



ЭКОЛОГИЯ/ECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.70.16> EDN: DVQSUOИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ В ПРОТОЧНЫХ УСТАНОВКАХ
УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Научная статья

Липантьев Р.Е.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0002-8923-2865;¹ Казанский государственный энергетический университет, Казань, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (r2144464[at]yandex.ru)

Предложена: 28.04.2026; Принята: 22.05.2026; Опубликовано: 19.06.2026

Аннотация

Актуальность работы заключается в исследовании технологических процессов обработки питьевой воды методами хлорирования и ультрафиолетового обеззараживания. Установлено, что в процессе хлорирования воды активный хлор вступает в реакцию с природными органическими веществами, присутствующими в воде. Это взаимодействие приводит к образованию различных хлорорганических соединений, обладающих высокой токсичностью и способностью к аккумуляции в тканях биологических организмов, что создает потенциальные риски для здоровья человека и экосистем. Наиболее безопасным по сравнению с хлорированием на сегодняшний день среди физических методов обеззараживания воды является ультрафиолетовый метод. Цель данного исследования — исследование эффективности процесса обеззараживания воды питьевого назначения методом ультрафиолетового воздействия. Расчетным методом построены графические зависимости, описывающие изменение величины дозы облучения при переменном расходе воды через установки SOV-UF-2,0 и SOV-UF-5.0. В процессе каждого эксперимента были получены пробы воды, микробиологический анализ которых показал эффективность метода ультрафиолетового обеззараживания. В ходе эксперимента было выявлено, что расход и скорость воды в значительной степени влияют на интенсивности дозы облучения в установках. Полученные уравнения, описывающие ход эксперимента, позволяют определять оптимальный расход воды для ее эффективного обеззараживания и использования по назначению. Таким образом, управление расходом и скоростью воды через установки позволяет оптимизировать процесс ультрафиолетового обеззараживания. Полученные авторами данные позволят обратить внимание эксплуатирующих организаций на необходимость регулярного мониторинга условий работы УФ-систем для поддержания стабильного и качественного результата.

Ключевые слова: хлор, УФ-излучение, обеззараживание воды, водоподготовка.**A STUDY OF THE WATER DISINFECTION PROCESS IN FLOW-THROUGH ULTRAVIOLET TREATMENT SYSTEMS**

Research article

Lipantev R.Y.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0002-8923-2865;¹ Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

* Corresponding author (r2144464[at]yandex.ru)

Suggested: 28.04.2026; Accepted: 22.05.2026; Published: 19.06.2026

Abstract

The relevance of the work lies in the study of technological processes for treating drinking water using chlorination and ultraviolet disinfection. It has been established that, during the chlorination of water, active chlorine reacts with natural organic substances present in the water. This interaction leads to the creation of various organochlorine compounds, which are highly toxic and capable of accumulating in the tissues of living organisms, posing potential risks to human health and ecosystems. Among physical methods of water disinfection, the ultraviolet method is currently the safest compared to chlorination. The aim of this research is to study the effectiveness of the process of disinfecting drinking water using ultraviolet irradiation. Graphical relationships describing changes in the irradiation dose as a function of variable water flow rates through the SOV-UF-2.0 and SOV-UF-5.0 units were constructed using a computational method. Water samples were collected during each experiment, and microbiological analysis of these samples demonstrated the effectiveness of the ultraviolet disinfection method. The experiment showed that water flow rate and velocity significantly influence the irradiation dose intensity in the units. The obtained equations describing the experimental results allow the determination of the optimal water flow rate for effective disinfection and intended use. Thus, controlling the flow rate and velocity of water through the units makes it possible to optimise the UV disinfection process. The data obtained by the authors will help draw the attention of operating organisations to the need for regular monitoring of the operating conditions of UV systems in order to maintain consistent and high-quality results.

Keywords: chlorine, UV radiation, water disinfection, water treatment.

Введение

Поверхностные и подземные источники питьевой воды зачастую не соответствуют установленным для безопасного употребления гигиеническим нормативам. По этой причине требуется предварительная очистка и дезинфекция такой воды, прежде чем она будет доставлена потребителям, что является необходимой мерой для обеспечения здоровья людей и предотвращения распространения инфекционных заболеваний. К важнейшим критериям, определяющим качество питьевой воды, можно отнести её безопасность с точки зрения эпидемиологии, отсутствие вредных химических веществ в составе, а также наличие приемлемых органолептических показателей. С учетом вышеназванных факторов в разных странах были разработаны специальные нормативные акты, устанавливающие стандарты качества питьевой воды, включая микробиологические и паразитологические показатели. Эти документы служат основой для обеспечения здоровья населения и защиты экологической среды, а также учитывают требования к контролю качества на разных этапах — от источника воды до конечного потребителя [1], [2], [3].

