на микроорганизмы: химические, физические и комбинированные. При химическом методе обеззараживающий эффект достигается воздействием на воду химическими соединениями (реагентами). В случае физического – на воду производится безреагентное воздействие. При комбинированном методе, воду обрабатывают как химически, так и физически.

#### **1.1.1 Метод хлорирования**

Технология хлорирования является самым распространённым химическим методом обеззараживания сточных вод. Широкое распространение данной технологии обусловлено её небольшими эксплуатационными расходами и простотой использования. При обеззараживании сточных вод используют как газообразный хлор  $Cl_2$ , так и диоксид хлора  $ClO_2$  или гипохлорит натрия  $NaClO$ . Их широкое использование обусловлено небольшой ценой и доступностью.



Хлорное обеззараживание сточных вод обеспечивает высокую бактерицидную эффективность и низкие эксплуатационные затраты [23].

Однако в отношении к вирусам, присутствующим в сточных водах, использование обеззараживания диоксидом хлора  $\text{ClO}_2$  имеет более высокую эффективность, чем обеззараживание хлором. При обеззараживании воды диоксидом хлора процент выживших клеток вирусов и бактерий значительно ниже, чем при использовании такой же концентрации хлора и при таком же времени контакта. Но обеззараживающее действие хлора и его производных уменьшается из-за увеличения загрязнённости воды взвешенными веществами и органическими соединениями, что приводит к необходимости повышения доз реагентов в несколько раз. Применение технологии обеззараживания сточных вод хлором и хлорсодержащими реагентами требует внедрения более эффективных мер безопасности, ведущих к росту себестоимости обеззараживания. Кроме того, диоксид хлора является дорогим реагентом и имеет повышенную взрывоопасность [31].

Обладая высокой эффективностью обеззараживания, хлорирование не может обеспечить нужную санитарно-эпидемиологическую безопасность относительно присутствующих в сточных водах цист простейших, вирусов и форм микроорганизмов устойчивых к действию хлора, что приводит к микробиологическому загрязнению воды. Из-за наличия в воде фенольных соединений образуются опасные хлорорганические соединения, такие как хлорфенолы, хлорамины и др. Это является отрицательным воздействием хлорирования. Эти хлорорганические соединения обладают повышенной устойчивостью к биологическому окислению, высокой мутагенностью, токсичностью и не поддаются уничтожению при биологической очистке на очистных сооружениях [24].

В последнее время всё чаще появляется вопрос о надобности совершенного отказа от применения в качестве мер обеззараживания воды хлорированием. Согласно действующим нормативным документам по обеззараживанию сточных вод в Российской Федерации [5], количество

остаточного хлора в сточных водах, сбрасываемых в водоемы, не может превышать  $1,5 \text{ мг/дм}^3$ . Даже самое незначительное количество хлора токсично для флоры и фауны водоемов и из-за этого происходит остановка самоочищающихся процессов водоемов. Поэтому нужно снижать концентрации остаточного хлора до  $0,1 \text{ мг/дм}^3$  [2].

### **1.1.2 Метод озонирования**

«Метод озонирования также используется для обеззараживания сточных вод. Озон имеет более сильное бактерицидное действие, чем хлор. Озон эффективно разрушает оболочки клеток бактерий, плесени, спор, вирусов, в результате чего происходит их уничтожение. Из-за высокого окислительного потенциала озон взаимодействует со многими органическими веществами, преобразуя их в минеральные соединения. Но применение такого метода обеззараживания имеет свои особенности. В обработанной озоном воде при наличии высоких концентраций органических соединений могут образоваться токсичные вещества. Поэтому озоновое обеззараживание воды лучше всего проводить после предварительной очистки, что обеспечит снижение содержания взвешенных веществ до  $3 - 5 \text{ мг/дм}^3$  и биологического потребления кислорода (БПКполн) до  $10 \text{ мг/дм}^3$ » [24].

«При озоновом обеззараживании возникают некоторые проблемы, связанные с большими электро- и энергозатратами на получение озона, низкой растворимостью его в теплой воде, сложностью электроразрядных озонаторов, а также его высокой токсичностью и возможностью образования токсичных побочных продуктов. При озонировании сточных вод могут вторично появиться микроорганизмы из-за образования органических соединений в воде, которые являются питательной субстанцией для микробов, что может значительно снизить эффективность процесса обеззараживания. Обеззараживание озоном требует огромных электроэнергетических затрат, удельные расходы которых составляют от  $27 - 35 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  на  $1 \text{ кг}$  озона, полученного из осушенного воздуха, до  $43 - 57 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  на  $1 \text{ кг}$  озона, полученного из неосушенного воздуха» [8]. Это приводит к очень высоким эксплуатационным расходам. Что резко ограничивает область

применения озоновых технологий обеззараживания. Поэтому озон лучше использовать для обеззараживания сточных вод лучше на заключительной стадии очистки воды, когда для достижения высокого эффекта обеззараживания необходимо наименьшее потребление озона или необходимо получить более высокую степень очистки сточных вод и обезвредить токсичные соединения, присутствующие в воде [27].

### **1.1.3 Метод УФ обеззараживания**

«Метод обеззараживания воды с помощью ультрафиолетового облучения является одним из наиболее эффективных методов обеззараживания, не образующий в воде опасных токсичных соединений. УФ излучение оказывает уничтожающее воздействие для большинства микроорганизмов, присутствующих в воде. Особенно ультрафиолетовое излучение оказывает вредное воздействие на вирусы и бактерии, вызывающие смертельные болезни (холера, туберкулез и т.п.). Обеззараживание ультрафиолетом происходит под прямым воздействием ультрафиолета на молекулярную структуру микроорганизмов, что повреждает клеточные мембраны и разрушает молекулы ДНК, тем самым это ведет к полному уничтожению микроорганизмов» [27].

При ультрафиолетовом обеззараживании никакие вредные химические соединения не вводятся в воду. Правильно выбранная доза облучения является единственным условием применения метода УФ обеззараживания [22].

УФ обеззараживание воды имеет огромную популярность благодаря простоте технологии и высокой эффективности обеззараживания. В Северной Америке более 1500 муниципалитетов используют технологию ультрафиолетового облучения для обеззараживания сточных вод. В г. Калгари (Канада) расположена станция УФ обеззараживания сточных вод, имеющая производительность более 1 млн. м<sup>3</sup>/сут, которая считается самой крупной в мире. В России и в Украине технология УФ обеззараживания сточных вод также активно применяется. Метод ультрафиолетового обеззараживания становится конкурентоспособным за счет появления

энергосберегающих и мощных источников УФ-облучения с длительным сроком эксплуатации (более 16000 часов) и новых конструктивных решений УФ установок, по сравнению с другими химическими способами обеззараживания, особенно при повышенной устойчивости микрофлоры к ультрафиолетовому, озоновому и хлорному воздействию. «За последнюю четверть века повысилась устойчивость патогенных микроорганизмов к воздействию ультрафиолета в 2 – 4 раза, хлора в 5 – 6 раз и озона в 2 – 3 раза. Поэтому надо устанавливать высокие дозы озона или хлора, что приведет к дальнейшему загрязнению водоемов токсичными продуктами озонирования и хлорирования. К счастью, по своей природе, увеличение дозы ультрафиолетового облучения до 40 – 100 мДж/см<sup>2</sup> не может оказать отрицательного воздействия на окружающую среду. Но такое повышение дозы требует повышения энергоёмкости процесса обеззараживания, что является не выгодным фактором» [28].

При применении технологии УФ обеззараживания необходимо учитывать все факторы, которые влияют на дезинфицирующий процесс. Достаточно много материала по теме воздействия УФ – облучения на разного рода микроорганизмов накоплено в настоящее время. При этом установлено, что УФ излучение не приводит к образованиям в сточных водах токсичных веществ и оказывает более эффективное действие на вирусы, чем хлор, что в свою очередь является целесообразным широким внедрением УФ технологии обеззараживания сточных вод на любых очистных сооружениях. По обеззараживанию ливневых, бытовых и хозяйственных сточных вод, сбрасываемых в открытые водоемы, в отличие от методов химического обеззараживания, полностью отвечают требованиям охраны окружающей среды [14].

#### **1.1.4 Ультразвуковой метод очистки**

«Ультразвук (УЗ) – это упругие колебания и волны, частота которых выше 15-20 кГц. При воздействии УЗ на жидкость возникают специфические физические, химические и биологические эффекты, такие, как кавитация, капиллярный эффект, диспергирование, эмульгирование, дегазация,

обеззараживание, локальный нагрев и многие другие. Бактерицидное действие ультразвукового излучения в основном связано с кавитацией. Кавитация – это возникновение в жидкости массы пульсирующих газовых пузырьков. В течение всего отрицательного полупериода давления и части положительного при УЗ воздействии наблюдается рост кавитационного пузырька до некоторого максимального размера. Затем пузырек схлопывается, создавая ударные волны с импульсным давлением до нескольких тысяч атмосфер и температурой до 5000 К. Если ударная волна встречает на своем пути препятствие, то она разрушает его поверхность» [4].

Ультразвук имеет широкое применение в мире, он используется для очистки различных оборудования, ювелирных украшений, также используется в медицине (удаление зубного камня в стоматологии и т. д.), в бассейнах, в системах отопления, в стиральных машинах и для процессов эмульгирования.

«Механизм бактерицидного воздействия ультразвука на потенциально опасные микроорганизмы крайне прост: ультразвук наносит живой клетке механические повреждения, вследствие чего происходит ее постепенное разрушение и гибель. Преимуществом использования ультразвука перед многими другими средствами обеззараживания сточных вод служит его нечувствительность к таким факторам, как высокая мутность воды, характер и количество микроорганизмов, а также наличие в воде растворенных веществ» [4].

«Технология ультразвука предполагает использование широко известного механизма бактерицидного действия ультразвуковых колебаний на опасные микроорганизмы. Суть очистки сточных вод ультразвуковыми генераторами состоит в том, что колебания наносят механические повреждения живым клеткам микроорганизмов, приводя к их разрушению и гибели» [19].

Единственный фактор, который влияет на уровень эффективности обеззараживания и водоочистки стоков методом ультразвука, это

интенсивность колебаний. Частота колебаний находится выше уровня слухового восприятия, а в диапазоне от 20000 до 1000000 Гц является губительной для микроорганизмов. Именно эта особенность и используется при водоочистке стоков ультразвуком.

«В первый раз данный способ был предложен в 1928 году. Механизм действия ультразвука до конца пока еще не изучен. Есть некие предположения:

- ультразвук вызывает образование пустот в завихренной части, это и приводит к разрыву клеточных стенок бактерий;
- ультразвук вызывает выделение растворенного в воде газа, а пузырьки от газа, оказавшиеся в бактериальной клетке, вызывают разрыв клетки» [4].

«Ультразвук представляет собой упругие колебания частотой  $20 \div 10^6$  кГц. Особенность этого метода заключается в очень большой колебательной скорости при маленькой амплитуде, что и вызывает кавитацию уже при частоте 20 кГц и плотности потока энергии  $0,3 \text{ Вт/см}^2$ . Разрушение мембран происходит при достаточно большой интенсивности ультразвука. Облучение ультразвуком с интенсивностью  $0,3 \times 10 \text{ Вт/м}$  (то есть выше порога кавитации) используют для разрушения имеющихся в жидкости бактерий и вирусов. Так разрушают тифозные и туберкулезные палочки, стрептококки» [19].

«Достоинства ультразвукового обеззараживания:

- обеспечение высокого качества воды без изменения ее состава;
- уничтожение болезнетворных и вредоносных микроорганизмов;
- перемешивание водных слоев;
- ликвидация бактериального налета и помутнений;
- повышение срока эксплуатации и эффективности фильтров;
- отсутствие зависимости от прозрачности и качественного состава воды (даже при полной нулевой прозрачности воды или жидкости,

независимо от ее химического состава, ультразвук уничтожает микроорганизмы);

- неограниченный ресурс работы – если для производства излучателей используют малые потребляемые мощности (до 100 Вт), то ультразвуковые приборы в состоянии работать в непрерывном режиме многие годы;
- эффективность обеззараживания» [19].

«Ультразвуковой метод очистки сточных вод является наиболее перспективным. Когда необходима стационарная обработка большого количества жидкости ежедневно, а степень загрязнения велика, то нет ничего лучше, чем современная установка очистки воды ультразвуком. В таком оборудовании используются мембраны с мелкими порами. Они не пропустят химические соединения и биологические примеси, превышающие размерами молекулу воды. Чтобы предотвратить последующее вторичное заражение подобную систему дополнительно можно укомплектовать блоком со встроенной УФ-лампой» [4].

Для подготовки воды с помощью ультразвуковых колебаний характерны минимальные затраты энергии наряду с ее высокой степенью очистки. Следует учитывать, что наибольшей эффективности можно добиться при применении ультразвука с дополнительными методами очистки. Так, например, использование ультразвука наряду с ультрафиолетовым излучением приносит очень высокие показатели в качестве обрабатываемой воды.

### **1.1.5 Комбинированный метод обеззараживания**

При дальнейшем развитии технологий обеззараживания сточных вод появился комбинированный метод обеззараживания или технология активного окисления (Advanced Oxidation Process). Суть метода заключается в совместной обработке воды УФ излучением и окислителем, таким как гипохлорит натрия, пероксид водорода или озон. Это обеспечивает высокую эффективность уничтожения вирусов и бактерий, находящихся в воде, и

исключает загрязнение воды токсичными хлорорганическими соединениями. Кроме того, применение комбинации ультрафиолетового излучения с озоном, пероксидом водорода или гипохлоритом натрия обеспечивает снижение цветности воды, деструкцию органических находящихся в воде загрязнителей, а также обеспечивает эффективное уничтожение грибов, плесени и размножающихся в воде водорослей [21].

При выборе метода комбинированной обработки воды следует обращать особое внимание на экономическую целесообразность и на его технологическую возможность применения. Так, необходимо учитывать, что озон токсичный и неустойчивый газ, при обработке воды одновременно УФ-излучением и озоном (УФ + O<sub>3</sub>). В связи с этим, озон нужно получать непосредственно на месте эксплуатации устройства обеззараживания. При этом необходимо соблюдать строгие меры безопасности, так как концентрация озона в зоне нахождения обслуживающего персонала не должна превышать предельно – допустимой концентрации (ПДК <0,1 мг/м<sup>3</sup>). На очистных сооружениях становится целесообразным использование других окислителей, например, гипохлорита натрия или пероксида водорода, вместо озона, то есть применение метода обеззараживания, основанного на совместном воздействии ультрафиолетового облучения и пероксида водорода (УФ + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) или гипохлорита натрия (УФ + NaOCl). Потому что получение озона связано с большими энергозатратами (27 – 57 кВт год/кгO<sub>3</sub>).

Пероксид водорода представляет собой бесцветную жидкость. Ввод в обеззараживаемую воду пероксид водорода производится с помощью дозирующих насосов, применяемых для введения в воду гипохлорита натрия. Принцип обеззараживания сточных вод методом комбинированной обработки ультрафиолетовым излучением и пероксидом водорода основан на явлении фотолиза пероксида водорода под действием УФ излучения. При ультрафиолетовом облучении пероксида водорода происходит его разложение и образование свободных радикалов OH-, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и 2OH-, которые являются одними из самых сильных и экологически безопасных окислителей.



Они способны разрушать достаточно стойкие органические соединения и микроорганизмы, в том числе такие, как цисты лямблий, споры грибов, плесень, водоросли и соединения, которые размножаются в воде и придают ей зеленоватый цвет и неприятный болотистый запах [29].

Образующиеся в результате фотолиза свободные радикалы не являются устойчивыми веществами, они быстро разлагаются на воду и кислород. Продолжительность рекомбинации свободных радикалов, которые образуются в воде в результате фотолиза пероксида водорода, не превышает несколько десятков минут [17].

При применении комбинированного метода обеззараживания (Advanced Oxidation Process), расход озона или пероксида водорода, или гипохлорита натрия значительно меньше, чем при их отдельном использовании. Это положительно сказывается на себестоимости обеззараживания сточных вод. Ниже приведена сравнительная таблица эффективности применения химических, физических и комбинированных методов, применяемых для обеззараживания сточных вод (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительная таблица различных методов обеззараживания сточных вод

Показатели	Качественные показатели эффективности применения различных методов обеззараживания сточных вод							
	Cl2 (NaOCl)	Озон (O <sub>3</sub> )	УФ	УЗ	УФ + NaOCl	УФ + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	УФ + Озон	Озон + УФ + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Уничтожение бактерий, вирусов, простейших микроорганизмов	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Окислительная способность	+	++	+	+	+	++	++	+++
Образование токсинов	+	+	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 1

Показатели	Качественные показатели эффективности применения различных методов обеззараживания сточных вод							
	Cl <sub>2</sub> (NaOCl)	Озон (O <sub>3</sub> )	УФ	УЗ	УФ + NaOCl	УФ + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	УФ + Озон	Озон + УФ + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Деструкция органических веществ, сине-зелёных водорослей, плесени и др.	+	++	++	+++	++	++	++	+++
Увеличение прозрачности воды	+-	++	+	+	++	++	++	+++
Снижение цветности воды и интенсивности её запахов	+	++	++	+	++	++	++	+++
Наличие в воде остатков хлорорганических веществ	++	-	-	-	+-	-	-	-

Из таблицы видно, что самое эффективное действие дает комбинированное обеззараживание (озон+УФ+перекись водорода), но все же есть трудности по получению озона, поэтому является затратным методом. Также эффективными являются методы ультразвука и ультрафиолета, оба являются безреагентными. Есть перспектива, что в комбинации друг с другом они дадут эффективный результат обеззараживания.

## 1.2 Механизм действия УФ излучения

Самым известным и широко применяемым методом обеззараживания является ультрафиолетовое (УФ) излучение, которое поражает живые клетки различных микроорганизмов и водорослей, при этом не изменяя химический состав воды. УФ – излучение осуществляет эффективное обеззараживание, не ухудшая функциональных характеристик и внешнего вида не только воды,

но и воздуха, помещений, пищи и так далее. Что выгодно отличает от других химических методов [10].

Механизмы биологического действия ультрафиолета на молекулу разделяют на три группы:

- изменение функции и структуры ДНК/РНК,
- белковая фотоинактивация,
- биомембранное повреждение.

Данные процессы лежат в основе всех клеточных фотопроцессов. В области 240-290 нм УФ-излучение поглощается нуклеиновыми кислотами [69].

Основной механизм происходит благодаря фотолизу двойной связи ДНК, вследствие чего появляются одно- и двухнитевые разрывы в ДНК молекуле.

Под воздействием УФ-излучения на белки возникает деструкция их аминокислотных остатков, входящих в белковый активный центр и влияющих на их конформацию. В результате белок теряет функциональную активность.

Под действием УФ-излучения повреждается биомембрана клетки. Фоторазрушения фосфолипидов и белков, входящих в состав биомембраны, усиливают друг друга. Фотоокисление липидов состоит из двух стадий:

- под действием УФ липиды окисляются по свободно радикальному механизму до гидроперекисей,
- перекиси расщепляются до стабильных продуктов (альдегидов) при поглощении второго кванта УФ [1].

Антиоксиданты (жирорастворимые), которые присутствуют в мембранах, ингибируя окисление, фотодекструируют. За счет повреждения фосфолипидов усиливается инактивация мембранных ферментов (под действием УФ), что подавляет синтез АТФ, повышает проницаемость мембран для низкомолекулярных соединений и ионов. Биоактивные вещества, витамины и антиоксиданты также инактивируются [9].

К гибели клеток приводят молекулярные повреждения ДНК, фотодеструкция белков и биомембран. Основной ролью механизма гибели клетки является образование димеров пиримидина в молекулах нуклеиновых кислот. Образование димеров в ДНК приведет к гибели клеток из-за:

- возникновения летальных мутаций;
- потери, по крайней мере, репликационной способности в одной из ДНК молекул из-за нерепарированных сшивок ДНК;
- нарушенный процесс транскрипции [57].

При воздействии УФ-излучения на бактерии изменяется скорость процессов деления и гибели клеток, которые состоят из нескольких фаз. Скорость деления уменьшается мгновенно после облучения, и погибают некоторые клетки [70]. Выжившие клетки заново делятся, но уже частота митоза (деления) падает. И происходит гибель еще части клеток. Только через 3-4 недели наступает гибель. Ультрафиолетовый луч зоны С, соответствующей максимальному поглощению нуклеиновыми кислотами, вызывает замедленную гибель простейших, подверженных фотореактивации и, следовательно, за счет образования димеров [12]. Длинноволновое ультрафиолетовое излучение вызывает раннюю гибель клеток до первого митоза. Эти повреждения не могут быть устранены фотореаквационной системой и связаны с процессами фотолиза и денатурации цитоплазматических и мембранных белков, то есть с паранекротическими изменениями, индуцированными УФ-излучением [59].