На сегодняшний день методы хлорирования, использующие газообразный хлор и его производные, продолжают широко применяться в странах ближнего зарубежья и некоторых других государствах. Причинами такой популярности хлорирования являются высокая степень бактерицидного действия хлорпродуктов, а также простота конструкций оборудования и возможности быстрого контроля процесса. Тем не менее, наряду с перечисленными преимуществами, существует и серьезный недостаток данного метода: образование хлорорганических соединений, обладающих высокой токсичностью, мутагенными и канцерогенными свойствами. Эти вещества могут накапливаться и вызывать физиологические изменения в живых организмах, включая биологические реакции, и приводя к их гибели. Многочисленные исследования наглядно демонстрируют, как хлорирование питьевых и сточных вод приводит к значительным уровням мутагенной активности и токсичности. При обработке воды хлорсодержащими веществами были обнаружены и выделены продукты, обладающие выраженной генотоксичностью, такие как тригалометаны, хлорфенолы, п-нитрохлорбензол, бромоформ и другие. Особенно важно отметить, что у хлороформа и четыреххлористого углерода, которые относятся к галогенорганическим соединениям с потенциальными долгосрочными биологическими эффектами, были выявлены канцерогенные свойства. В связи с этим данные соединения рассматриваются, как опасные для здоровья человека. Поэтому необходимо обратить особое внимание на поиск и внедрение альтернативных методов обработки воды, которые бы снижали или исключали образование этих вредных побочных продуктов [3], [4], [5], [8].

В настоящее время при проектировании современных систем водоподготовки наблюдается переход от использования жидкого хлора к более безопасному и простому в эксплуатации гипохлориту натрия. Однако данное технологическое решение связано с рядом значительных недостатков. Во-первых, при добавлении гипохлорита натрия в воду в нее поступает существенное количество хлорид-ионов, содержание которых ускоряет коррозионные процессы на внутренней поверхности трубопроводов из углеродистой стали, по которым очищенная вода направляется к потребителям. Во-вторых, применение гипохлорита натрия не уменьшает, а в некоторых случаях даже увеличивает количество образующихся хлорорганических соединений, например, таких, как тригалометаны, которые по некоторым исследованиям связаны с риском возникновения раковых заболеваний. Кроме того, гипохлорит натрия обладает меньшей бактерицидной активностью по сравнению с жидким хлором. В связи с этим для достижения аналогичного эффекта обеззараживания требуется значительно увеличить время контакта, что влияет на производительность установок. Эти недостатки подчеркивают необходимость дальнейших исследований и разработки более эффективных и безопасных альтернативных методов обеззараживания воды, которые могли бы избежать проблем, связанных как с жидким хлором, так и с гипохлоритом натрия [6], [7], [8].

Среди физических методов обеззараживания воды наиболее популярно применяется ультрафиолетовый метод. Другие физические методы, такие как облучение гамма-излучением, использование высоковольтных разрядов, электрических разрядов малой мощности, переменного тока, термическая обработка и ультразвуковая обработка, встречаются значительно реже в связи с их высокой энергоемкостью и сложностью технической реализации. Бактерицидный эффект ультрафиолетовых лучей обусловлен в первую очередь фотохимическими реакциями, которые приводят к необратимому повреждению ДНК микроорганизмов. Однако ультрафиолетовое излучение также воздействует и на другие клеточные структуры, такие как РНК и клеточные мембраны. Наибольшей способностью повреждать и инактивировать бактериальные клетки обладает УФ-излучение с длинами волн от 200 до 280 нм. Это связано с тем, что излучение именно в этом диапазоне эффективно поглощается нуклеиновыми кислотами (ДНК и РНК) микроорганизмов. Максимальная эффективность этого воздействия, то есть пик бактерицидной активности, наблюдается при длинах волн в интервале 250–260 нм. Основными источниками УФ-излучения в установках для обеззараживания воды служат газоразрядные лампы, наполненные смесью паров ртути и инертных газов. Эти лампы классифицируются по рабочему давлению на два основных типа: низкого и высокого давления [9], [10].

Лампы низкого давления характеризуются относительно невысокой электрической мощностью (от 2 до 200 Вт) и умеренной рабочей температурой колбы (40–150 °С). При этом лампы низкого давления обладают высокой эффективностью преобразования энергии, а именно до 30% потребляемой электроэнергии трансформируется в УФ-излучение с длиной волны 254 нм [11], [12].

Лампы высокого давления отличаются значительно большей единичной мощностью (от 50 Вт до 10 кВт и выше), высокой рабочей температурой (600–800 °С), широким спектром излучения, охватывающим как УФ, так и видимую область. Недостатком является более низкий КПД в генерации именно коротковолнового УФ-излучения (включая 254 нм) по сравнению с лампами низкого давления. Однако, несмотря на меньшую эффективность в бактерицидном диапазоне, лампы высокого давления применяются в водоподготовке благодаря высокой суммарной мощности, что позволяет обрабатывать большие объемы воды или воду с низким УФ-пропусканием с помощью меньшего количества ламп [13], [14], [15].

Методы и принципы исследования

Одним из ключевых параметров процесса обеззараживания с использованием УФ-излучения является его доза, которая определяется как мощность излучения на единицу площади в течение заданного времени. Доза ультрафиолетового излучения определяется рядом факторов, включая мощность источника в ультрафиолетовом диапазоне, способность воды поглощать это излучение, восприимчивость микроорганизмов к ультрафиолетовым лучам, начальное количество микроорганизмов в воде, а также необходимую степень обеззараживания. Помимо этого, нужно принимать во внимание температуру воды, ее мутность, а также возможное присутствие различных химических соединений, которые могут снижать эффективность воздействия ультрафиолетового излучения. Важно отметить, что для достижения эффективного обеззараживания необходимо тщательно учитывать все эти факторы. Например, различные виды микроорганизмов могут проявлять разную чувствительность к УФ-излучению, поэтому для каждой конкретной ситуации может понадобиться индивидуальная настройка условий обработки [15], [16], [17], [18].

С целью изучения эффективности процесса обеззараживания авторами проведен ряд испытаний проточных обеззараживающих установок, серийно выпускаемых предприятием ООО «Завод «Современная Автоматика», г. Казань. Установки SOV-UF сертифицированы и соответствуют требованиям технического регламента Таможенного союза «О безопасности машин и оборудования», «О безопасности низковольтного оборудования», «Электромагнитная совместимость технических средств». Характеристики установок, представленных на испытание приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Технические характеристики проточных установок обеззараживания воды

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.70.16.1>

№ п/п	Параметр	Значение	
		SOV-UF-2,0	SOV-UF-5,0
1	Производительность по хозпит. (сточ.) воде, м ³ /ч	2,0(1,0)	5,0(2,5)
2	Доза УФ-облучения для хозпит. (сточ.) воды, мДж/см ²	25 (40)	25 (40)
3	Диаметр корпуса, мм	63	63
4	Диаметр патрубка, мм	25	32
5	Тип ламп	UVL-100HO	UVL-19140
6	Кол-во ламп, шт.	1	1
7	Эл мощность, Вт	100	140
8	УФ мощность, Вт	40	48
9	Длина лампы, мм	846	842
10	Длина дуги лампы, мм	753	740
11	Диаметр трубки лампы, мм	19	19
12	Размеры установки (ДхШхВ), мм	1000x70x140	1000x70x140

Установка проточного обеззараживания воды состоит из металлического корпуса из нержавеющей стали AISI 304, внутри которого установлен кварцевый чехол с бактерицидной лампой. На корпусе предусмотрены резьбовые патрубки для подвода и отвода обрабатываемой воды. Поток воды под давлением проходит через корпус установки, омывает кварцевый чехол и подвергается обработке ультрафиолетом. В зависимости от типа исходной воды, расхода, требуемой дозы облучения в одной установке может быть размещено разное количество ламп. Для контроля степени излучения и своевременной замены лампы на корпусе установлен датчик УФ-интенсивности. Эффективность проектирования и надежность эксплуатации установок УФ-обеззараживания воды напрямую зависят от учета ряда параметров. К ним относятся органолептические характеристики обрабатываемой воды и присутствующие в ней примеси (т.к. они влияют на прохождение УФ-лучей), а также расчетная производительность системы и её энергопотребление [18], [19], [20], [22].

С целью практической проверки и оценки производительности УФ-установок в контролируемых условиях была разработана и смонтирована технологическая схема испытательного стенда, описанного в литературе [15]. Этот стенд имитирует процесс обработки воды и включает: накопитель исходной воды, насосную станцию, установку УФ-обеззараживания, расходомер для точного измерения объема обрабатываемой воды и накопитель очищенной воды. Вода для эксперимента использовалась из артезианского источника. Протокол анализа воды приведен в таблице 2.