Бактерицидное излучение – биологически активная зона спектра ультрафиолетового излучения (рисунок 1) с длиной волны от 205 до 315 нм используется для обеззараживания [66]. В диапазоне волн 250–270 нм наблюдается максимальная эффективность уничтожения микроорганизмов.

Бактерицидный эффект ультрафиолетового излучения основан на конечном повреждении РНК и ДНК. Они несут генетическую информацию и находятся во всех клетках живых организмов [30]. Когда микроорганизм размножается, молекула нуклеиновой кислоты удваивается. В результате

поглощения ультрафиолетовых лучей длиной 254 нм нуклеиновыми кислотами, в их структуре происходит образование димеров, сшивание (рисунок 2), что предотвращает удвоение ДНК/РНК, следовательно, и размножение микроорганизмов [6].

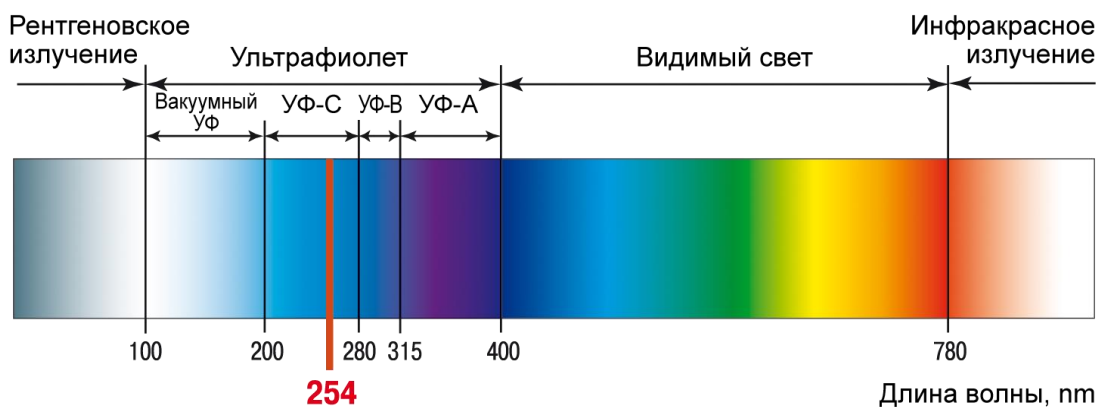


Рисунок 1 – Спектр излучения

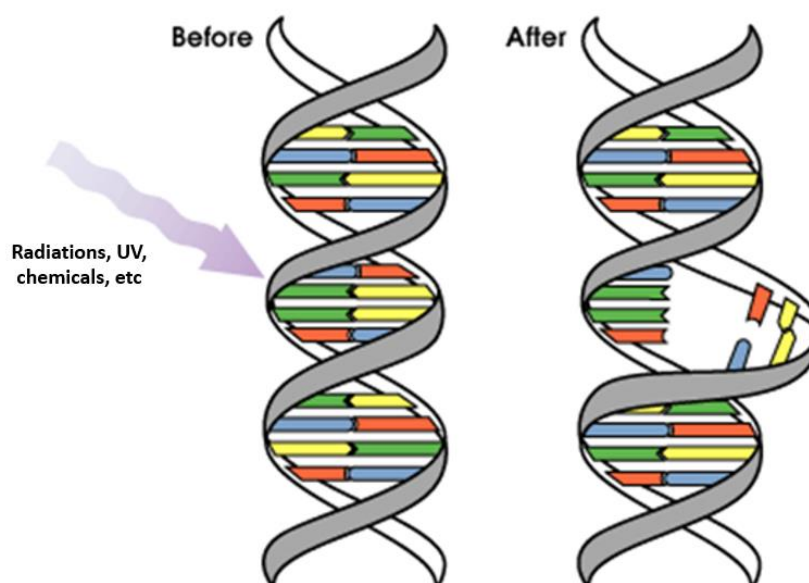


Рисунок 2 – Сшивание ДНК/РНК

Повреждение нуклеиновой кислоты можно назвать универсальным механизмом ультрафиолетового обеззараживания, поскольку УФ-излучение с разной степенью интенсивности отрицательно влияет на структуру клеток микроорганизма [64].

Ультрафиолет действует сокрушительно только на микроорганизмы и не влияет на изменение химического состава воды, а при использовании химических дезинфицирующих средств изменяется состав воды [13].

Таким же образом, УФ-излучение воздействует на клетки простейших водорослей, что также приводит к потере их способности к размножению. УФ-обработка водоемов является одним из способов предотвращения процесса «цветения» воды [61].

### **1.3 Химия сточной воды под влиянием УФ-облучения**

Огромное количество научных работ посвящено определению изменения химического состава воды после действия ультрафиолета различных доз и источников. В них проводились анализы на наличие органических соединений методами жидкостной и газовой хроматографии, масс-спектропии и биотестирования на разных организмах. При облучении природной воды было обнаружено повышение концентрации только одного побочного продукта – формальдегида [2]. В работах самые большие концентрации формальдегида не превышали 3 % его ПДК при облучении питьевой воды дозами более 100 мДж/мл поверхностной неочищенной воды. В 1998 г. в НИИ ЭЧиГОС им. А.Н.Сысина были проведены научно-исследовательские работы по теме «Образование побочных продуктов под действием ультрафиолета». Учеными было установлено, что облучение УФ не образует вредные побочные продукты. Зарубежные ученые изучали токсические свойства воды и пришли к выводу, что при исследовании облученной воды из нидерландских рек Рейна и Мааса не было обнаружено значительных изменений, а при хлорировании заметно выросло мутагенное действие воды [58, 20].

Благодаря высокоэффективному воздействию на различные микроорганизмы, а также незначительному влиянию внешних условий на эффективность обеззараживания и отсутствию вредных побочных продуктов,

ультрафиолетовое обеззараживание можно считать, как безопасный, практичный и действенный метод обеззараживания в системах очистных сооружений [56].

#### **1.4 Влияние ультрафиолета на темп роста и последующее размножение водорослей - макрофитов в естественных условиях**

Учеными проводились лабораторные эксперименты, которые показали, что водоросли, такие как *Ulvaria obscura* и *Saccorhiza dermatodea*, наиболее чувствительны к ультрафиолетовому излучению. Хотя оба вида имеют отрицательное снижение роста, но *Ulvaria obscura* имеет высокую скорость восстановления. Кроме того, скорость роста также снижается у *Laminaria saccharina* за счет того, что она подвергается воздействию ультрафиолетового излучения и быстро восстанавливается [36].

Водоросли *Porphyra umbilicalis* и *Palmaria palmata* были наиболее устойчивы к ультрафиолетовому излучению. *Porphyra umbilicalis* снижает скорость роста (2,1-1,4 % в сутки) и имеет более низкую скорость восстановления. Под воздействием ультрафиолетового излучения скорость роста не уменьшилась [65].

«В результате экспериментов ученые обнаружили, что степень устойчивости различных видов к воздействию ультрафиолетовых лучей зависит от содержания УФ-поглощающих и защитных пигментов, а также от активности процессов восстановления» [43].

«Ультрафиолетовое излучение существенно влияет на развитие и выход спор водорослей. Допустим, у ламинарии период выхода спор с февраля месяца по май, и индуцируется увеличением интенсивности ультрафиолета» [31]. И выход тетраспор пальмарии тоже происходит в малый период времени с февраля по март при высокой интенсивности ультрафиолета. За счет внешних воздействий окружающей среды (УФ-излучение, интенсивность света и так далее) регулируется развитие ритмов

эндогенной ткани, связанных с размножением и выпуском спор [39].

Таким образом, можно проследить за жизненными циклами водорослей, принадлежащих к разным видам, *P. Palmata* и *L. saccharina*. Ламинария проходит 2 пика размножения: основной пик бывает осенью, а дополнительный пик приходится на весну. Но в течение лета споры, образованные спорофитами и гаметофитами и выпущенные весной, погибают. Активация основного периода размножения у ламинарии появляется под действием минимума УФ-излучения. А пик осени - остаточное редуцируемое явление. А у пальмарики производство спор стимулируется ультрафиолетовым воздействием ультрафиолетового излучения, а время культивирования активируется по мере увеличения периода естественного ультрафиолетового излучения [52].

## **1.5 Преимущества и недостатки УФО**

### **1.5.1 Преимущества УФ-обеззараживания воды**

Обеззараживание ультрафиолетом не оказывает влияния на физико-химические свойства воды и в то же время нейтрализует огромное количество вредоносных микроорганизмов.

«Эффективность УФ-обеззараживания воды меньше, чем у озонирования, однако в случаях, когда вода не содержит особо устойчивых бактерий, использование УФ-обеззараживания воды считается лучшим методом из-за его экономичности по сравнению с озонированием и другими дорогими методами обеззараживания воды. Ультрафиолетовое обеззараживание воды происходит за считанные секунды, даже если используется максимальная доза» [49].

Ультрафиолетовое обеззараживание воды, благодаря ее безреагентной основе, позволяет использовать большие дозы облучения, что невозможно при других методах обеззараживания воды, потому что превышение верхнего предела дозы угрожает возможности попадания реагента в воду.



«Ультрафиолетовое обеззараживание воды также может быть использовано в качестве предварительного обеззараживания. При использовании УФ-обеззараживания благодаря высокой способности дезинфицировать, можно значительно снизить расходы химических дезинфицирующих средств или затраты энергии на обеззараживание воды с помощью озонирования и других методов» [44].

### **1.5.2 Недостатки УФ-обеззараживания воды**

Самым основным недостатком ультрафиолетового обеззараживания воды является его неуниверсальное воздействие на некоторые микроорганизмы, обладающие высокой устойчивостью к УФ-излучению. А такие микроорганизмы редко встречаются, но, если в воде много стойких бактерий и вирусов, то УФ-обеззараживание используется только в качестве предварительной меры. Также имеет значение наличие железа в воде, поэтому необходимо контролировать его содержание и, при необходимости, очищать от него воду.

Из-за наличия в воде взвешенных веществ значительно снижается эффективность функционирования бактерицидных установок, работающих по принципу обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением. «Присутствие в воде крупнодисперсных загрязнений может сыграть роль своеобразного щита для патогенных микроорганизмов, которые не получают необходимую уничтожающую дозу облучения. Отсюда можно сделать вывод о том, что чем выше уровень механических примесей в воде, тем, соответственно, выше вероятность недостаточно эффективного воздействия УФ-излучения на отдельные микроорганизмы. Таким образом, обязательным условием для полноценного функционирования блока обеззараживания воды является использование дополнительных этапов очистки воды перед обеззараживанием ультрафиолетом, которые могут удалять из воды разного рода механические примеси» [7].

«Существенным недостатком УФ-обеззараживания воды можно назвать отсутствие последующего эффекта дезинфицирующих

мероприятий. Ультрафиолет – излучение, и поэтому он не остается в воде после того, как он покинул корпус бактерицидной установки. Эффект ультрафиолетового обеззараживания уникален и прекращается после потери контакта с водой. Сегодня УФ обеззараживание воды применяется как отдельный метод очистки воды, так и в сочетании с другими методами обеззараживания» [20].

## **1.6 Требования к качеству сточных вод, подаваемых на обеззараживание**

«Очищенные сточные воды, прошедшие механическую, биологическую очистку и последующую обработку на аэрируемых зернистых фильтрах, направляются на обеззараживание. Подаваемая сточная вода не должна содержать механических предметов и маслянистых веществ, что приводит к загрязнению внутри камеры обеззараживания и разрушению ламп. Состав поступающих сточных вод должен соответствовать средним физико-химическим показателям качества, в соответствии со стандартом водоотведения ПДС (предельно допустимый сброс) сточных вод. В таблицах 2 и 3 представлены значения показателей, которым должен соответствовать состав поступающих на установки ультрафиолетового обеззараживания сточных вод» [50].

Таблица 2 – Критерии качества сточных вод, поступающих на обеззараживание УФ-излучением

Показатели	Допустимые уровни(не более)
ХПК мгО/л	50
БПК <sub>5</sub> мгО <sub>2</sub> /л	24
Взвешенные вещества, мг/л	10
Число термотолерантных колиформных бактерий в 1 л	$5 \cdot 10^6$
Колифаги БОЕ/л	$5 \cdot 10^4$

Доза УФ-облучения должна быть больше 30 мДж/см<sup>2</sup>, она определяется характером и качеством очистки сточных вод [33].

Таблица 3 – Основные требования к качеству очищенных сточных вод

Наименование показателей	Единицы измерения	ПДС сточных вод после биологической очистки
1	2	3
БПКполн	мг/дм <sup>3</sup>	24,00
Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	10,0
Сухой остаток	мг/дм <sup>3</sup>	1588,000
Фосфаты по фосфору	мг/дм <sup>3</sup>	1,550
Карбамид	мг/дм <sup>3</sup>	113,600
Азот нитратный	мг/дм <sup>3</sup>	24,96
Нитрат-анион	мг/дм <sup>3</sup>	108,5
Сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	830,0
Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	105,24
СПАВ	мг/дм <sup>3</sup>	0,092
Метанол	мг/дм <sup>3</sup>	0,100
Алюминий	мг/дм <sup>3</sup>	0,057
Азот аммонийный	мг/дм <sup>3</sup>	14,169
Ион аммония	мг/дм <sup>3</sup>	18,165
Азот нитритный	мг/дм <sup>3</sup>	0,020
Нитрит-ион	мг/дм <sup>3</sup>	0,08
Никель	мг/дм <sup>3</sup>	0,01
Медь	мг/дм <sup>3</sup>	0,001
Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	0,242
Титан	мг/дм <sup>3</sup>	0,06
Хром(6+)	мг/дм <sup>3</sup>	0,040
Железо общее	мг/дм <sup>3</sup>	0,745
Свинец	мг/дм <sup>3</sup>	0,002
Фтор	мг/дм <sup>3</sup>	0,257
Формальдегид	мг/дм <sup>3</sup>	0,02
Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	1,42
Фенол	мг/дм <sup>3</sup>	0,001

В случае обеззараживания установки используется раствор с хлорной известью, а в случае химической промывки используется щавелевая кислота [54].

### 1.7 Патентный поиск УФО установок

Основной проблемой всегда остается потребность населения в достаточном количестве воды требуемого качества. Очистка и обеззараживание систем водоснабжения, как из природных источников воды, так и из систем водоотведения, является одной из самых актуальных задач

для всего человечества. «Для большинства государств приоритетной является проблема защиты окружающей среды путем обеспечения населения питьевой водой высокого качества и предотвращения сброса неочищенных сточных вод. Кроме природных загрязнений, поверхностные водные источники содержат разные типы химических загрязнений антропогенного характера (соли тяжелых металлов, пестициды, нефтепродукты, и др.), вызванные сбросом недостаточно очищенных производственных и бытовых сточных вод в водоемы. Многие известные технологии для обеззараживания жидкостей не всегда могут обеспечивать необходимую степень очистки и обеззараживания» [74].

В основе полезной модели (патент №74908) стоит задача – разработки установки обеззараживания ультрафиолетовым излучением, которая обеспечит высокую эффективность работы установки благодаря простоте и оптимальному подбору элементов конструкции. «Также обеспечится контроль интенсивности излучения со своевременным оповещением о возникновении нештатной ситуации, и поспособствует повышению срока службы бактерицидных ламп, увеличится экономическая эффективность внедрения установки» [38].

Поставленная задача решается тем, что разработана установка обеззараживания ультрафиолетом, содержащая по меньшей мере одну бактерицидную ультрафиолетовую лампу. «Такая лампа подключена к блоку питания и управления, у которого есть система, контролирующая интенсивность ультрафиолетового излучения. Она содержит датчик интенсивности излучения, микропроцессор, целью изготовления которого является возможное измерение интенсивности излучения. Датчик связан с устройством аварийной сигнализации. Также блок управления содержит счетчик времени наработки лампы, а блоку питания – корректор коэффициента мощности» [74].

«В блоке управления есть счетчик времени наработки лампы, с помощью которого фиксируется продолжительность работы каждой лампы и

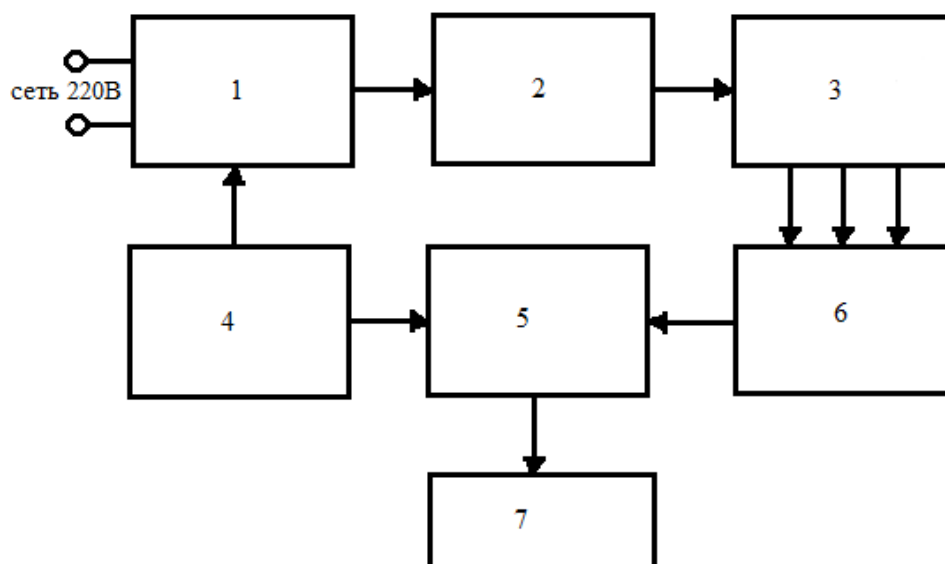
определяется необходимость осуществления гарантийного обслуживания установки, благодаря этому обеспечивается эффективный контроль интенсивности излучения с оповещением при возникновении нештатной ситуации. При снижении ресурсов бактерицидной лампы с помощью сигнализирующего устройства посылаются соответствующие сигналы о необходимости замены отработанной лампы. Корректор коэффициента мощности снижает ток, потребляемый установкой, потому что реактивная потребляемая мощность отсутствует при высоком значении коэффициента мощности (около 1), так как происходит перенос практически всей потребляемой мощностью на нагрузку. Так увеличивается качество потребления электроэнергии, так как малые гармонические искажения направляются обратно в электросеть, при этом снижаются негативные последствия для других потребителей» [38, 73]. «Интенсивность ультрафиолетового излучения не зависит от изменения напряжений питания, потому что стабилизатором напряжения считается также корректор коэффициента мощности. Таким образом, обеспечивается высокая эффективность эксплуатации установки» [74].

«Целесообразным является реализация полезной модели, если в ней блок питания снабжен электронным пускорегулирующим аппаратом и выполнен для питания бактерицидных ламп. Так возможно обеспечить оптимальный режим зажигания ламп, не ограничивая количество включений, тем самым значительно увеличив срок службы ламп, сохранив необходимый уровень излучения и снизив затраты на эксплуатацию. Исключается мигание ламп при использовании электронных пускорегулирующих аппаратов, сэкономив электроэнергию и стабилизировав режимы работы установки вне зависимости от колебаний в электросети. Такие установки можно использовать для дезинфекции помещений, потому что пускорегулирующие аппараты не перегреваются во время работы, тем самым улучшая температурный режим в помещении» [38]. Энергонезависимый

микропроцессор дает возможность надежно контролировать интенсивность излучения и время работы лампы и эффективно управлять системой.

«Полезная модель, в которой сигнализирующее устройство имеет звуковой сигнал и светодиодный индикатор, наиболее предпочтительна в реализации. Такое оповещение позволяет выдавать предупреждения на любых этапах работы установки, даже при 50 % достижении начального уровня интенсивности излучения. С помощью такой полезной модели можно гарантировать высокую надежность установки и простоту использования» [38].

На рисунке 3 представлена блок-схема установки обеззараживания.



1 – корректор коэффициента мощности; 2 – электронное пускорегулирующее устройство; 3 – бактерицидная лампа; 4 – микропроцессор; 5 – счетчик наработки лампы; 6 – датчик УФ-излучения; 7 – устройство аварийной сигнализации

Рисунок 3 – Установка ультрафиолетового обеззараживания

При работе полезной модели используют ртутные газоразрядные лампы низкого давления, оснащенные отражателями и регулируемым положением ламп в пространстве устройствами.

«Устройство содержит корректор коэффициента мощности 1, к которому подключено пускорегулирующее устройство 2. К

пускорегулирующему устройству, в свою очередь, подключена бактерицидная лампа 3. Кроме того, устройство содержит микропроцессор 4 для измерения излучения, счетчик времени работы лампы 5, датчик интенсивности ультрафиолетового излучения 6 и устройство сигнализации 7» [38, 73].

Установка работает следующим образом.

«При установке новых бактерицидных ламп проводится калибровка установки, а микропроцессором регулируется уровень излучения ламп, контролируя интенсивность излучения. После всех подготовительных работ, выполненных блоком управления, установка переходит в режим облучения. При снижении интенсивности УФ-излучения на 50 % сразу же срабатывает аварийная сигнализация, сопровождающаяся звуком. А при падении интенсивности до приемлемого минимального значения или возникновении нештатной ситуации вместе со звуковым сигналом происходит мигание светодиодного индикатора» [38].

«Таким образом, заявленная полезная модель благодаря простоте и оптимальному набору конструктивных элементов обеспечивает высокую эффективность работы и повышает экономическую эффективность внедрения установки, контролирует интенсивность ультрафиолетового излучения, своевременно оповещая о возможном выходе из строя и продлевая срок службы используемой бактерицидной лампы» [33, 73].

Система обеззараживания ультрафиолетом (патент №104058) примечательна тем, что в ней содержится пятиканальное ситовое отделение, каждый из которых имеет по меньшей мере одно сито с расстоянием в 1,4 мм. «В отделении обеззараживания семь рабочих каналов и один резервный сборно-распределительный канал, который соединяет эти отделения, каналы подвода и отвода. Затвор электрического переключателя и ультразвуковой датчик уровня, входящие в систему поддержания уровня воды, находятся в каждом канале» [35]. На входе и выходе из канала содержатся отсечные затворы, а в каждом канале установлено четыре УФ-секции, каждая из

которых состоит из двух модулей по 36 бактерицидных ламп в защитных чехлах. Поперек направления потока воды ориентирована продольная ось ламп. «Модули оснащены механической системой очистки поверхности чехлов, запускающейся через определенный промежуток времени. Кроме того, в одной из секций установлен датчик контроля интенсивности излучения, а в каждом канале установлен тау-метр, которым измеряется пропускание ультрафиолетового излучения через воду. Еще, кроме механической системы очистки в систему входит блок химической промывки кварцевых покрытий» [35].

«Известной установкой очистки сточных вод ультрафиолетовым излучением от органических и неорганических веществ является установка (патент №65042 U1 от 27.07.2007), в состав которой входит блок предварительной обработки, состоящий из отстойника-осветлителя со встроенной камерой смешивания-флокуляции, резервуара для осветленной воды, фильтра, камеры по ультрафиолетовому облучению, трубопроводов является аналогом. Недостатком этой установки является недостаточное обеззараживание сточных вод» [74].

«Существует модульная система ультрафиолетовой очистки воды (патент №2210545 C2 от 20.08.2003), в состав которой входят модули, установленные в потоке обрабатываемой среды, с устройствами очистки чехлов, подключенными к источнику давления. Также неотъемлемой частью модулей является корпус, представляющий собой вертикальные стойки и поперечные основания. Ультрафиолетовые лампы установлены в прозрачных чехлах в корпусе. Устройство для очистки чехлов состоит из поперечных решеток с чистящими кольцами, расположенных в отверстиях для ламп. Чистящее устройство установлено в корпусе, соединяющееся с подвижным элементом, который выполнен для перемещения по вертикальной направляющей в корпусе модуля. Кроме того, этот подвижный элемент выглядит как замкнутый полый цилиндр, соединенный с аналогичным цилиндром меньшего размера, который выполнен с возможностью



перемещения относительно этого цилиндра» [74].

«Недостаток такой системы состоит в усложнении конструкции модуля и увеличении его размеров. Это увеличивает глубину канала, в котором смонтирована модульная система. А также недостатком является недостаточный уровень обеззараживания воды. Повышение эффективности обеззараживания сточных вод является технически необходимой задачей, полученной из заявленной полезной модели» [15, 74].

Из предложенных патентов выявляются недостатки, связанные со сложностью конструкции, высокими энергозатратами и низким качеством обеззараживания. Далее будут рассмотрены устройства, совмещающие в себе ультразвук и ультрафиолет.

Патент №2332358 описывает устройство для обеззараживания жидкости без использования реагента. Оно может быть использовано в различных отраслях промышленности, как в бытовой, так и в производственной. «В состав устройства входит корпус, на наружной поверхности которого находятся ультразвуковые излучатели. А на внутренней поверхности корпуса находятся источники ультрафиолетового излучения с защитными чехлами. Чехлы размещены вокруг вставок, имеющих ультразвуковые излучатели внутри. Данные ультразвуковые излучатели располагаются в узловых точках с максимальной интенсивности колебаний, которые настроены на резонансную и синхронную частоту колебаний. Перед входом водного потока в корпус установлен завихритель потока» [36, 73]. Технический результат заключается в повышении эффективности производительности обеззараживания потока воды.

Задачи, на решение которых направлено данное изобретение, заключаются в повышении эффективности обеззараживания потока воды.

Технический результат достигается тем, что устройство «(патент №2332358) для обеззараживания включает в себя корпус с устройствами подачи и отвода воды, источники ультрафиолетового излучения в защитных чехлах и ультразвуковые излучатели. Последние находятся как снаружи, так

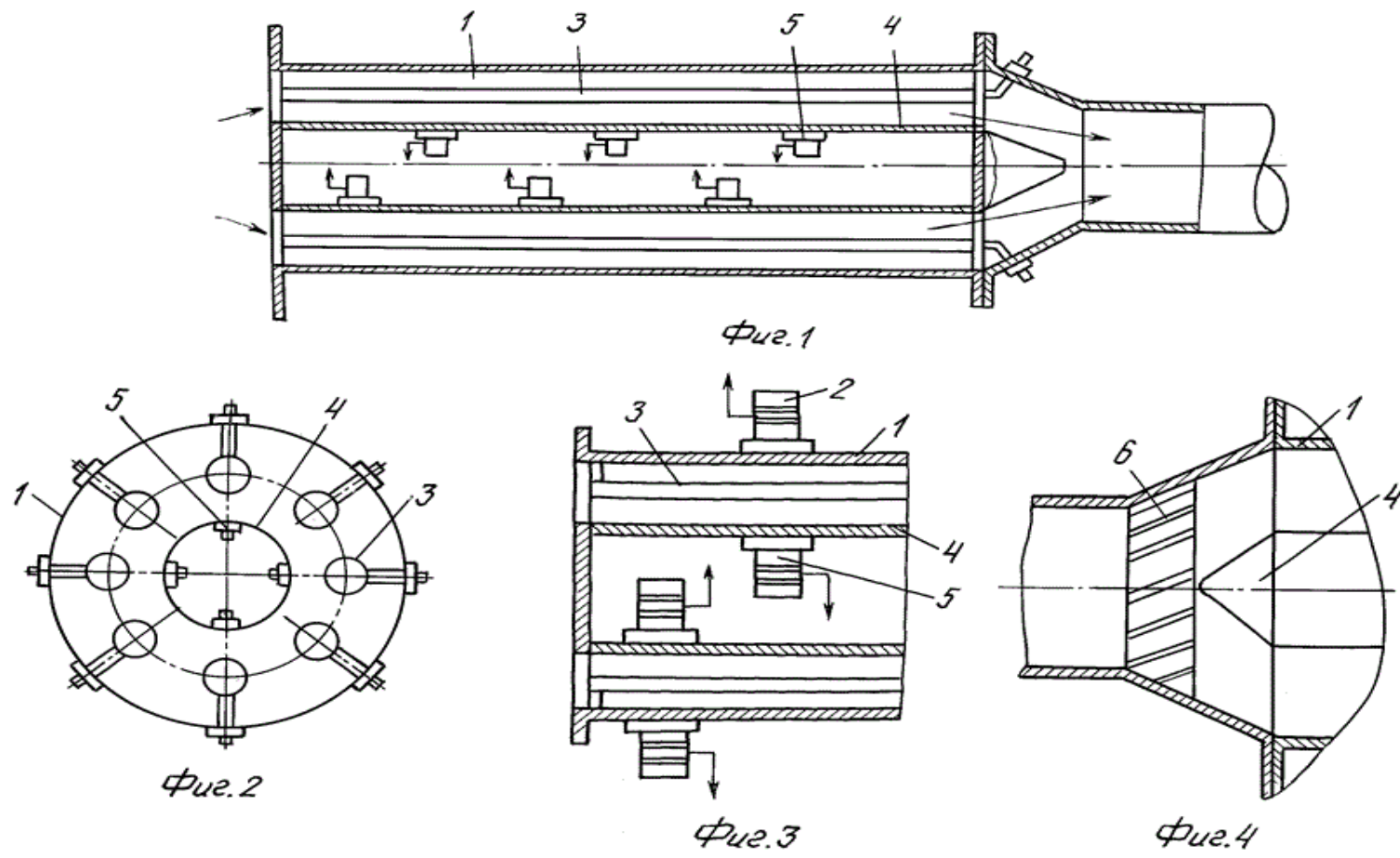
и внутри корпуса с помощью вставок и узлов максимальной интенсивности колебаний. Перед входом в корпус расположен завихритель потока. На чертежах (рисунок 4) представлено устройство для безреагентного обеззараживания воды:

- фиг.1 – общий вид;
- фиг.2 – общий вид в разрезе;
- фиг.3 – элемент устройства с ультразвуковыми излучателями на корпусе и по бокам вставки;
- фиг.4 – элемент устройства с завихрителем» [36, 73].

«Устройство безреагентного обеззараживания воды состоит из корпуса 1, на внешней поверхности которого расположены ультразвуковые излучатели 2. А внутри корпуса 1 размещены источники ультрафиолетового излучения 3 в защитных чехлах, расположенных вокруг вставки 4, внутри которой также есть ультразвуковые излучатели 5. Все ультразвуковые излучатели 2 и 5 находятся в узловых точках максимальной интенсивности колебаний с синхронной или резонансной частотой. На входе в корпус установлен завихритель потока 6, который необходим для более равномерной обработки потока воды по всему объему» [73].

«Принцип действия устройства заключается в следующем. Водный поток вливается в корпус, где происходит окисление и осаждение некоторых растворенных солей в воде при воздействии ультрафиолета и кавитации. Под воздействием этих факторов начинается процесс обеззараживания воды» [36]. «Вся патогенная микрофлора уничтожается за счет действия кавитационных процессов высокой интенсивности, образующихся на участках стенок корпуса 1 и вставки 4. А также за счет такого действия самоочищаются защитные чехлы ультрафиолетовых ламп» [74].

«Конструкция корпуса ультразвуковых излучателей 5 в полости вставки 4 значительно снижает шум при работе и соответствует самым высоким санитарно-гигиеническим показателям работы персонала». [36].



1 – Корпус; 2,5 – Ультразвуковые излучатели; 3 – Источники ультрафиолетового излучения;  
 4 – Вставка; 6 – Завихритель потока

Рисунок 4 – Чертеж устройства безреагентного обеззараживания жидкости

«Еще одним известным устройством является устройство для обеззараживания водной среды (ЕР №0655417), которое состоит из двух секций корпуса с узлами подачи воды и отвода очищенной воды. В первой секции расположен ультразвуковой вибратор, а во второй – ультрафиолетовая лампа в кварцевом чехле. В первой секции в кольцевом канале поступающая вода подвергается ультразвуковым колебаниям, а в следующей секции подвергается ультрафиолетовому облучению. Недостаток такого устройства состоит в том, что зоны воздействия ультразвука и ультрафиолета разделены. А это может привести к значительным энергетическим затратам ультразвука при очистке кварцевого чехла ультрафиолетовой лампы от биообрастания и отложения солей. Поскольку отсутствуют зоны концентрации ультразвукового поля, воздействие ультразвука в узком протяженном канале не позволяет в полной мере использовать преимущества единственного ультразвукового передатчика. При использовании одного источника ультрафиолетового излучения ограничивается производительность устройства, тем самым не обеспечивается достаточная степень очистки» [73].

Также известно устройство (Свидетельство на полезную модель РФ №55354), содержащее корпус, в котором бактерицидная лампа расположена коаксиально. «Устройство содержит узел подачи воды на обработку с эжектором, на выходе которого установлен ультразвуковой источник вдоль оси трубопровода, и узел отвода воды. Расположение излучателей ультразвука осуществляется равномерно в шахматном порядке в четыре ряда по образующей цилиндра. Такое расположение обеспечивает проведение ультразвуковой обработки всего объема водного потока» [74].

Но у этого устройства есть негативный аспект – недостаточная степень очистки из-за раздельного положения источников ультразвука и ультрафиолета.

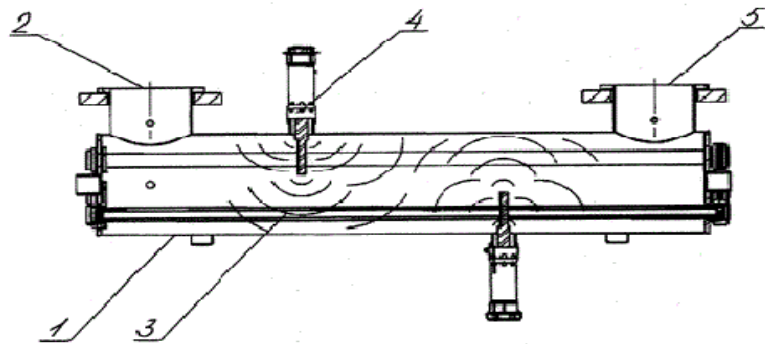
Техническим результатом применения устройства считается необходимость повышения однородности очистки воды с помощью

ультразвука и ультрафиолета в едином акустическом поле. Такое одновременное сочетание увеличит степень очистки от всякого рода примесей и повысит степень обеззараживания патогенных микроорганизмов при уменьшении времени обеззараживания и энергетического расхода. Кроме этого, устройство препятствует появлению биообрастания на поверхностях чехлов ламп и стенках корпуса.

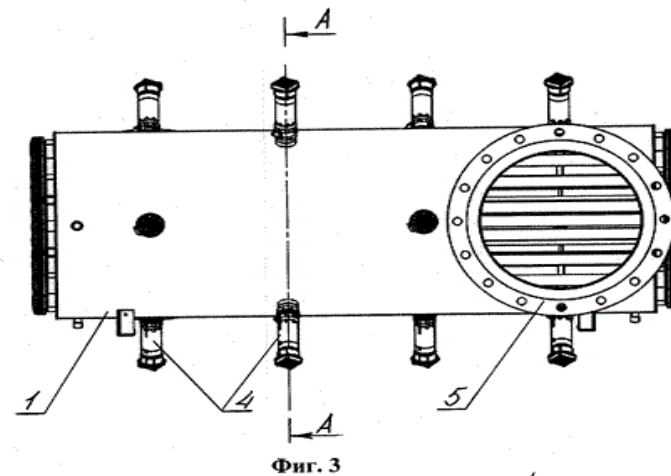
В патенте №90432 представлена полезная модель, относящаяся к области обеззараживания производственных и бытовых сточных вод, «в особенности мутных, которые различаются по виду и используются для очистки воды от загрязнений» [37].

«На рисунке 5 показано запатентованное устройство. На фигуре 1 изображен вертикальный разрез устройства, которое содержит два ультразвуковых излучателя по одному в каждом ряду. На фигуре 2 излучатели расположены вдоль оси корпуса на его концах. На фигуре 3 представлен общий вид устройства с ультразвуковыми излучателями в четыре ряда. На фигуре 4 вид по разрезу А-А фигуры 3, где показан порядок установки излучателей по три в ряд со смещением в двух соседних рядах на 60 градусов» [73].

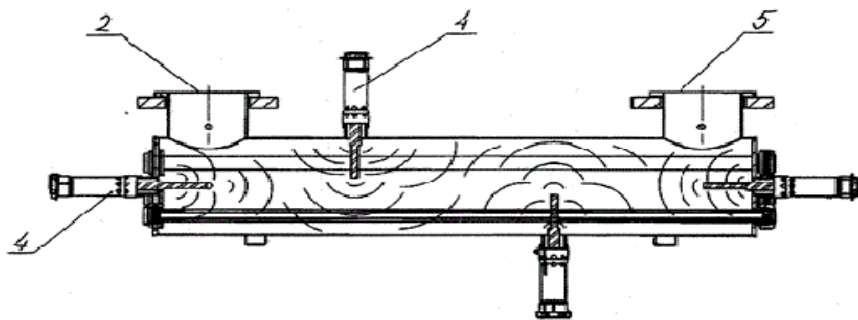
«Устройство содержит цилиндрический корпус 1 с узлом подачи воды на обработку 2, ультрафиолетовые излучатели 3 с защитными чехлами и ультразвуковые излучатели 4, которые расположены по одному в двух рядах по окружности корпуса. А также в устройстве есть узел отвода очищенной воды 5, при этом два крайних ультразвуковых излучателя 4 расположены прямо в торцах на оси корпуса. Ультразвуковые излучатели 4 расставлены по окружностям на поверхности корпуса фигуры 3. А на фигуре 4 изображены ультрафиолетовые излучатели 3 и ультразвуковые излучатели 4, расположены по три в ряду по окружностям на поверхности корпуса на равных расстояниях друг от друга, при этом, в каждом следующем ряду три излучателя ультразвука смещены относительно трех других излучателей в предыдущем ряду на 60 градусов» [37, 73].



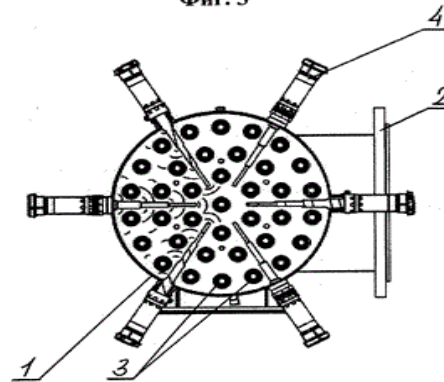
Фиг. 1



Фиг. 3



Фиг. 2



Фиг. 4

1 – Цилиндрический корпус устройства; 2 – Узел подачи воды на обработку; 3 – Ультрафиолетовые излучатели с защитными чехлами; 4 – Ультразвуковые излучатели; 5 – Узел отвода обеззараженной воды

Рисунок 5 – Устройство обеззараживания сточных вод

Устройство работает следующим образом. Через узел подачи воды поток направляется на обеззараживание в цилиндрический корпус, где в едином акустическом поле вода обрабатывается ультразвуком и ультрафиолетом одновременно. Для обеспечения высокой степени обеззараживания, используется оптимальное соотношение интенсивности ультразвукового и ультрафиолетового излучения на единицу объема воды. «Ультразвуковые излучатели представлены в виде цилиндрических ступеней, при этом диаметр каждой следующей ступени меньше диаметра предыдущей, а длина образующей и диаметр ступени кратны четверти длины волны ультразвука» [73]. Они генерируют ультразвуковые колебания необходимой мощности. «Расположение ультразвуковых излучателей предыдущей, а длина образующей и диаметр ступени кратны четверти длины волны ультразвука» [37]. «Расположение ультразвуковых излучателей позволяет сделать поле ультразвуковой обработки более равномерным, что обеспечивает стабильное воздействие на воду, способствуя интенсивное перемешивание обрабатываемой воды, что также способствует повышению степени очистки и дезинфекции воды. К разрыву жировых, белковых и углеводных цепей, повреждению мембран микроорганизмов и их разрушению на клеточном уровне приводит интенсивное образование каверн и пульсирующих вихрей под воздействием ультразвукового излучения во всем объеме устройства. И одновременно удаляется газ из жидкости. При схлопывании каверн образуются активные радикалы и окислители, способствующие образованию более интенсивных фотохимических реакций, ускоряющих окисление органических загрязнений, которые растворены в воде, и инактивирующих патогенных микроорганизмов» [67]. «Ультразвуковые излучатели располагаются в двух рядах навстречу друг к другу, что позволяет ультразвуковому полю охватывать весь объем корпуса, включая узел подачи воды для обработки и узел отвода очищенной воды. Ультразвуковые излучатели являются сменными, расстояния между ультрафиолетовыми и ультразвуковыми излучателями должны быть кратны

длине четверти волны ультразвука, потому что это позволяет сильным окислителям распределиться по обрабатываемому объему равномерно. Очищенная и обеззараженная вода через узел отвода выходит из устройства» [74].

«Устройство повышает степень очистки воды от загрязнений и микроорганизмов, это происходит при малом времени очистки со сниженными энергозатратами. А также возможно предотвращение отложения солей на корпусе устройства и поверхностях чехлов ламп из-за одновременного воздействия на воду ультразвука и ультрафиолета в едином акустическом поле, что подтверждает его соответствие критерию промышленной применимости» [37].

«Устройство (патент №90432) проводит практически полное обеззараживание до 99,999 %, то есть полностью уничтожается любая форма патогенной микрофлоры с концентрацией до  $10^6$  ед/л. Из-за того, что мощные окислители, образующиеся при одновременном воздействии на воду ультрафиолета и ультразвука, равномерно распределяются по обрабатываемому объему, поверхности устройства не подвергается биологическому обрастанию. Затраты энергии на  $1 \text{ м}^3/\text{ч}$  обрабатываемой воды не превышают 3-5 Вт для питьевой воды и 13-15 Вт для сточной» [37].

Таким образом, предлагаемое техническое решение позволяет создавать многофункциональное универсальное устройство с низким энергопотреблением для обеззараживания потока воды от различных загрязнений.

В таблице 4 представлена сравнительная характеристика устройств обеззараживания воды, включающие в себя ультрафиолетовое обеззараживание и одновременное действие ультразвукового и ультрафиолетового излучения. В таблице отражаются особенности устройств и их недостатки.



Таблица 4 – Сравнительная характеристика патентов на устройства обеззараживания воды

Патент	Особенности изобретения	Недостатки изобретения
1	2	3
(RU) № 74908 «Устройство для ультрафиолетового обеззараживания воды»	«Корректор коэффициента мощности, газоразрядные ртутные лампы низкого давления микропроцессор для измерения излучения, счетчик времени работы лампы, датчик интенсивности ультрафиолетового излучения и устройство сигнализации в виде светодиодного индикатора и звукового сигнала»[74].	Использование устройства для воздушного обеззараживания в помещениях.
(RU) №104058 «Установка для обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением»	Пятиканальное ситовое отделение, каналы подвода и отвода. «Затвор электропереключателя и датчик уровня ультразвука, входящие в систему поддержания уровня воды. На входе и выходе из канала отсечные затворы, в каждом канале четыре УФ-секции, состоящие из двух модулей по 36 бактерицидных ламп в защитных чехлах» [74]. Периодическая механическая и химическая система очистки чехлов, датчик контроля интенсивности излучения, тауметр, которым измеряется пропускание ультрафиолетового излучения через воду.	Энергозатратное обеззараживание, сложность аппаратуры.
(RU) №65042 «Установка очистки сточных вод УФ-излучением от органических и неорганических веществ»	«Блок предварительной обработки (отстойник-осветлитель с встроенной камерой смешивания-флокуляции, резервуара для осветленной воды), фильтр, камера по ультрафиолетовому облучению» [74].	Недостаточное обеззараживание сточных вод.
(RU) №2210545 «Модуль ультрафиолетовой очистки воды»	Модуль с устройством очистки (поперечные решетки с чистящими кольцами, подвижный элемент для их перемещения) чехлов, корпус с вертикальными стойками и поперечным основанием.	Усложнение конструкции модуля и увеличении его размеров, недостаточный уровень обеззараживания воды
(RU) №2332358 «Устройство для обеззараживания жидкости без реагента»	Перед входом в корпус завихритель для перемешивания потока. Ультразвуковые излучатели снаружи и внутри корпуса. За счет образования кавитации происходит самоочищение чехлов ламп.	–

Продолжение таблицы 4

Патент	Особенности изобретения	Недостатки изобретения
1	2	3
(EP) №0655417 «Устройство для обеззараживания водной среды»	Двухсекционный корпус (в первой секции ультразвуковой вибратор, во второй – ультрафиолетовые лампы)	Недостаточная степень очистки из-за уменьшения производительности при использовании одного источника ультрафиолетового излучения.
(RU) №90432 «Устройство для обработки водных сред в протоке»	Минимальные энергозатраты, одновременное воздействие ультразвука и ультрафиолета, образование мощных окислителей за счет «каверн», тем самым повышая степень очистки сточной воды и чехлов ламп.	–
(RU) №55354 «Устройство для обеззараживания воды»	Бактерицидная лампа расположена коаксиально. Узел подачи воды на обработку с эжектором. На выходе из корпуса ультразвуковой источник вдоль оси трубопровода, и узел отвода воды. Расположение излучателей ультразвука осуществляется равномерно в шахматном порядке в четыре ряда по образующей цилиндра.	Недостаточная степень очистки из-за раздельного положения ультразвуковых и ультрафиолетовых источников.

В итоге, данные изобретения, включающие в себя только ультрафиолетовое излучение, имеют недостатки, не предотвращающие биообрастание чехлов. Необходимо использование ультрафиолета совместно с еще одним излучением – ультразвуковым.

Из таблицы видно, что самыми эффективными устройствами являются устройства патентов №2332358 и 90432, так как они не имеют недостатков, и самое главное предотвращают биообрастание чехлов. Взяв за основу патент №90432 можно изменить имеющуюся установку на очистных, добавив в нее ультразвуковые излучатели.

## **Выводы по 1 разделу**

1. Обеззараживание воды в системах питьевого водоснабжения имеет весьма важное значение, т.к. это барьер на пути возможной передачи болезнетворных микроорганизмов через воду потребителю. Самым безопасным методом является ультрафиолетовое излучение, так как от других методов он отличается тем, что его воздействие является безреагентным, то есть не происходит изменения химического состава воды.

2. Степень эффективности обеззараживания воды ультрафиолетом напрямую зависит от интенсивности излучения, времени воздействия, а также прозрачности водной среды. Чем выше прозрачность воды, тем ниже энергия, необходимая для обеспечения одной и той же дозы для эффективного обеззараживания ультрафиолетом.

3. Негативным аспектом ультрафиолетового обеззараживающего метода считается полное отсутствие последующего эффекта. Следовательно, на этапе УФ-очистки воды необходимо достичь максимально возможной эффективности дезинфекции.

4. Технология, сочетающая в себе ультразвук и ультрафиолет, позволяет получать такие уровни обеззараживания, достижение которых только радиационной энергией невозможно. И, кроме того, достижение требуемых уровней инактивации обеспечивается при более низких суммарных затратах энергии, что доказывают патенты устройств № 2332358 и 90432.

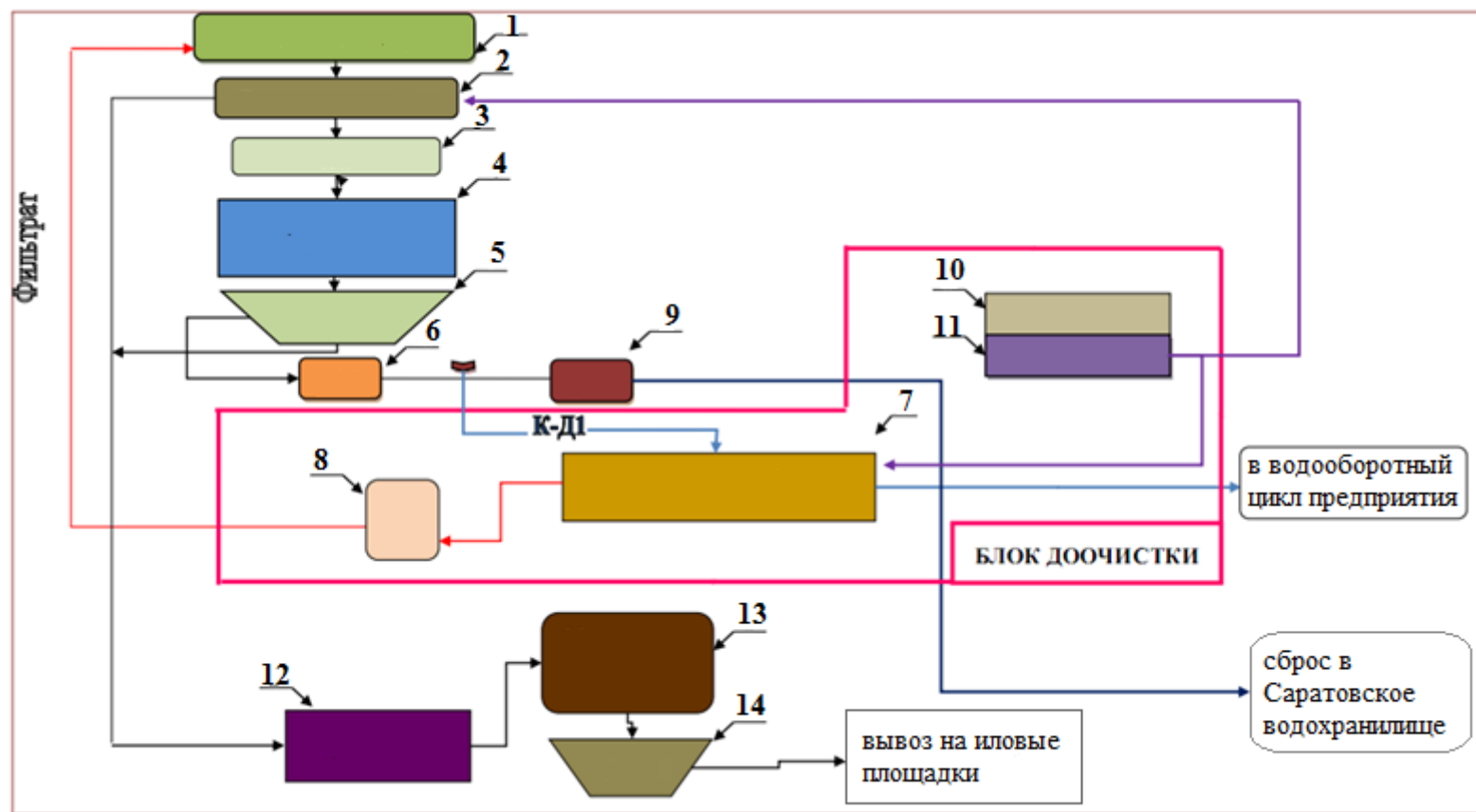
5. Возможно применение комбинированного метода обеззараживания ультрафиолетом и ультразвуком, который эффективно действует на качество обеззараживания, исходя из патентного анализа.

## **2 Система обеззараживания, используемая на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот»**

### **2.1 Этапы очистки сточных вод на предприятии ПАО «Тольяттиазот»**

На предприятии ПАО «Тольяттиазот» загрязнённые сточные воды проходят стадии очистки (рисунок 6), включающие в себя:

- механическая очистка сточных вод с помощью решеток-дробилок, песколовок и первичных отстойников;
- биоочистка сточных вод в аэротенках с органическими и неорганическими загрязнениями;
- последующая очистка (доочистка) стоков на аэрируемых зернистых фильтрах;
- ультрафиолетовое обеззараживание очищенных стоков;
- складирование уплотненного ила на иловых площадках для естественной сушки и временного хранения;
- направление очищенной воды в Саратовское водохранилище [3].



1 – Приемная камера; 2 – Блок механической очистки; 3 – Первичные отстойники; 4 – Аэротенки; 5 – Вторичные отстойники; 6 – Аэрируемые зернистые фильтры; 7 – Здание обратноосмотических мембран; 8 – Отстойник; 9 – Станция ультрафиолетового обеззараживания; 10 – Трансформатор; 11 – Насосная станция; 12 – Стабилизаторы; 13 – Механическое обезвоживание осадка; 14 – Бункер

Рисунок 6 – Технологическая схема очистных сооружений после реконструкции

## **2.2 Характеристика сооружения станции УФО**

Предназначение станции УФО в обеззараживании очищенных и доочищенных сточных вод – воздействие бактерицидного излучения длиной волны 254 нм на микроорганизмы, с целью достижения летального уровня облучения для микроорганизмов.

В состав станции УФО входят:

- 4 установки ультрафиолетового обеззараживания воды с обвязкой;
- электрощитовая;
- два подводящих и два отводящих трубопровода диаметром 1000 мм, с отсекающей арматурой и расходомерами, установленными на подводящих трубопроводах;
- два насоса для откачки дренажной воды из прямков;
- помещение для хранения щавелевой кислоты;
- щитовая;
- бытовые помещения обслуживающего персонала [40].

### **2.2.1 Описание схемы процесса обеззараживания**

Станция ультрафиолетового обеззараживания сточных вод (УФО) предназначена для обеззараживания 100000 м<sup>3</sup>/сут. (часовой расход – 5217 м<sup>3</sup>/ч) сточных вод, предварительно очищенных, при работе четырех установок. От аэрируемых зернистых фильтров по двум самотечным коллекторам диаметром 1000 мм на станцию УФО поступают очищенные сточные воды. Обеззараженные сточные воды сбрасываются через два самотечных коллектора диаметром 1000 мм, которые объединяются в один диаметром 1200 мм, перед тем как врезаться в трубопровод диаметром 1400 мм за контактными резервуаром [47].

Блок-схема станции УФО – обеззараживания доочищенных сточных вод (смонтировано четыре установки) показана на рисунке 7.

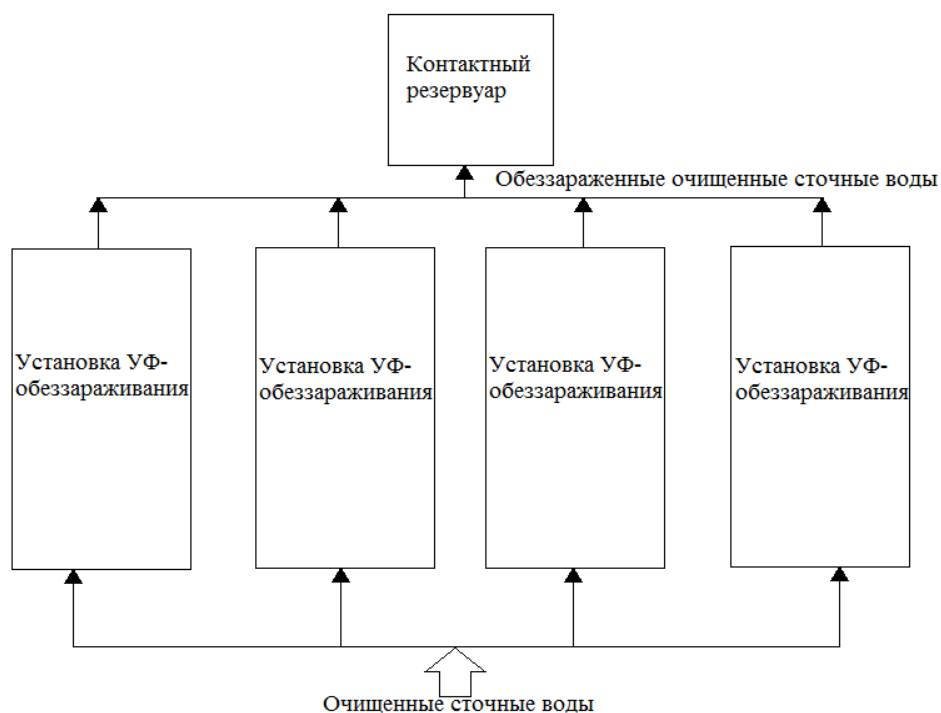


Рисунок 7 – Схема процесса УФО на ПАО «Тольяттиазот»

Установка предназначена для обеззараживания очищенных сточных вод, в состав которой входят:

- обеззараживающая камера для облучения очищенной воды ультрафиолетом. В камере установлены защитные кварцевые чехлы, внутри которых располагаются бактерицидные УФ-лампы. На камере установлены блоки пускорегулирующей аппаратуры (ПРА);
- шкафы управления для контроля работы установки и управления клапанами;
- промывной блок для химической очистки кварцевых чехлов, защищающих ультрафиолетовые лампы.

Эффект обеззараживания основан на воздействии ультрафиолетовых лучей с длиной волны 200-300 нм на белковые коллоиды и ферменты протоплазмы микробных клеток [62].

Повреждение молекул ДНК и РНК микроорганизмов возникает из-за фотохимического воздействия энергии излучения в воде. При

фотохимическом эффекте химические связи молекул разрушаются за счет поглощения энергии фотонов [15].

Бактерицидное излучение уничтожает не только вегетативные виды микробов, но и спорообразующие. Бактерицидный эффект находится в зависимости от прямого воздействия ультрафиолетовых лучей на бактерии. Воде обрабатываемой ультрафиолетовым излучением необходимо иметь достаточную прозрачность, потому что в загрязненных водах интенсивность проникновения лучей быстро снижается. На обеззараживание подаются очищенные сточные воды, прошедшие все этапы очистки, включая дополнительную очистку на аэрируемых зернистых фильтрах с песчаной загрузкой [46].

Чтобы добиться значительного эффекта обеззараживания воды, УФ-станция должна обеспечить облучение потока воды необходимой дозой облучения, определяющейся средней интенсивностью излучения в объеме потока сточных вод и временем нахождения потока под облучением.

Доза УФ-излучения должна составлять не менее 30 мДж/см<sup>2</sup>. Интенсивность излучения измеряется с помощью специальных датчиков излучения. На жидкокристаллическом дисплее блока регистрации для системы контроля интенсивности УФ-излучения средняя интенсивность УФ-излучения в обеззараживающей камере установки записывается в режиме измерения, вода – коэффициентом пропускания воды в слой 1 см УФ излучения при длине волны 254 нм (%), а чехол – коэффициентом загрязнения чехлов (%) [71].

Интенсивность излучения зависит как от коэффициента пропускания водой бактерицидного излучения, так и от режима работы УФ станции. С увеличением коэффициента пропускания увеличивается доза облучения. Увеличение мощности установки производится уменьшением расхода, а уменьшение – путем увеличения потока сточных вод через установку или путем отключения некоторого количества бактерицидных ламп при заданном расходе сточной воды [41].



Расход на одну установку может быть увеличен до более 1000 м<sup>3</sup>/ч, если стандарты бактериального анализа будут соответствовать норме [55].

### 2.2.2 Описание установки ультрафиолетового обеззараживания воды

Установка состоит (рисунок 8) из:

- камера обеззараживания – предназначена для УФ-облучения воды. В камере установлены защитные кварцевые чехлы с бактерицидными УФ-лампами внутри (рисунок 9). На камере размещены блоки пускорегулирующей аппаратуры (ПРА);
- блок промывки – для химического промывания кварцевых чехлов, защищающих ультрафиолетовые лампы;
- шкафы управления – предназначены, соответственно, для управления установкой и затворами и контроля за их работой.

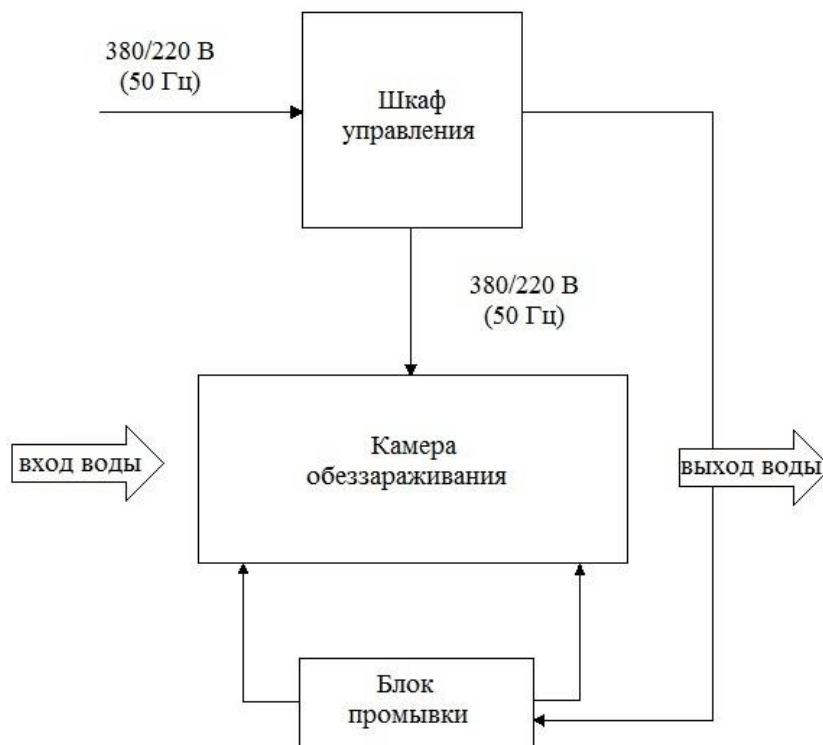


Рисунок 8 – Схема установки обеззараживания воды УФ излучением

Камера обеззараживания состоит из корпуса, изготовленного из нержавеющей стали, установленного на раме. Бактерицидные УФ лампы, помещенные в защитные кварцевые чехлы, расположены перпендикулярно боковым стенкам корпуса. Лампы герметично закреплены в отверстиях стенок корпуса при помощи лампового уплотнения. Ламповые уплотнения закрыты защитными экранами. Вода, поступающая в камеру обеззараживания через впускной патрубок, обтекает кварцевые чехлы, и обеззараживается под воздействием ламп УФ-излучения. Обработанная вода поступает в выходной патрубок и далее по самотечному трубопроводу поступает в приемную камеру насосной станции № 3 СПУ [38].

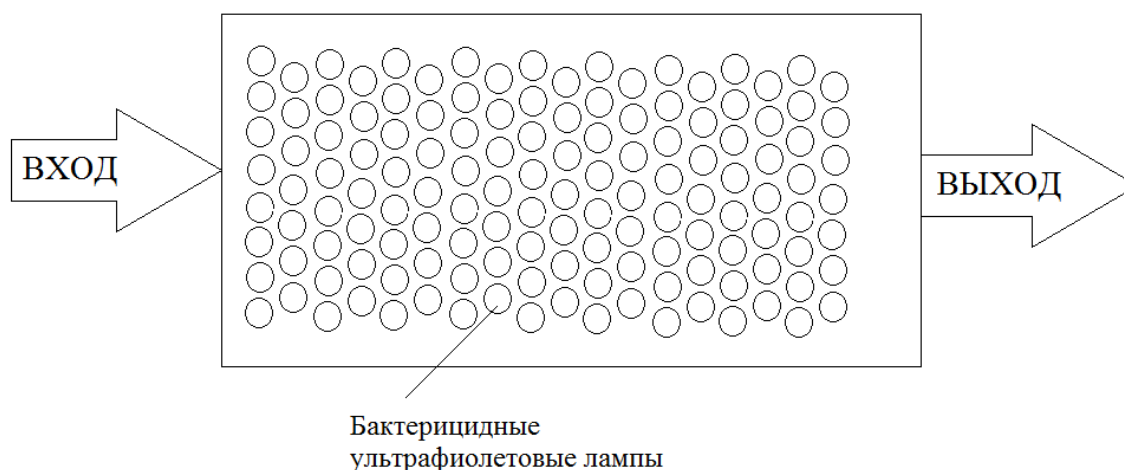


Рисунок 9 – Камера обеззараживания с ультрафиолетовыми лампами

На стенках корпуса расположены смотровые окна, которые закрыты силикатным стеклом, не пропускающие УФ-излучения, для контроля за работой установки. В корпусе камеры обеззараживания располагаются люки обслуживания и люк-лаз для проведения регламентных работ. Перед зоной расположения ламп установлены решетки для равномерного распределения потока воды перед зоной облучения [16].

В верхней части камеры обеззараживания находится кран удаления воздуха из потока воды и кран впуска и выпуска воздуха при опустошении и заполнении камеры соответственно [42].

В таблице 5 представлены технические характеристики установки.

Таблица 5 – Технические характеристики установки УДВ-1000/360-Д23

Наименование параметра	Значение
Напряжение питания	380/220 В
Коэффициент мощности -	не менее 0,93
Частота питающего тока	50 Гц
Тип ПРА	ЕС80/85С140
Тип ламп	ДБ-75-2
Срок службы лампы	12000 час
Количество ламп	324 шт.
Производительность	400-1300 м <sup>3</sup> /час
Доза	не менее 30 мДж/см <sup>2</sup>
Тип блока промывки	БПР-30
Диаметр входного и выходного патрубков камеры обеззараживания	600 мм
Давление в камере обеззараживания	не более 1,0 кгс/см <sup>2</sup> (0,1 МПа)
Разряжение в камере обеззараживания	не менее - 0,2 кгс/см <sup>2</sup> (20 кПа)
Мощность в камере обеззараживания, шкаф управления	29 кВт
Мощность блока промывки	1,2 кВт
Тепловыделение в блоках ПРА	не более 4,5 кВт
Ток ламп одной панели ПРА	не менее 9 А
Объем камеры обеззараживания	5,7 м <sup>3</sup>
Масса камеры обеззараживания	не более 4240 кг
Масса шкафа управления	не более 80 кг
Масса блока промывки	не более 50 кг.
Габаритные размеры камеры обеззараживания (длина × ширина × высота)	не более 5000×1620×2035 мм
Габаритные размеры шкафа управления	не более 800×405×1750 мм
Габаритные размеры блока промывки	не более 1010×530×1155 мм

Контроль давления внутри камеры производится моновакууметром.

На патрубках входа и выхода есть пробоотборники для отбора проб воды для анализов.

В камере обеззараживания на патрубках входа и выхода расположены патрубки с промывочными кранами для промывания установки.

Блоки пускорегулирующей аппаратуры, отвечающие за запуск, питание

и контроль работы ламп, расположены над корпусом обеззараживающей камеры.

Блок пускорегулирующей аппаратуры состоит из панелей. На панели располагаются пускорегулирующие аппараты (ПРА) и стартеры [45].

Лампы питаются от кабелей, которые проходят от каждой панели ПРА через ламповое уплотнение к соответствующим лампам. Нумерация панелей ПРА, ламп в установке и составных частей панелей ПРА. Номер лампы, к которой необходимо подсоединить кабель, указан на стакане лампового уплотнения [34].

УФ датчик контролирует интенсивность УФ излучения [60].

Шкаф управления. Сетевое напряжение 220/380 подается на водный автоматический выключатель шкафа управления. Напряжение подается от выключателя на магнитный пускатель, а затем распределяется на четыре блока пускорегулирующей аппаратуры (ПРА) через автоматические выключатели. Ток, потребляемый в фазах, контролируется измеренными значениями амперметров, которые подключены к фазовым проводам через трансформаторы тока. Напряжение на фазовых линиях контролируется значениями вольтметра отдельно для каждой фазы [63].

В шкафу управления размещены:

- компенсирующий конденсатор, предназначенный для повышения коэффициента мощности установки;
- автоматический выключатель компенсирующего конденсатора;
- устройство контроля и сигнализации.

Устройство контроля и сигнализации предназначено для отслеживания аварийных ситуаций, подачи аварийной и звуковой сигнализации, подачи сигнала аварии на пульт [53].

Принцип действия устройства основан на измерении тока, потребляемого установкой.

Ток уменьшается, если:

- лампы неисправны,

– сетевое напряжение уменьшилось.

Блок промывки состоит из электрического насоса и бака, расположенного в конструкции рамы. Блок промывки подключается к установке с помощью промывочных шлангов (трубопроводов). Электрический насос предназначен для перекачки моющего раствора.

Бак, представляющий собой емкость формы цилиндра из нержавеющей стали с герметично закрывающейся крышкой, предназначен для растворения в нем моющего средства. Внутри бака установлен стакан, в который засыпается моющее средство [72].

Вода из промывной установки электронасосом подается в верхнюю часть бака, проходит через сетчатый стакан с моющим средством. Полученный раствор выходит через отверстие на дне бака. Моющий раствор прокачивается через промываемую установку, очищая кварцевые чехлы. Через кран опорожнения промываемой установки из системы промывки в дренаж сливается отработанный моющий раствор, а остальное – через сливной кран под баком [63].

### **2.2.3 Анализ применяемых УФ-ламп в установке**

Лампа применяется в установках для очистки питьевой воды, для очистки воздуха. Состоит из трубчатой стеклянной колбы, пропускающей коротковолновое ультрафиолетовое излучение с пиком при 254 нм, которое обеспечивает бактерицидное действие.

В таблице 6 представлены технические характеристики некоторых УФ-ламп. Сейчас на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот» применяют лампы типа ДБ-75-2. Срок службы таких ламп составляет 12000 часов.

В таблице указаны также характеристики ламп TUV 75 и TUV75 G13 время наработки, которых составляет 9000 часов.

Таблица 6 – Технические параметры некоторых УФ-ламп

Тип лампы	Ультрафиолетовая бактерицидная лампа TUV 75	Кварцевая ртутная УФ лампа УФ ПРО Р-1575	Люминесцентная бактерицидная лампа TUV75 G13	Лампа бактерицидная низкого давления ДБ-75-2
Мощность лампы	75 Вт	75 Вт	75 Вт	75 Вт
Мощность УФ излучения	27 Вт	33 Вт	25,5 Вт	26,3 Вт
Ток лампы	0,85А	0,425 А	0,84А	0,5 А
Общий срок службы	9000 часов	14 000 часов	9000 часов	12000 часов
Расположение	Горизонтальное, вертикальное	Горизонтальное, вертикальное	Горизонтальное, вертикальное	Горизонтальное, вертикальное
Габариты	1216,6×28мм	1554×19мм	1220×28 мм	1215×25 мм
Цена	1035 р	1200 р	1226 р	1700 р

На рисунке 10 представлены параметры работы лампы TUV 75. С увеличением времени спад мощности происходит небольшой.

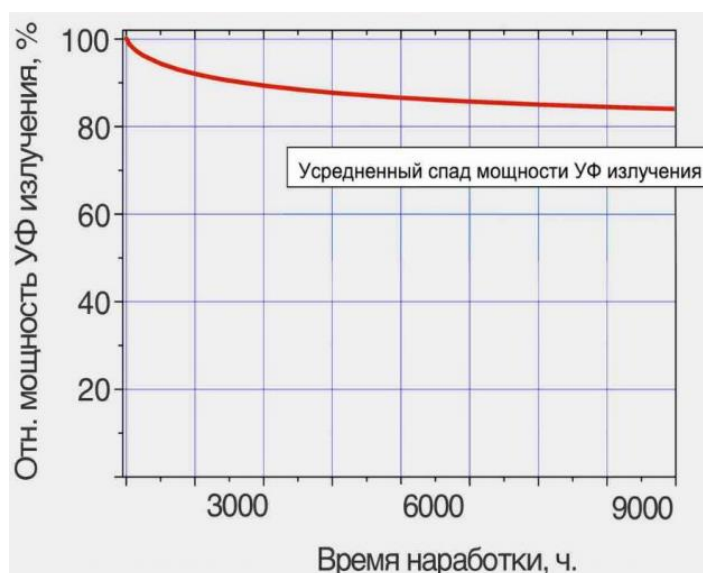


Рисунок 10 – Параметры работы лампы TUV 75

Благодаря специально разработанному внутреннему защитному покрытию ртутных УФ ламп ПРО Р-1521, срок службы составляет 14 000

часов и более, что значительно превосходит среднее время работы стандартных ртутных ламп прочих изготовителей.

Параметры работы данной лампы представлены на рисунке 11, что также имеет небольшой спад мощности и может служить до 14000 часов [67].

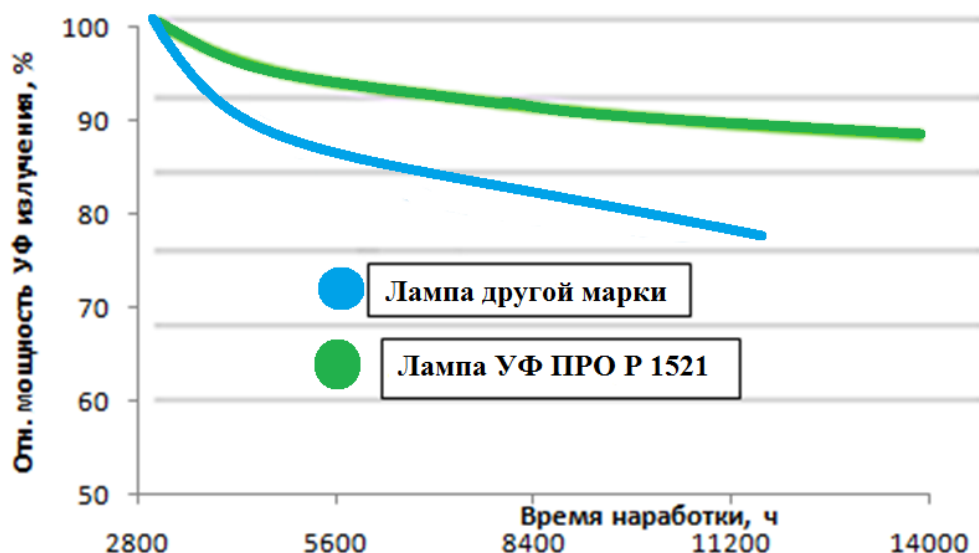


Рисунок 11 – Параметры работы УФ лампы ПРО Р 1521

Лучшим решением было бы использование в установке обеззараживания ламп типа ПРО Р-1575, которые имеют самый длительный срок службы, а также дешевле по цене.

#### 2.2.4 Принципы расчета количества ультрафиолета в установках обеззараживания воды

Подбор и расчет ультрафиолетовых установок исходит из выбора соотношения между дозой облучения и общим количеством микробиологических загрязнений. Стандарты устанавливают минимальную дозу облучения  $16 \text{ мДж/см}^2$ , при которой гибнут патогенные микроорганизмы [11].

Для различных типов вирусов и бактерий необходима разная расчетная доза ультрафиолетового излучения для снижения их концентрации. Такой параметр называют степенью обеззараживания, который принимается как

десятичный логарифм частного от начальной концентрации микроорганизмов до конечной концентрации, необходимой при выходе из установки.

Доза ультрафиолетового излучения ( $\text{мДж/см}^2$ ) необходима для инактивации различных типов микроорганизмов.

Расчет ультрафиолетовой установки сводится к определению количества ультрафиолетовых ламп, зависящее от мощности и способности покрывать расчетный расход воды, размер обеззараживающей камеры и мощность излучения [11].

В расчетах всегда необходимо соблюдение баланса между предельно достаточным количеством и мощностью ультрафиолетовых ламп для того, чтобы установка не была слишком дорогой. Пропускной объем камеры обеззараживания необходим, чтобы установка находилась в состоянии обеспечить заданную производительность с достаточным воздействием [49].

Качество исходной воды связано с технико-экономической целесообразностью использования УФ – обеззараживания.

Сточные воды перед подачей на установку должны соответствовать следующим требованиям по качеству:

- БПК – до  $10 \text{ мгO}_2/\text{л}$ ;
- ХПК – до  $50 \text{ мгO}_2/\text{л}$ ;
- Взвешенные вещества – до  $10 \text{ мг/л}$ ;
- Общее содержание железа – до  $1 \text{ мг/л}$ ;
- Нефтепродукты – до  $0,2 \text{ мг/л}$ .

Питьевая вода должна соответствовать следующим требованиям качества, прежде чем подавать на установку:

- Мутность – до  $1 \text{ мг/л}$ ;
- Цветность – не более 50 град;
- Общее содержание железа – до  $0,3 \text{ мг/л}$ .

Присутствие нерастворенных примесей (коллоидное железо, взвешенные вещества) в воде особенно сильно влияет на эффективность



ультрафиолетового излучения. Это связано с тем, что коллоидные и взвешенные вещества рассеивают ультрафиолетовое излучение и, фактически, полезная энергия расходуется на нагрев этих частиц, а не на обеззараживание [11].

Максимальный предел содержания взвешенных веществ, при котором расчет имеет технико-экономическую целесообразность, не превышает 30 мг/л. Расчет начинается с определения общей требуемой бактерицидной мощности излучателей, измеряемой в Вт.

$$F_B = - \frac{Q_{\text{час}} \cdot \alpha \cdot k \cdot \lg(P/P_0)}{1563,4 \cdot \eta_{\text{п}} \cdot \eta_0} \quad (1)$$

где

Q – требуемая производительность, м<sup>3</sup>/час;

α – коэффициент поглощения обрабатываемой воды (поверхностные и подземные источники).

В расчете учитывается:

- поверхностно-обработанная вода – 0,3;
- чистая подземная вода из глубоких скважин – 0,1;
- родниковая вода – 0,15.

k – коэффициент сопротивляемости облучаемых бактерий – 2500.

P<sub>0</sub> – концентрация бактерий до обработки воды на 1 м<sup>3</sup>, принимается равным коли индексу – 1000.

P – концентрация после обработки принимается как 1.

η<sub>0</sub> – коэффициент облучения, зависящий от показателей воды и толщины ее слоя, принимается, как правило, 0,9.

η – коэффициент бактерицидного потока для погружного излучателя, принимается в расчёт 0,9 [11].

$$F_B = - \frac{1300 \cdot 0,3 \cdot 2500 \cdot \lg\left(\frac{1}{1000}\right)}{1563,4 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 2309,78 \text{ Вт}$$

Основной параметр в расчете ультрафиолетовых установок обеззараживания – доза облучения. Количество инактивированных микроорганизмов растет экспоненциально с увеличением дозы облучения.

$$D = E \cdot t \quad (2)$$

где

$D$  – эффективная доза облучения в мДж/см<sup>2</sup>;

$E$  – средняя интенсивность бактерицидного излучения в мВт/ см<sup>2</sup>;

$t$  – среднее время пребывания воды в камере обеззараживания в сек [11].

С помощью датчиков измеряется интенсивность бактерицидного излучения, которые рассчитаны на длину волны от 220 нм до 280 нм.

Среднее время пребывания воды в обеззараживающей камере рассчитывается по формуле:

$$t = \frac{S \cdot L}{278 \cdot Q} \quad (3)$$

где

$S$  – поперечное сечение камеры обеззараживания в см<sup>2</sup>;

$L$  – длина камеры обеззараживания в м;

$Q$  – расход воды в м<sup>3</sup>/ч;

278 – коэффициент пересчета размерности единиц.

$$t = \frac{329,67 \cdot 5}{278 \cdot 5217} = 4 \text{ с}$$

Тогда доза облучения составит

$$D = E \cdot t = 100 \cdot 4 = 400 \text{ мДж/см}^2$$

Для установок доза в 400 мДж/см<sup>2</sup> является максимальной дозой облучения 100000 м<sup>3</sup>/сут воды. При использовании ультрафиолета вместе с ультразвуком можно уменьшить интенсивность УФ-ламп, раза в два, тем самым уменьшится доза излучения. Но на эффективность обеззараживания это не повлияет, так как присутствует ультразвук.

### 2.3 Оценка систем очистки УФ установок

Загрязнение является сложным и трудным для прогнозирования процессом. Хотя степень загрязнения варьируется от одного объекта к другому, в конце концов, загрязнение стекла образуется на всех объектах.

В настоящее время существует несколько методов очистки:

- автономные – периодическое отключение системы, отмачивание стекла в химической ванне и ручная очистка стекла моющими средствами;
- автоматические – используют механические чистящие средства (кольца, спирали, пальцы и так далее), для частой чистки стёкол и периодически - ручную химическую чистку;
- полностью автоматические системы химически-механической обработки.

Ручная очистка трудоемка и дорога. Механическая автоматическая система эффективна не для всех вод и часто требует периодического отключения для химической обработки. Более того, такие системы очистки требуют частого сервисного обслуживания. Автоматические химико-механические системы очистки без технического обслуживания могут работать до 6 месяцев и дольше.

Приемлемый уровень потерь ультрафиолетового стекла не должен превышать 20 % (то есть, ультрафиолетовая проводимость стекла не должна падать ниже 80 % от первоначальной проводимости) – в соответствии с указаниями для питьевой воды и повторного использования воды 2000 г. (Руководство NWRI по питьевой воде и повторному использованию воды, 2000 г.). В противном случае необходимо прекратить работу и вынуть модуль для ручной химической очистки и обслуживания механизмов очистки.

Без систем очистки стекла установку необходимо выводить из работы каждые 10-20 дней.

Как только стекло начинает забиваться, механические системы обычно больше не могут поддерживать чистоту стекла, и эффективность установки быстро снижается.

Процесс загрязнения стекла сложен, специфичен для каждого объекта и трудно предсказуем.

Данные о качестве воды не могли установить связь между компонентами воды и степенью загрязнения (и качеством очистки от загрязнений).

Во всех областях УФ-установки с механической очисткой стекла требуют периодической остановки и химической очистки стекла вручную.

Необходимо найти баланс между обеспечением достаточной чистоты стекла и повышенным износом систем обработки (рабочей силы и запасных частей). Механические системы очистки стекла обычно требуют высокой частоты очистки (например, каждые 15 минут), чтобы предотвратить накопление загрязнений на стекле.

Химико-механическая система способна поддерживать высокую ультрафиолетовую проводимость стекла при гораздо меньшей частоте начала очистки, поскольку химическая очистка позволяет удалить все слои загрязнений [32].

Режим работы, который позволяет снизить УФ-проводимость стекол на 80 % (по сравнению с чистым стеклом) между выводами из работы установки на ручную химическую очистку, приводит к необходимому увеличению объема УФ-устройства на 25 % для компенсации потерь интенсивности ультрафиолета из-за загрязнения стекол. Кроме того, увеличение мощности ультрафиолетового блока потребуется для поддержания дозы ультрафиолета между чистками стекла.

Для установок станции УФО очистных сооружений ПАО «Тольяттиазота» очистка и промывка щавелевой кислотой должна проводиться каждые 720 часов (30 дней) и чаще, в зависимости от загрязнений. Кроме промывки кислотой необходима и механическая чистка

оборудования. Поэтому персонал станции постоянно проводит наблюдение за состоянием чистоты ламп в камере обеззараживания.

## **2.4 Исследование токсичности сточной воды, подвергнутой УФО-обеззараживанию на поведение дафний**

### **2.4.1 Выращивание дафний на биологически очищенных сточных водах**

Ракообразные *Daphnia magna*, *Daphnia pulex* и *Moina rectirostris* являются «живыми кормами», которые легко переносят изменения факторов окружающей среды. Такие «живые корма» имеют самые высокие результаты при искусственном разведении, и их можно использовать для производства большого количества рыбы в рыбоводных хозяйствах [48].

На очистных сооружениях для очистки сточных вод возможно применение дафний. В основу механизма процессов самоочищения водоема входят трофические связи организмов и действие зоопланктона, выполняющего функцию природного биофильтра. Биомассовое выращивание дафний на БОС называют технологией двойного назначения [68].

Дафний чаще всего культивируют на биологически очищенных сточных водах (БОС). Оставшаяся микрофлора после осаждения ила положительно влияет на трофические условия роста дафний, а также малое количество загрязняющих веществ (ХПК = 20-30 мг/л). На БОС во все времена года поддерживается положительная температура воды: в теплые времена года температура составляет 20-23 °С и в холодное время 8-12 °С [18].

В лаборатории очистных сооружений г. Волжска 13 лет назад проводилось исследование, направленное на влияние культур *Daphnia magna* на качество воды из вторичных отстойников. Перед переливом из вторичного отстойника отбирали пробы объемом 1 литр и помещали в них дафний с

плотностью посадки одной особи на 15 мл на два дня. Параллельно исследовали изменение качественного состава проб без дафний. Воду оценивали по показателям: общее количество колиформных бактерий,  $PO_4$ , pH,  $NH_4$ ,  $NO_2$ ,  $NO_3$  и ХПК. По приведенным выше показателям качество воды в пробах с дафниями и без них не отличалось [16].

В результате исследований было установлено, что состояние *Daphnia magna* в норме, и их активность не влияет на качество биологически очищенных сточных вод [21]. А также на 100 % снизилось количество общих колиформных бактерий [22].

Есть предположение, что если ввести культуру *Daphnia magna* во вторичные отстойники, то химические показатели качества воды не будут меняться [5].

#### **2.4.2 Экспериментальные исследования**

Цель эксперимента – исследование токсичности обеззараженной ультрафиолетом очищенной сточной воды методом биотестирования.

Эксперимент проводился по методике ГОСТ Р 56236-2014 (ИСО 6341:2012) Вода. «Определение токсичности по выживаемости пресноводных ракообразных *Daphnia magna* Straus» [9]. Была выбрана данная методика, так как она проста в использовании и позволяет определить требуемый показатель за небольшое количество времени.

#### **2.4.3 Методика эксперимента**

Метод основан на определении выживаемости дафний под воздействием токсических веществ, содержащихся в исследуемой воде, по сравнению с контрольным образцом.

При использовании кратковременного биотестирования (до 96 часов), можно определить острое токсическое воздействие воды на дафний, наблюдая за их выживаемостью. Показатель выживаемости – это среднее количество дафний, выживших в исследуемой воде или под контролем с течением времени. Критерий токсичности - это гибель 50% и более дафний

за промежуток времени до 96 ч в тестируемой воде по сравнению с контрольной. Долгосрочный биотест (20 дней и более) позволяет определять хроническое токсическое действие воды на дафний по уменьшению не только их выживаемости, но и плодовитости. Показатель выживаемости – это среднее число исходных самок дафний, выживших в течение биотеста, показатель плодовитости – это среднее число молодежи, выметанной в ходе биотеста, в расчете на одну выжившую самку. Существенным отличием от контроля показателя выживаемости дафний является критерий токсичности [9, 26]. Степень токсичности исследуемой воды определяется по таблице 7

Таблица 7 – Степень токсичности природных и питьевых вод

Степень токсичности проб природной и питьевой воды		Значение токсичности для проб природной и питьевой воды без разбавления, %
общая	детализированная	
Токсичность отсутствует	Нетоксичная	До 10 включ.
Не обладает острой токсичностью	Слаботоксичная	Св. 10 до 25 включ.
	Малотоксичная	Св. 25 до 35 включ.
Обладает острой токсичностью	Среднетоксичная	Св. 35 до 50 включ.
	Высокотоксичная	Св. 50 до 100 включ.

По данной таблице в результате эксперимента можно с легкостью определить категорию токсичности исследуемой воды

#### 2.4.4 Ход работы и результаты эксперимента

«Были взяты два стакана (для параллельного исследования образца), в каждом из которых было налито по 100 мл воды для исследования, и один стакан с таким же объемом контрольного образца (культивационной водой). В каждый стакан были помещены по 10 дафний возрастом от 6 до 24 часа. В течение 96 часов с интервалами 1 час, 2 часа, 6 часов, 24 часа, 48 часов, 72 часа и 96 часов наблюдалось количество выживших дафний» [18]. Результаты приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты биотестирования воды, прошедшей полную очистку

Время от начала биотестирования, час	Количество выживших дафний				Смертность дафний в опыте, %
	Контрольный образец	Исследуемый образец 1	Исследуемый образец 2	Среднее значение исследуемого образца	
1	10	10	10	10	0
2	10	10	10	10	0
6	10	10	10	10	0
24	10	10	10	10	0
48	10	10	10	10	0
72	10	10	10	10	0
96	10	9	10	9,5	5
Среднее значение:				9,9	1

«В результате эксперимента по таблице 7 выявлено, что исследуемая вода нетоксичная. Дафнии прекрасно себя чувствуют в данной воде. По результатам параллельных опытов выяснилось, что всего лишь 1 % дафний погибли. Это является хорошим показателем качества воды» [18].

Также данный результат показывает с одной стороны то, что УФ-обеззараживание не имеет последующего эффекта, а с другой – то, что такую воду можно сбрасывать в водоем, в котором смогут существовать живые организмы, то есть обитатели водоема.

Ниже в таблице 9 приведены показатели качества сточных вод до биологической очистки и после.

Таблица 9 – Средние показатели качества сточных вод до биологической очистки и после

Наименование показателей	Единицы измерения	Сточные воды	
		До биоочистки	После биоочистки
1	2	3	4
БПКполн	мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	185,27	8,15
Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	210,0	6,6
Сухой остаток	мг/дм <sup>3</sup>	999,000	551,000
Фосфаты по фосфору	мг/дм <sup>3</sup>	1,856	0,745
Карбамид	мг/дм <sup>3</sup>	19,6	<5,0
Азот нитратный	мг/дм <sup>3</sup>	0,05	24,6
Нитрат-анион	мг/дм <sup>3</sup>	0,2	80,0



Продолжение таблицы 9

Наименование показателей	Единицы измерения	Сточные воды	
		До биоочистки	После биоочистки
1	2	3	4
Сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	350,0	161,8
Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	98,6	55,4
СПАВ	мг/дм <sup>3</sup>	0,15	<0,1
Метанол	мг/дм <sup>3</sup>	0,2	<0,1
Алюминий	мг/дм <sup>3</sup>	0,06	<0,01
Азот аммонийный	мг/дм <sup>3</sup>	12,168	0,156
Ион аммония	мг/дм <sup>3</sup>	15,600	0,2
Азот нитритный	мг/дм <sup>3</sup>	0,014	<0,02
Нитрит-ион	мг/дм <sup>3</sup>	0,045	<0,02
Никель	мг/дм <sup>3</sup>	<0,01	<0,01
Медь	мг/дм <sup>3</sup>	0,001	0,0006
Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,002
Титан	мг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,02
Хром(6+)	мг/дм <sup>3</sup>	<0,01	<0,01
Железо общее	мг/дм <sup>3</sup>	1,100	0,250
Свинец	мг/дм <sup>3</sup>	0,001	0,001
Фтор	мг/дм <sup>3</sup>	0,04	<0,01
Формальдегид	мг/дм <sup>3</sup>	0,04	<0,02
Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,07	<0,01
Фенол	мг/дм <sup>3</sup>	0,002	<0,001

Данные, приведенные в таблице, показывают, что после биоочистки массовые концентрации показателей значительно ниже, чем до очистки, а также меньше ПДК, что доказывает высокую выживаемость дафний при определении токсичности.

## **Выводы по 2 разделу**

1. На очистных сооружениях ультрафиолетовое обеззараживание, относительно остальных этапов очистки воды, можно использовать на предварительном или заключительном этапе обеззараживания воды.

2. В результате анализа ультрафиолетовых ламп, наибольшее предпочтение получила лампа типа ПРО Р-1575, которая имеют самый длительный срок службы 14000 часов, а также дешевле по цене.

3. Достаточно сильное значение, которое влияет на уровень обеззараживания при ультрафиолетовом облучении, обусловлено тем фактом, что со временем происходит загрязнение защитных чехлов ламп органическими и неорганическими отложениями.

4. Возможно комплексное использование УФ-излучения с другими методами, при котором будет возможно уменьшить дозу реагента. При использовании только ультрафиолетового обеззараживания в расчетах максимальная доза ультрафиолета составила  $400\text{мДж}/\text{см}^2$ .

5. В результате исследования обеззараженной воды на поведение дафний выяснилось, что дафнии живут в обработанной воде (ультрафиолетовое излучение не имеет последующего эффекта). Их, практически, 100 процентное выживание доказывается отсутствием токсичности воды, что подтверждается оптимальными значениями показателей качества.

6. На заключительном этапе очистки воды ультрафиолетовое обеззараживание применяется как отдельно, так и в сочетании с другими методами обеззараживания. Потому что в каждой, даже самой совершенной системе очистки воды ультрафиолетовое излучение является конечной гарантией безопасности.

### **3 Разработка рекомендаций по совершенствованию процесса УФ-обеззараживания на очистных сооружениях предприятия ПАО «Тольяттиазот»**

#### **3.1 Испытания, проводимые для процессов обеззараживания ультразвуком и ультрафиолетом**

В статье Н. М. Лебедева «Испытание комбинированного метода ультрафиолетового и ультразвукового обеззараживания сточных вод» представлены результаты промышленного испытания нового метода обеззараживания сточных вод, который заключается в сочетании методов ультразвукового и ультрафиолетового воздействия на последней стадии очистки сточных вод с целью уничтожения патогенных микроорганизмов и предотвращения распространения инфекционных заболеваний в дальнейшем. Новый метод был запатентован авторами и прошел испытание на одном из главных российских предприятий водоснабжения – ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». Результаты испытания показали эффективность комбинированной ультрафиолетовой и ультразвуковой обработки сточных вод [25].

«Эффективность ультрафиолетового обеззараживания снижается при высокой цветности и мутности сточных вод. За последние 15-20 лет устойчивость патогенной микрофлоры к ультрафиолету увеличилась в 4 раза. Ещё одним негативным фактором, снижающим эффективность этого процесса, является отложение солей и биообрастание чехлов ультрафиолетовых ламп. В результате необходима периодическая очистка поверхностей чехлов» [20].

«С того момента как появились мощные ультразвуковые излучатели стала обсуждаться возможность их применения для обеззараживания воды. Под воздействием ультразвука в жидкостях появляются: высокоскоростные микропотоки более 1 км/с, мощные ударные волны более 1 ГПа, локальные

области разогрева более 1000 К, свободные радикалы, которые являются результатом схлопывания пузырьков кавитации. Несомненно, такие эффекты могут поспособствовать уничтожению патогенной микрофлоры. Было экспериментально показано, что при малом времени воздействия и низкой мощности излучателя количество микроорганизмов в некоторых случаях увеличивается. Поэтому ультразвуковое обрабатывание применяют только в комбинации с химическими реагентами либо, например, ультрафиолетовой обработкой воды» [36].

Лебедевым Н. М. «предложено применение совместной ультразвуковой и ультрафиолетовой обработки воды. Этот метод обеззараживания наиболее перспективен, так как он объединяет положительные характеристики обоих воздействий. Было подтверждено, что данная комбинация способствует синергетическому росту эффективности обеззараживания благодаря следующим ультразвуковым эффектам:

- интенсивному перемешиванию воды, которое обеспечивает доставку удалённых слоев к поверхности чехлов ламп, в результате весь объём воды равномерно обрабатывается;
- дроблению взвешенных частиц, в которых могут присутствовать микроорганизмы, дроблению скоплений микроорганизмов и разрушению их клеточной структуры и последующего доступа, после чего значительно повышается чувствительность микроорганизмов к ультрафиолету (при этом ультразвуковая обработка должна предшествовать ультрафиолетовому облучению);
- предотвращению биообрастания на поверхности кварцевых чехлов ламп и отложения солей, сохраняя первоначальную интенсивность излучения ламп на протяжении всего срока службы» [20].

«При совместном использовании ультрафиолетовой и ультразвуковой обработки увеличивается не только результативность обеззараживания, но и срок службы ламп, что исключает частые перерывы в работе из-за очистки чехлов. Не требуется применение растворов кислот для очистки кварцевых

челов, снижаются расходы на обслуживание, что соответствует экологической безопасности. В некоторых статьях утверждается, что комбинированная дезинфекция сточных вод предпочтительна с экономической точки зрения» [32].

В последние годы были проведены испытания с использованием комбинированной технологии, демонстрирующие ее высокую эффективность. Кроме того, в России ЗАО «Сварог» (Москва) и ООО «Новотех-ЭКО» (Вологда) производят установки комбинированного (ультразвукового и ультрафиолетового) обеззараживания воды. На сегодняшний день самой передовой является технология, разработанная ООО «Новотех-ЭКО», в которой используются пьезокерамические излучатели.

«Установка УОВ-СВ-5, изображенная на рисунке 12, спроектирована и разработана ООО «Новотех-ЭКО» и состоит из прекавитатора, соединенного с камерой обеззараживания, и может обрабатывать сточную воду производительностью до 5 м<sup>3</sup>/ч» [18].



Рисунок 12 – Установка УОВ-СВ-5, разработанная ООО «Новотех-ЭКО»

«В период с октября 2015 года по декабрь 2016 года на Юго-Западных очистных сооружениях (ЮЗОС) ГУП «Водоканал Санкт-Петербург» были

проведены испытания установки УОВ-СВ-5. На последнем этапе очистки в помещении станции ультрафиолетовой обработки ЮЗОС разместили установку. По результатам химического анализа содержание взвешенных веществ в воде составляло в интервале 6,7-17 мг/дм<sup>3</sup>, а химическое потребление кислорода 24-61 мг/дм<sup>3</sup>. После обеззараживания воды в установке эти показатели не изменились» [23].

Вода, необлученная ультрафиолетом, была набрана насосом, ее пропускали через установку и снова сбрасывали обратно в канал. В ЗАО «Центр исследования и контроля воды» (Санкт-Петербург) проводился бактериологический анализ проб воды, отобранных на входе и на выходе установки. Были проконтролированы следующие показатели: общие колиформные бактерии (ОКБ), *E. coli*, колифаги, стафилококки, энтерококки.

«Испытания включали в себя три этапа. На первом этапе были исследованы разные варианты обеззараживания при небольшом расходе сточной воды через установку (0,5-0,7 м<sup>3</sup>/ч) еще с чистыми чехлами ультрафиолетовых ламп без биообрастания на момент отбора проб. На втором этапе испытание проводилось при повышенном расходе воды (8-10 м<sup>3</sup>/ч). А на третьем этапе подразумевалось изучение интенсивности биообрастания и отложения солей на чехлах ламп при длительной работе установки в условиях малого расхода сточной воды (0,5-0,7 м<sup>3</sup>/ч)» [18]. Особенности этапов представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Режимы работы установки уов-св-5 на разных этапах испытания

Обозначение режима	Описание режима	Этап		
		1	2	3
УЗ	Вкл. все УЗ-излучатели (8 шт.) (в прекавитаторе и в камере обеззараживания)	+	-	-
УФ-к	Вкл. только УФ-лампы, ни один из УЗ-излучателей не работает	+	+	+
УЗ-к	Вкл. УЗ-излучатели только в прекавитаторе (4 шт.)	+	-	-
УЗ+УФ-1	Вкл. УФ- лампы и УЗ-излучатели только в камере обеззараживания (4 шт.)	+	-	-
УЗ+УФ-2	Вкл. УФ-лампы и все УЗ-излучатели (8 шт.)	+	+	+

Результаты испытаний первого этапа представлены в таблице 11, где приведены значения логарифмического коэффициента инактивации (ЛКИ), по данному показателю достигнута полная очистка.

Таблица 11 – Результаты первого этапа испытаний

Показатель	Исходные значения, КОЕ/100 см <sup>3</sup>	ЛКИ или результат работы в режиме				
		УЗ	УЗ-к	УЗ+УФ-1	УЗ+УФ-2	УФ-к
ОКБ	32000–62000	0	0	1,85	2,78	2,34
Колифаги	400-1000*	0	0	Полная очистка		
E. coli	29000-42000	0	0,23	2,18	4,51	4,62
Энтерококки	15000-32000	0	0,32	Полная очистка		
Стафилококки	45-150	1,65	0			
*БОЕ/100 см <sup>3</sup>						

Логарифмический коэффициент инактивации представляет собой десятичный логарифм соотношения концентраций живых клеток на единицу объема сточной воды до и после обеззараживания.

«По полученным результатам видно, что ультразвуковое излучение не даёт значимого эффекта обеззараживания. Были отмечены слабые признаки интенсификации ультрафиолетового излучения с ультразвуком, при этом наибольший вклад внес прекавитатор, тогда как ультразвуковые излучатели в камере оказывали даже негативное действие» [20].

«Преобладающим механизмом является процесс дробления взвешенных частиц и скоплений микроорганизмов, при которых нарушается защита от излучения ультрафиолетом. При низком расходе сточной воды через установку возникает высокая эффективность ультрафиолетового обеззараживания и малый вклад ультразвукового излучения.

Поэтому на втором этапе было принято решение отказаться от ультразвуковых режимов (УЗ, УЗ-к) и режима с прекавитатором (УФ+УЗ-1), и увеличили пропускающую скорость воды через установку» [20]. Результаты испытаний приведены в таблице 12 и на рисунке 13.

Таблица 12 – Результаты второго этапа испытаний

Показатель	Исходные значения, КОЕ/100 см <sup>3</sup>	ЛКИ или результат работы в режиме	
		УЗ+УФ-2	УФ-к
ОКБ	30000-83000	2,25	2,75
Колифаги	330-1200*	Полная очистка (> 3,08)	2,07
Стафилококки	140-270	Полная очистка (>2,14)	2,09
E. coli	29000-49000	3,57	3,20
Энтерококки	4700-25000	4,03	3,06
*БОЕ/100 см <sup>3</sup>			

Ультразвуковая обработка сточной воды, значительно усиливает эффект обеззараживания ультрафиолетом почти по всем исследуемым показателям, причем на первом этапе ультразвук не демонстрировал обеззараживающего действия.

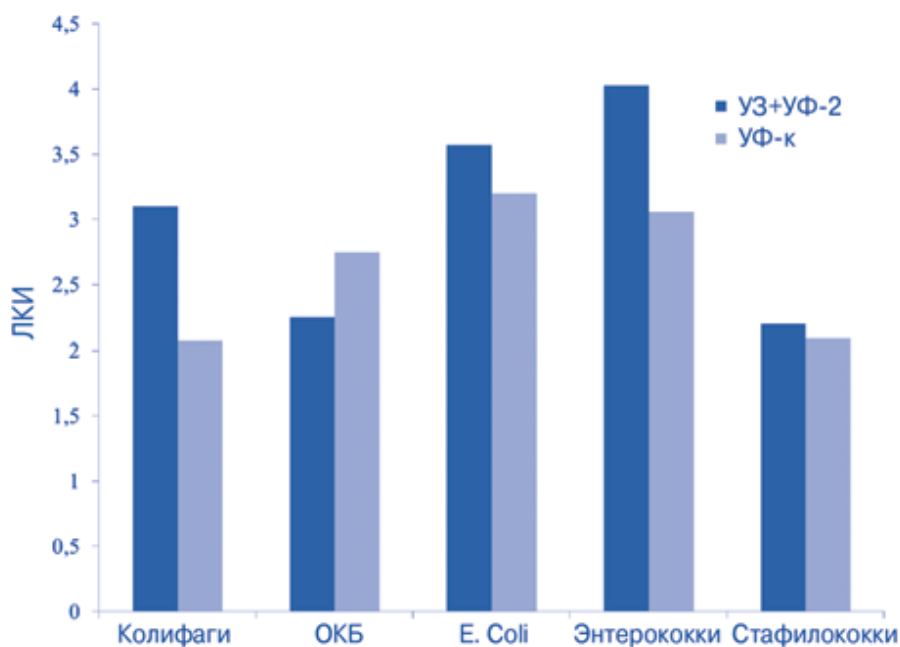


Рисунок 13 – Логарифмический коэффициент инактивации на втором этапе испытания

Наконец, на третьем этапе исследовалась способность ультразвука



устранять биообрастание и отложение солей на чехлах ультрафиолетовых ламп. Расход снова снизился до 0,5-0,7 м<sup>3</sup>/ч, но отбор проб проводился через месяц непрерывной работы. Так проверялась стабильность работы установки. Расход снижался для чистоты эксперимента и устранения выноса отложений и частиц, которые загрязняют чехлы, из-за высокой линейной скорости потока. Результаты приведены в таблице 13 и на рисунке 14.

Таблица 13 – Результаты третьего этапа испытаний

Показатель	Исходные значения, КОЕ/100 см <sup>3</sup>	ЛКИ или результат работы в режиме	
		УЗ+УФ-2	УФ-к
Е. coli	49000-72000	4,90	3,70
Общие колиформные бактерии	110000-190000	4,11	3,70
Энтерококки	22000-56000	4,20	3,90
Колифаги	580-970*	Полная очистка (> 2,99)	Полная очистка (> 2,76)
Стафилококки	45-270	Полная очистка (> 2,43)	Полная очистка (> 1,65)
*БОЕ/100 см <sup>3</sup>			

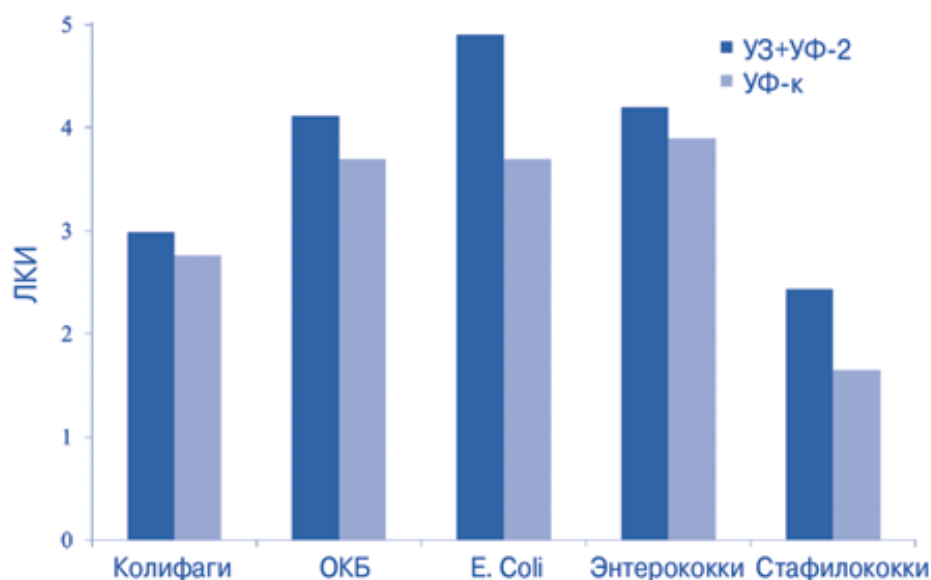


Рисунок 14 – ЛКИ на третьем этапе испытания

«Преимущества интенсификации ультразвука подтвердились на третьем этапе испытаний, и эффективность обеззараживания по всем исследованным показателям выросла в несколько раз» [31].

Кроме того, после продолжительной работы в каждом из режимов проводились визуальный осмотр поверхностей чехлов УФ-ламп и гравиметрическое определение интенсивности отложений.

«Второй показатель измерялся следующим образом: отложения с чехлов удаляли протиранием поверхности полиэфирной вискозной тканью по окончании установленного периода эксплуатации установки в соответствующем режиме.

Суммарная масса высушенных на воздухе отложений на трёх чехлах, отнесенная к 1 м<sup>3</sup> прошедшей сточной воды, в режиме УФ+УЗ-2 при работе всех 3 УФ-ламп и 8 УЗ-излучателей составляла 45 мкг/м<sup>3</sup>, а в режиме УФ-к при работе только 3 УФ-ламп - 300 мкг/м<sup>3</sup>» [21].

Таким образом, ультразвуковой эффект уменьшил интенсивность биообрастания и отложения солей в 6,7 раз.

В результате испытаний была доказана эффективность комбинированной обработки ультрафиолетом и ультразвуком как со стороны усиления обеззараживания, так и со стороны показателя стабильности работы установки при помощи препятствования отложениям биопленок и солей на поверхности чехлов ламп. Последнее было положено в основу проекта усовершенствования существующей системы ультрафиолетового обеззараживания сточных вод на ЮЗОС. Если внедрить эту установку на предприятии, то можно применять в широком диапазоне способ комбинированного обеззараживания [12].

В другой статье Н.М. Лебедева проводилось исследование воздействия безреактивных агентов на модельные системы, содержащие в качестве загрязнителей:

- нитриты,
- нитриты с добавлением сульфата железа (II).

Указанные системы были испытаны в щелочной среде, созданной для стабилизации нитритов натрия, а также с учетом рН сточных вод. В задачи исследования входил поиск условий, при которых происходит максимальное окисление веществ, растворенных в воде, включая живое вещество [7].

Исследования проводили на установке модели УЗВ-2.2-УФ. Установка представляет собой ванну из нержавеющей стали объемом 7 литров. Два пьезокерамических излучателя мощностью 100 Вт каждый встроены в дно ванны. Вдоль двух параллельных боковых стенок ванны расположены две круглые ниши, в которых ультрафиолетовые лампы располагаются в чехлах мощностью по 14 Вт каждая. Для отслеживания процесса окисления нитрита был использован потенциометрический метод.

Исследование влияния УЗО и УФО на стандартном растворе показало отсутствие действия УФО, что и объясняется малой диффузией газообразного кислорода и образовавшейся перекиси водорода.

Использование УЗО приводит к увеличению скорости конвекции и, следовательно, к увеличению скорости химической реакции окисления нитритов. Совместное действие УЗО и УФО также сопровождается окислением нитритов. Но, если через 20 минут под воздействием УЗО наблюдается процесс восстановления образовавшегося нитрата, то под действием УЗО и УФО при небольшом снижении концентрации нитрата, уровень его концентрации выше исходного. Снижение концентрации нитратов можно объяснить появлением гидратированного электрона, способного восстанавливать нитраты. Источником гидратированного электрона является вода, подвергающаяся фотолизу. Дополнительным фактором влияния сдвига баланса в сторону восстановления нитрата служит и температурный фактор. Как правило, изгиб кривой наблюдается при достижении температуры 36°C. Последний эффект, по-видимому, приводит к дегазации, включая удаление кислорода как возможного окислителя. В условиях УЗО и УФО этот эффект нивелируется за счет увеличения силы окислительной способности перекиси водорода, обусловленной действием

УФО. В связи с тем, что ультрафиолетовое излучение способствует образованию пероксида водорода, была протестирована и исследована модельная система с добавлением солей железа (II).

Добавление сульфата железа (II) изменяет характер динамики окислительно-восстановительных реакций. Наблюдается постепенное увеличение концентрации нитратов по сравнению с начальным уровнем (примерно в 1,4 раза). В условиях ультрафиолетового излучения этот процесс, очевидно, связан с образованием перекиси водорода, которая участвует в окислении при каталитическом воздействии катионов железа. В условиях с УЗО окисление проводят кислородом воздуха на диспергированных частицах гидроксида железа (II) и повышением конвекции.

В условиях сочетания УЗО, УФО и катионов железа (II) наблюдается заметное увеличение концентрации нитрат-аниона (примерно в 6 раз). Через 20 минут наблюдается двукратное снижение концентрации нитрата, и его уровень сохраняется к окончанию воздействия, то есть окисление прекращается.

Исследование температурного режима реакции показало, что снижение концентрации нитрат-аниона наблюдается при температуре 36-40 °С, видимо, нитрат восстанавливается при этих условиях ионами  $Fe^{2+}$ , что подтверждается продуктами реакции – соединения  $Fe^{3+}$  коричневого цвета, в отличие от цвета реагентов в начале реакции (соединения  $Fe^{2+}$  - светло-зеленый цвет).

Попытка увеличения концентрации кислорода воздуха показала:

- отсутствие влияния воздуха на воздействие УФО в присутствии железа,
- усиление окислительных процессов при обработке УЗО до 36 °С и снижение концентрации нитрат-иона при температуре больше 36 °С.

Продувка воздуха при совместном действии УФО и УЗО показывает повышение содержания нитрат-иона со временем, через 30 минут

устанавливается равновесие окислительно-восстановительных процессов.

Тот же эффект наблюдался при тестировании модельных систем, содержащих указанные компоненты в низких концентрациях и в течение короткого периода времени (3 секунды). На основании полученных данных возможно использование установок проходного типа модели УОВ для очистки природных и сточных вод.

Испытания на модельных системах воздействия на окислительно-восстановительные процессы показали эффективность:

- совместного действия УЗО и УФО в присутствии солей железа,
- совместного действия УЗО и УФО в присутствии солей железа при продувании воздуха.

Установка модели УОВ представляет собой проточную трубу, оснащенную контактными ультразвуковыми резонансными излучателями мощностью 100 Вт. Внутри устройства находятся ультрафиолетовые лампы, помещенные в кварцевые чехлы [12].

Практические значения показателей микробиологического загрязнения до и после обеззараживания сточной (ОСК Санатория «Новый источник») и питьевой воды (ОСВ СХПК АПК «Надеево») на промышленных установках приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Значения показателей микробиологического загрязнения до и после обеззараживания сточной (ОСК Санатория «Новый источник») и питьевой воды (ОСВ СХПК АПК «Надеево»)

Показатель	Ед. изм.	До обработки	После обработки	Норматив
1. Исследования состава сточной воды (ОСК - сборный лоток вторичных отстойников)				
Коли-фаги	БОЕ/100	672	Не обнаружено	100
Общие колиформные бактерии (ОКБ)	КОЕ/100	$2,1 \cdot 10^6$	200	500
Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ)	КОЕ/100	$2,1 \cdot 10^6$	200	500

## Продолжение таблицы 14

Показатель	Ед. изм.	До обработки	После обработки	Норматив
2. Исследования питьевой воды (водохранилище поверхностного источника)				
Общие колиформные бактерии	КОЕ/100	900	Отсутствие	Отсутствие
Сульфитредуцирующие клостридии	Число спор в 20 мл	–	Отсутствие	Отсутствие
ТКБ	КОЕ/100	200	Отсутствие	Отсутствие
Коли-фаги	БОЕ/100	16,1	Отсутствие	Отсутствие
Общее микробное число	КОЕ/1	200	2	<50

Из таблицы видно, что после обеззараживания сточной воды показатели ОКБ и ТКБ уменьшились в 10000 раз.

### **3.2 Эффект воздействия ультразвуковых волн на формирование биопленки**

Образование и рост биопленок происходит в системе повсеместно, в которой присутствуют биоразлагаемые вещества, а также кислород. Биопленка состоит из неорганических и органических веществ [53].

К органическим веществам относятся:

- колонии бактерий, связанных с биопленками, особенно бактерии вида *Aeromonas*, которые способны образовывать биопленки (инфузории, амебы и др.);
- выделяемые бактериями внеклеточные органические полисахариды для начала роста биопленки и ее фиксации.

Неорганические вещества:

- карбонаты и оксиды кальция и магния, свободные ионы кальция также связаны с ростом биопленок;
- металлы, такие как железо, также наблюдаются в биопленке.

Скорость развития биопленки зависит от количества доступного кислорода и ХПК.

В результате, развитие биопленки ограничивается скоростью роста, и питательные вещества передаются от бактерий к бактериям. Для фиксации биопленки вырабатываются внеклеточные полимерные вещества, которые выражены реакцией бактерий на рост в условиях дефицита питательных веществ. Это вещество способствует образованию очень слизистой биопленки.

Таким образом, промывочная вода является наиболее подходящей средой для проведения испытаний по удалению биопленок с защитных кварцевых чехлов из-за использования ультразвуковых волн.

На первом этапе тестирования ультрафиолетовые лампы включаются, и система работает без ультразвука. Вода насыщена ХПК (легко разлагается) и кислородом. В течение двух недель на стенках реактора и на кварцевых защитных стеклах образовалась слизистая биопленка. В результате образования биопленки доза ультрафиолета упала до нуля, поскольку ультрафиолетовый свет не проходил через плотно сформированную биопленку на стекле. Следующие фотографии показывают биообрастание (рисунок 15).



Рисунок 15 – Биообрастание кварцевых защитных стёкол

Биопленка сформировалась не только на кварцевых защитных стеклах, но и на стенках реактора (соединенных с металлом). На втором этапе теста ультразвук был активирован. Ультразвуковые волны создавали эффект кавитации в воде, и схлопывающиеся пузырьки газа разрушили биопленку и удалили ее [53].

(Воздействие ультразвука на воду образует пустоты, в результате чего создается большая разница в давлении (кавитация), что приводит к разрыву клеточных мембран и гибели клеток. Бактерицидное действие ультразвука основано на этом свойстве. Ультразвуковое обеззараживание воды показывает хорошую эффективность, даже если рассматривать отдельно, и даже больше, если использовать в комбинации.) [51].

Через три часа биопленка удаляется на 50 % (рисунок 16).



Рисунок 16 – После 3 часов обработки ультразвуком: сокращение биоплёнки

Через 24 часа биопленка была полностью удалена с кварцевого стекла и самого реактора (рисунок 17).





Рисунок 17 – После 24 часов: полностью очищенное стекло и УФ реактор.

Испытания проводились с помощью ультразвуковой системы, которая считается функциональной частью технологии Лазурь [53]:

- тестируемая вода имеет большой потенциал для образования биопленок;
- ультразвуковая система способна полностью удалить биопленку за 24 часа;
- при работающей ультразвуковой системе не возникает биообрастания кварцевых стекол и реактора.

### **3.3 Совершенствование технологии УФО**

«Ультрафиолетовое обеззараживание воды широко распространяется за счет отсутствия реагентной основы. Поэтому исключается не только попадание в воду побочных реагентов и продуктов, но и абсолютно не сказывается на физико-химических свойствах воды» [7].

«На обеззараживание подают очищенные сточные воды, прошедшие все этапы очистки и доочистку на аэрируемых зернистых фильтрах. Сточные

воды не должны содержать в себе механических примесей и масляных веществ, приводящих к загрязнению объема внутри обеззараживающей камеры и разрушению камерных углов, ламп. Поступающие сточные воды должны обладать показателями, соответствующими средним физико-химическим показателям качества, в соответствии со стандартом водоотведения по составу сточных вод предельно допустимого сброса (ПДС)» [18].

Не малым недостатком обеззараживания воды ультрафиолетом считается отсутствие последующих обеззараживающих мер, т.к. ультрафиолет обладает одноразовым действием и прекращается после потери контакта с водой.

«Еще в середине 90-х годов XX века применялся комбинированный метод обеззараживания, совмещающий в себе воздействие ультрафиолета и ультразвука, на основе этого метода была разработана технология «Лазурь». Данную технологию можно охарактеризовать непрерывным воздействием ультрафиолетом и ультразвуком с плотностями потока не менее  $40 \text{ мДж/см}^2$  и  $2 \text{ Вт/см}^2$ , длинами волн 253,7 нм и 185 нм соответственно. Предложенную технологию успешно внедрили и испытали на бактерицидных установках модульной конструкции серии Лазурь – М» [18].

«При обработке потока воды ультразвуком образуются короткоживущие парогазовые «каверны», которые возникают во время локального разряжения в воде. При сжатии с частотой в несколько десятков килогерц эти «каверны» лопаются на патогенной микрофлоре. При резком изменении параметров воды, таких как температура и давление, уничтожаются патогенные микроорганизмы. Под воздействием ультразвука в камере установки возникает процесс объемной дегазации, появляются многочисленные микроскопические пузырьки воздуха. Такие установки имеют преимущество в том, что они предъявляют более низкие требования к числу взвешенных частиц в воде (до 20 мг/л), а также можно обойтись без очистки защитных чехлов ламп от биообрастания» [18].

На основании патентного поиска (патента №90432) найдено новое техническое решение установки, включающее в себя шкаф управления и камеру обеззараживания (рисунок 18).

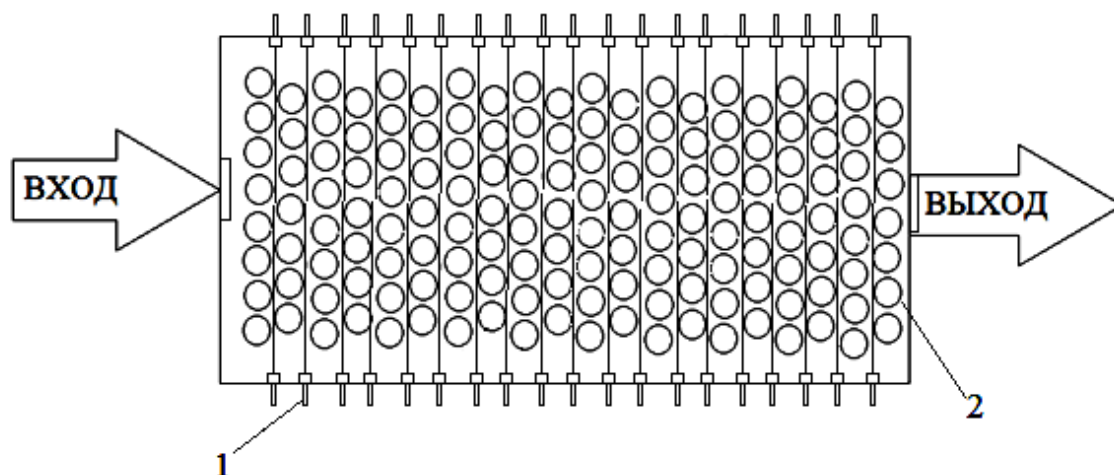


Рисунок 18 – Схема установки УФ и УЗ без блока промывки

Так как ультразвук препятствует процессу биообрастания, то это обеспечивает отказ от дополнительной химической промывки, поэтому блок промывки в установке убирается, тем самым нет необходимости в утилизации промывочной кислоты, что дает плюс в технологии и делает процесс нетрудоемким.

В результате анализа ламп (пункт 2.2.3) было решено использовать в данной установке бактерицидные лампы типа УФ ПРО Р-1521, так как они дешевле и, в свою очередь служат длительное время (до 14000 часов). Их количество также остается прежним – 324 штуки (27 рядов по 12 ламп).

На рисунке 19 изображена схема расположения ламп и ультразвуковых излучателей. Лампы располагаются перпендикулярно боковым стенкам камеры, а излучатели ультразвука на нижней и верхней стенках камеры.



1 – Ультразвуковой излучатель, 2 – Ультрафиолетовая лампа

Рисунок 19 – Усовершенствованная установка УФ+УЗ

Ультразвуковые излучатели позволяют в широком диапазоне (до 1 метра) издавать излучение, тем самым воздействуя на все водное пространство, равномерно перемешивая жидкость, а также проникая в пространства между лампами, не позволяя распространению биообрастания. Технические характеристики ультразвуковых излучателей приведены в таблице 16 [72].

Таблица 16 – Технические характеристики ультразвуковых излучателей

Наименование параметра	УЗ–15	УЗ–25	УЗ–35
Номинальное напряжение сети, В	220	220	220
Номинальная частота питающего напряжения, Гц	50	50	50
Частота ультразвука, кГц	15	25	35
Диапазон действия ультразвука, м	0,25	0,5	1
Срок службы, лет	5	5	5
Цена, руб.	560	600	680

Исходя из таблицы, были выбраны ультразвуковые излучатели УЗ–35 с диапазоном действия ультразвука один метр. Так как излучатели устанавливаются сверху и снизу камеры обеззараживания (высота 1,6 м) между каждым рядом ультрафиолетовых ламп, то количество

ультразвуковых излучателей (со сроком службы 5 лет) составит – 52 штуки. Это позволит ультразвуку охватывать весь объем камеры, включая каждую лампу.

Мною предложено в процессе УФО схема, представленная на рисунке 20. Система с пятью установками, совмещающих в себе ультразвуковое и ультрафиолетовое излучения. Так как поток воды всегда может быть разным, то при непредвиденном отключении одной из установок из-за какой-либо неисправности, всегда можно применить резервную установку. Такая система повысит эффективность обеззараживания воды, что позволит сэкономить время и средства на дополнительную очистку внутренней поверхности камеры обеззараживания.

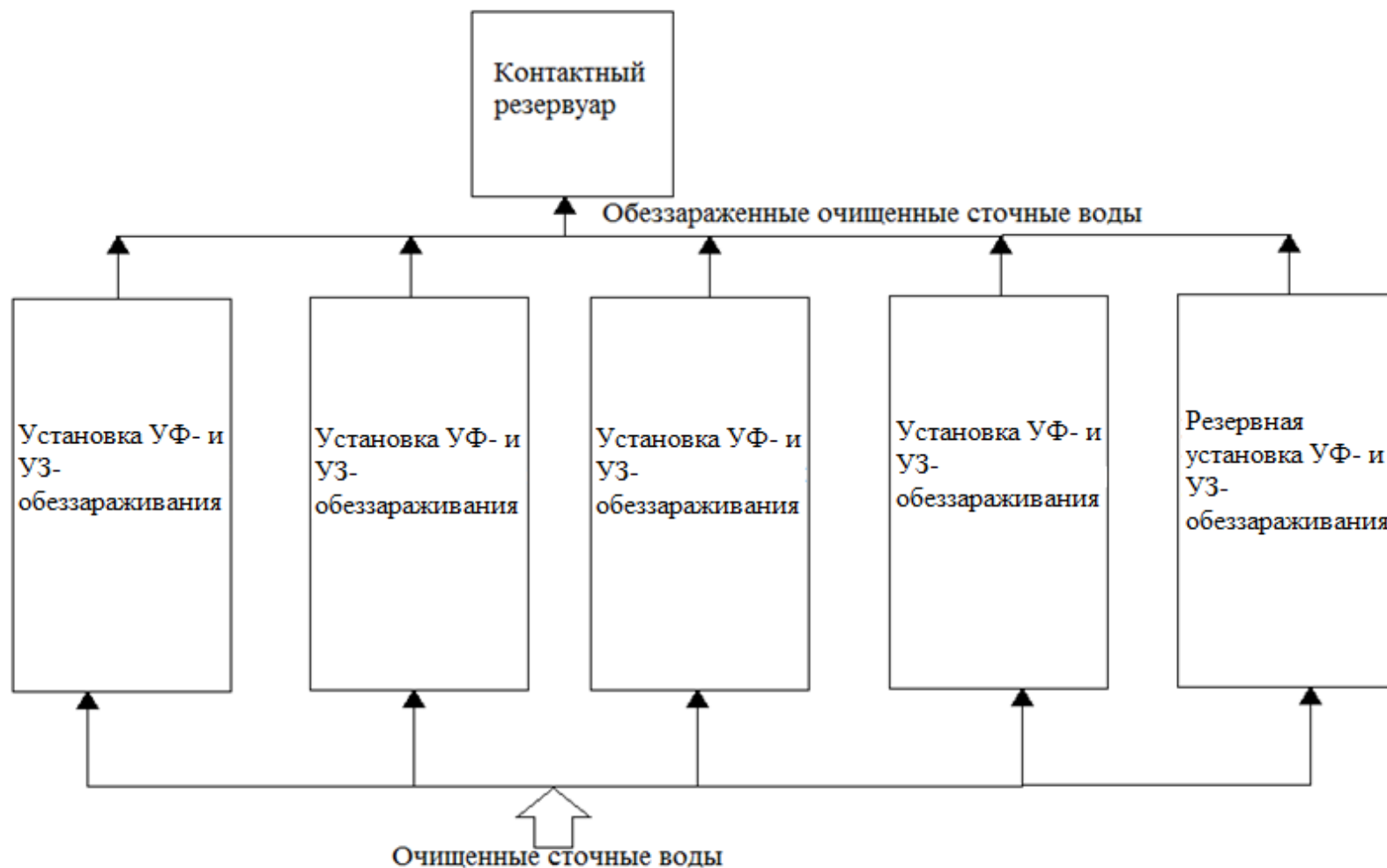


Рисунок 20 – Схема станции УФО с дополнительной установкой

### **Выводы по 3 разделу**

1. Одновременная работа ультрафиолета и ультразвука в корпусе бактерицидной установки является эффективным методом обеззараживания, что доказывают приведенные эксперименты. Это обеспечивает в установке непрерывный процесс обеззараживания, не используя при этом промывочные растворы для очистки ламп.

2. Воздействие ультразвука позволяет ультрафиолетовым лампам самоочищаться на протяжении всего срока эксплуатации (в зависимости от ламп), 14000 часов – 585 дней – практически 1,5 года.

3. На основании патентного поиска предложена схема установки и станции УФ-обеззараживания, включающая в себя 5 установок УФ (324 ультрафиолетовые лампы) совместно с ультразвуком (52 излучателя), для более качественного процесса очистки воды.

## Заключение

1. Проанализировав методы обеззараживания сточных вод, можно выделить обеззараживание воды ультрафиолетовым излучением, которое является самым современным и эффективным средством, так как от других методов он отличается тем, что его воздействие является безреагентным, то есть не происходит изменения химического состава воды. Но также данный метод имеет некоторые недостатки.

2. Изучив технологический процесс станции УФО на очистных сооружениях предприятия ПАО «Тольяттиазот», выяснилось, что основным фактором, который постепенно ограничивает эффективность обеззараживания ультрафиолетовых установок в процессе эксплуатации, считается загрязнение защитных чехлов ламп органическими и неорганическими отложениями.

3. В результате исследования обеззараженной воды на поведение дафний выяснилось, что дафнии живут в обработанной воде (ультрафиолетовое излучение не имеет последующего эффекта). Их, практически, 100 процентное выживание доказывается отсутствием токсичности воды, что подтверждается оптимальными значениями показателей качества.

4. Одним из многообещающих комбинированных методов обеззараживания воды является технология, в которой используется одновременное воздействие ультрафиолетовых и ультразвуковых лучей на воду. Обеззараживание бактерий при использовании ультразвука и ультрафиолета выше, чем при использовании только ультрафиолета. Этим обеспечивается повышение эффективности данного метода.

5. На основании патента №90432 предложена схема УФ-обеззараживания, включающая в себя 5 установок УФ совместно с ультразвуком, для более качественного процесса очистки воды. Внедрение комбинированной технологии работы ультрафиолета и ультразвука даст



баланс между повышенным износом систем очистки и обеспечением достаточной чистоты стекол. Воздействие ультразвука позволяет ультрафиолетовым лампам самоочищаться на протяжении всего срока эксплуатации (в зависимости от ламп), 14000 часов – 585 дней – практически 1,5 года. Установка сможет работать без блока промывки. А также гарантирует повышение эффективности обеззараживания, следовательно, качества воды.

## Список используемых источников

1. Акулин, Д. А. Биологическая очистка сточных вод / Д. А. Акулин – Москва: МГТУ, 1999 – 290 с.
2. Алексеев, С. Е. Применение ультрафиолета для интенсификации процессов очистки природных и сточных вод / С. Е. Алексеев // Водоочистка – 2007. – №2 – С. 28 – 32.
3. Асафьев, В. Н. Биологическая очистка сточных вод / В. Н. Асафьев – Самара : СГТУ, 1999 – 240 с.
4. Бергман, Л. Ультразвук и его применение в науке и технике / Л. Бергман; Пер. с нем. под редакцией В. С. Григорьева и Л. Д. Розенберга. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1957 – 726 с.
5. Бойцов, В. Д. Структура гидрологических сезонов в прибрежной зоне Мурмана / В. Д. Бойцов // Физико-химические условия формирования биологической продукции Баренцева моря – Изд-во Кольского филиала АН СССР, 1980 – С. 20-26.
6. Брагинский, Л. П. Методологические аспекты токсикологического биотестирования на *Daphnia magna* Str. и других ракообразных (критический обзор) / Л. П. Брагинский // Гидробиол. журн. 2000. – Т. 36. – № 5. – С. 30 – 50.
7. Бубнов, А. Г. Биотестовый анализ – интегральный метод оценки качества объектов окружающей среды: учебно-методическое пособие. ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т. / А. Г. Бубнов. – Иваново, 2007. – 111 с.
8. Владимиров, Ю. А. Действие УФ-излучения на мембранные структуры клеток / Ю. А. Владимиров, Д. И. Рощупкин // Биологическое действие ультрафиолетового излучения. – М. «Наука», 1975. – С.32-38.
9. Владимиров, Ю. А. Инактивация ферментов ультрафиолетовым облучением / Ю. А. Владимиров // Сорский Образовательный Журнал, 2001. – т. 7. – № 2. – С. 21 –26.
10. ГОСТ Р 56236-2014 (ИСО 6341:2012) Вода. Определение

токсичности по выживаемости пресноводных ракообразных *Daphnia magna*. – Введ. 01.01.1988. – М. : Изд-во стандартов, 2007. – 8 с. : ил. – Библиогр.: с. 7.

11. Degremont – Технический справочник по обработке воды. СПб., Новый журнал, 2007. – Т. 2. – 920 с.

12. Добровольский А. Д. Моря СССР. / А. Д. Добровольский, Б. С. Залогин. – М.: Изд-во МГУ, 1982 – 183с.

13. Джус,, В. Е. Распределение и запасы промысловых бурых водорослей Мурманского побережья Баренцева моря. / В. Е. Джус. – Изд. Кольского филиала АН СССР, 1984. – 87 с.

14. Жмур, Н. С. Государственный и производственный контроль токсичности вод методами биотестирования в России / Н. С. Жмур. – М.: Междунар. дом сотрудничества, 1997. – 114 с.

15. Журавлев, А. П. Охрана окружающей среды в строительстве / А. П. Журавлев, Н. С. Серпокыров, С. Л. Пушенко. – М.: 1995. – С. 48-52.

16. Зарубин, Г. П. Современные методы очистки и обеззараживания питьевой воды / Г. П. Зарубин, Ю. В. Новиков. – М.: Медицина, 1976. – 192 с.

17. Иост, Х. Физиология клетки. / Х. Иост. – Мир, Москва, 1975. – 59с.

18. Кажаяева, Е. М. Совершенствование технологии УФ-обеззараживания сточных вод на очистных сооружениях ПАО «Тольяттиазот» [Текст] / Е. М. Кажаяева, В. С. Гончаров // «Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов»: сб. трудов V Всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов – Тольятти, 2019 – №4-09-19. – С. 351 – 357.

19. Колесников, В. А. Анализ, проектирование технологий и оборудования для очистки сточных вод / В. А. Колесников. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 285 с.

20. Лебедев, Н. М. Испытание комбинированного способа ультрафиолетового и ультразвукового обеззараживания сточных вод / Н. М.

Лебедев [и др.] // Экология и промышленность России, 2019. – Т. 23. – № 7. – С. 26–30.

21. Лебедев, Н. М., Исследование совместного влияния ультрафиолетового облучения (УФО) и ультразвуковой обработки (УЗО) на динамику окислительно-восстановительных процессов в водной среде / Н.М. Лебедев [и др.] // Материалы VI Конгресса обогатителей стран СНГ, 2007. – II том. – с. 234-237.

22. Макаров, В. Н. Поведение зооспор и ранние стадии развития *Laminaria saccharina* / В. Н. Макаров. – (L), 1987. – с.44.

23. Макаров, М. В. Влияние ультрафиолетовой радиации на споры *Laminaria saccharina* (Phaeophyta) / М. В. Макаров, Г. М. Воскобойников // Бот. журн. 1999. – Т. 84. – №10. – С. 66-72.

24. Макаров, М. В. Влияние ультрафиолетовой радиации и темноты на выход тетраспор *Palmaria palmata*. / М. В. Макаров // Сборник статей молодых ученых ММБИ, 1998. – с.110.

25. Максимовский, Н. С. Очистка сточных вод / Н. С. Максимовский. – М.: Стройиздат, 2011. – 193с.

26. Мелехова, О. П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О. П. Мелехова. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 286 с.

27. Мелихова, Н. В. Ультрафиолет в процессе биологической очистки сточных вод: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н. В. Мелихова. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 266 с.

28. Минц, О. Д. Применение ультрафиолетового излучения для обеззараживания питьевой воды / О. Д. Минц // Водоснабжение и сан. Техника, 1987. – №7. – С.13 – 15.

29. Мокроносова, А. Т. Фотосинтез и биопродуктивность: методы определения / А. Т. Мокроносова. – М., 1989. – 460 с.

30. Моксова, А. Т., Ультрафиолетовое обеззараживание сточных вод / А. Т. Моксова. – М., 1999. – 415 с.
31. Методы санитарно-микробиологического анализа питьевой воды. МУК № 4.2.1018-01. – Минздрав России, Москва, 2001. – с. 99.
32. Организация госсанэпиднадзора за обеззараживанием сточных вод. МУК № 2.1.5.800 – 99. – Минздрав России, Москва, 2000. – с.51.
33. Павлова, Л. Г. Динамика содержания биогенных элементов в иловой воде отложений литорали Дальнего Пляжа / Л. Г. Павлова // Физико-химические условия формирования биологической продукции Баренцева моря. – Изд-во Кольского филиала АН СССР, 1980. – с.216.
34. Пат. 104058 РФ, МПК А61L 9/20 (2006.01) А61L 2/10 (2006.01). Установка для обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением / Капустин Е. В., Хатомлянский Д. В., Лезов Ю. А.; патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Лаборатория прикладной экологии». – № 2010134394/15; заявл. 18.08.2010; опубл. 10.05.2011, Бюл. № 13. – 8 с. : ил.
35. Пат. 2332358 РФ, МПК С02F 1/36 (2006.01). Устройство для безреагентного обеззараживания жидкости / Лебедев Н. М.; заявитель и патентообладатель ООО «Александра-Плюс». – № 2007114002/15; заявл. 13.04.2007; опубл. 27.08.2008, Бюл. № 24. – 4 с. : ил.
36. Пат. 90432 РФ, МПК С02F 1/32 (2006.01). Устройство для обработки водных сред в протоке / Ульянов А. Н.; заявитель и патентообладатель Ульянов А. Н. – № 2009135570/22; заявл. 05.08.2009; опубл. 10.01.2010, Бюл. № 1. 8 с. : ил.
37. Пат. 74908 РФ, МПК С02F 1/32(2006.01). Система ультрафиолетового обеззараживания воды / Храменков С. В.; заявитель и патентообладатель Моск. Гос. унитарное предприятие «Мосводоканал». – № 2008112878/22; заявл. 04.04.2008; опубл. 20.07.2008, Бюл. № 20. – 10 с. : ил.
38. Позднякова, М. А. Инновационная статическая методика оценки качества питьевого водоснабжения как инструмент системы управления

рисками здоровью населения / М. А. Позднякова // Медицинский альманах, 2011. – №3. – С. 37 – 39.

39. Пономарев, В.Г. Очистка поверхностного стока / В. Г. Пономарев, И. С. Чучалин, Р. Р. Зильберман // Вода и экология. Проблемы и решения, 2008. № 2. С. 16 – 22.

40. Потапченко, Н. Г. Использование УФ-излучения в практике обеззараживания воды / Н. Г. Потапченко, О. С. Славук // Химия и технология воды, 1989. – Т.13. – № 12. – С. 1117 – 1129.

41. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – М., Энергоатомиздат, 1986. – с.25.

42. Радченко, Н. М. Методы биоиндикации в оценке состояния окружающей среды / Н. М. Радченко. – Вологда: Издательский центр ВИРО, 2006. – 147 с.

43. Роев, Г. А. Очистные сооружения. Охрана окружающей среды / Г. А. Роев. – М.: Недра, 2010. – 168 с.

44. Рошупкин, Д. И. Первичные стадии действия ультрафиолетового излучения на белки, липиды и биологические мембраны. / Д. И. Рошупкин // Докл. симп. IV Международного биофизического конгресса. – Пущино, 1973. – Т. 3. – С. 91 – 110.

45. Руденко, К. М. Технологические процессы биологической очистки сточных вод / К. М. Руденко. – Волгоград: Издательский центр ВИРО, 2007. – 176 с.

46. Савинов, Е. Н., Фотокаталитические методы очистки воды и воздуха / Е. Н. Савинов // Сорровский Образовательный Журнал, 2000. – т. 6. – № 11. – С. 53 – 57.

47. Санитарно-паразитологическое исследование воды. МУК № 4.2.964-00. – Минздрав России, Москва, 2000. – с. 10.

48. Санитарно-эпидемиологический надзор за обеззараживанием сточных вод ультрафиолетовым излучением. Методические указания МУК

№ 2.1.5.732-99. – Минздрав России, Москва, 1999. – с.149.

49. Санитарно-эпидемиологический надзор охраны поверхностных вод от загрязнения. СанПиН № 2.1.5.980-00. – М.: Перспектива, 2000. – URL: [https //rospotrebnadzor.ru/documents](https://rospotrebnadzor.ru/documents) (дата обращения 15.11.2019).

50. Семенченко, В. П. Принципы и системы биоиндикации текучих вод / В. П. Семченко. – М.: Орех, 2004. – 126 с.

51. Соколов, В. Ф. Обеззараживание воды бактерицидными лучами / В. Ф. Соколов. – М., 1961. – 276 с.

52. Техника защиты окружающей среды: Учебное пособие для ВУЗов. / Н. С. Трочешников, А. И. Родионов, И. В. Кельцев, В. Н. Клушин. – М.: Химия, 1981. – 57 с.

53. Ульянов, А. Н. Обеззараживание питьевой воды и сточной воды ультрафиолетовым излучением и ультразвуком / А. Н. Ульянов // Вода: химия и экология, 2009. – № 3. – С. 11–15.

54. Финов, В. П. Эффективность физико-химических методов очистки сточных вод / В. П. Финов. – М.: Мир, 2010. – 190 с.

55. Фирсов, А. И. Формирование и очистка поверхностных стоков промышленных предприятий / А. И. Фирсов // Вода и экология. Проблемы и решения. – М., 2002. – с. 22.

56. Форстер, К. Ф. Экологическая биотехнология / К. Ф. Форстер. – М.: Колос, 2010. – 189с.

57. Цыганкова, С. П. Биологическая очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности / С. П. Цыганкова. – М.: Мир, 2012. – 420 с.

58. Челноков, А. А. Основы промышленной экологии / А. А. Челноков. – Минск: Технопринт, 2011. – 85 с.

59. Шеховцова, Т. Н. Биологические методы анализа / Т. Н. Шеховцева // Соросовский образовательный журнал, 2000. – том 6. – №11. – С. 17-21.

60. Эльпинер, И. Е. Ультразвук. Физико-химическое действие. / И. Е.

Эльпинер. – М., 1963. – 231с.

61. Юшманова, О. А. Комплексное использование и охрана водных ресурсов / О. А. Юшманова. – М.: Агропромиздат, 2011. – 220 с.

62. Яковлев, С. В. Водоотведение и очистка сточных вод / С. В. Яковлев, Ю. В. Воронов. – М.: АСВ, 2004. – 704 с.

63. Яковлев, С. В. Биохимические процессы в очистке сточных вод / С. В. Яковлев. – М.: Стройиздат, 1980. – с.54.

64. Adler, R. W. The Clean Water Act / J. C Landman, D. M. Cameron // 20 Years Later: Island Press, 1993. – p. 102.

65. Burroughs, R. Coastal Governance, Foundations of Contemporary Environmental Studies / R. Burroughs. – DOI 10.5822/978-1-61091-016-3 (дата обращения 18.11.2019).

66. Ehab, M. R. Housing and Building National Research Center Journal / M. R. Ehab, M. Massoud // Faculty of Engineering, Cairo University, Giza, Egypt, Received 5 May 2014; accepted 2 June 2014. – UDC 69.001.5.

67. Kikuchi, Y. Photocatalytic bactericidal effect of TiO<sub>2</sub> thin film: Dynamic view of the active oxygen species responsible for the effect / Y. Kikuchi, K. Sunada. – [J]. J Photochem Photobiol A: Chem, 1997. – 106(2): p.51–56.

68. MAlkin P. Senior Researcher, Ben-Gurion University in the Negev / P. MAlkin. – Israel, 2016. – p.241.

69. Mounaouer and Abdennaceur Journal of Environmental health Science & Engineering (2015) 13:3, DOI 10.1186/s40201-015-0154-6 (дата обращения 16.12.2018).

70. Mittal, A. Water Today / A. Mittal. – 1 August .2011. – p. 200.

71. Jaranowska, P. World Microbiol Biotechnol / P. Jaranowska, M. Zielinska. – (2013) 29:1145–1153, Received: 5 September 2012, Accepted: 25 January 2013. – Published online: 9 February 2013, DOI 10.1007/s11274-013-1273-9 (дата обращения 17.03.2019).

72. Jan, T. Fundamentals of Piezoelectric Sensorics. / T. Jan, J. Erhart. – New York.: Springer, 2010. – p. 218.



73. UV Usage and government regulation. What you need to know/ J. Water Conditioning Purification. – June, 1997. – P.38-42.

74. URL: <http://www1.fips.ru> (дата обращения 13.01.2020).