Таблица 2 - Протокол анализа качества исходной воды

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.70.16.2>

№ п/п	Определяемые показатели	Результаты испытаний	Величина допустимого уровня	НД на методы исследований
Санитарно-гигиенические исследования				
1	Массовая концентрация аммиака и ионов аммония, мг/дм ³	Менее 0,1	Не более 1,5	ГОСТ 33045-2014
2	Массовая концентрация гамма-изомера гексахлорциклогексана, мг/дм ³	Менее 0,1	Не нормир.	ГОСТ 31858-2012
3	Массовая концентрация калия, мг/дм ³	2,9±0,6	Не нормир.	ПНД Ф 14.1:2:4.138-98
4	Массовая концентрация натрия, мг/дм ³	9,1±1,5	Не более 200	ПНД Ф 14.1:2:4.138-98
5	Массовая концентрация цианидов, мг/дм ³	Менее 0,01	Не более 0,07	ГОСТ 31863-2012
6	Водородный показатель, ед. рН	7,9±0,2	6,0-9,0	ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97
7	Сухой остаток, мг/дм ³	337±10	Не более 1500	ГОСТ 18164-72
8	Жесткость общая, °Ж	5,1±0,8	Не более 10,0	ГОСТ 31954-2012
9	Перманганатная окисляемость, мгО/дм ³	0,72±0,14	Не более 7,0	ГОСТ Р 55684-2013
10	АПАВ, мг/дм ³	Менее 0,015	Не более 0,5	ГОСТ 31857-2012
11	Массовая концентрация нитрит-ионов, мг/дм ³	Менее 0,02	Не более 3	ПНД Ф 14.1:2:24.3-95
12	Массовая концентрация нитратов, мг/дм ³	8,6±1,3	Не более 45	ГОСТ 33045-2014
13	Сульфаты, мг/дм ³	40,2±4,4	Не более 500	ГОСТ 31940-2012
14	Хлориды, мг/дм ³	11,0±2,0	Не более 350	ГОСТ 4245-72
15	Массовая концентрация железа, мг/дм ³	Менее 0,1	Не более 0,3	ПНД Ф 14.1:2:4.139-98
Бактериологические исследования				
1	E.coli, КОЕ/100 см ³	7	отсутствие	ГОСТ 31955.1-2013
2	Колифаги, БОЕ/100 см ³	Не обнаружено	отсутствие	МУК 4.2.1018-01
3	Обобщенные колиформные бактерии, КОЕ/100 см ³	7	отсутствие	МУК 4.2.1018-01
4	Общее микробное число, КОЕ/100 см ³	70	Не более 100	МУК 4.2.1018-01
5	Энтерококки, КОЕ/100 см ³	Не обнаружено	отсутствие	ГОСТ ISO 7899-2-2018

Из результатов анализа видно, что вода не соответствует СанПиН 2.1.4.1074-01 по бактериологическим показателям. В связи с этим при эксплуатации данного источника водоснабжения необходимо предусмотреть систему водоподготовки, обеспечивающую соответствие питьевой воды санитарно-гигиеническим требованиям и нормативам, установленным для распределительной сети. Такая система должна гарантировать безопасность, надежность и стабильное качество воды, предотвращая возможные риски для здоровья потребителей [23], [24].

Основные результаты

В ходе экспериментальных исследований вода последовательно перекачивалась из емкости с исходной водой в накопитель очищенной воды, проходя через модуль УФ-обеззараживания. Ключевым элементом эксперимента было целенаправленное изменение расхода воды через установку. Варьирование расхода напрямую влияло на время пребывания (экспозиции) воды в зоне УФ-излучения и, как следствие, на итоговую дозу облучения, получаемую водой. Расход и скорость воды регулировались путем изменения частоты электрического тока и управления оборотами электродвигателя насосного агрегата. Расход воды контролировался при помощи электромагнитного расходомера. Технические условия проведения эксперимента приведены в таблицах 3–4.

Таблица 3 - Технические условия эксперимента для установки SOV-UF-2,0

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.70.16.3>

№ эксп.	Расход, м ³ /ч	Средняя скорость, м/с	Время облучения, с	Доза облучения, мДж/см ²
1	1,2	0,74	1,01	42,63
2	1,4	0,87	0,86	36,30
3	1,6	0,99	0,76	32,08
4	1,8	1,11	0,68	28,70
5	2,0	1,24	0,6	25,32
6	2,2	1,37	0,55	23,21
7	2,4	1,48	0,51	21,53
8	2,6	1,61	0,47	19,84
9	2,8	1,74	0,43	18,15
10	3,0	1,86	0,4	16,88

Таблица 4 - Технические условия эксперимента для установки SOV-UF-5,0

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.70.16.4>

№ эксп.	Расход, м ³ /ч	Средняя скорость, м/с	Время облучения, с	Доза облучения, мДж/см ²
1	4,6	1,20	0,62	31,83
2	4,8	1,25	0,59	30,29
3	5,0	1,30	0,57	29,26
4	5,2	1,35	0,55	28,23
5	5,4	1,41	0,52	26,69
6	5,6	1,45	0,51	26,18
7	5,8	1,51	0,49	25,15
8	6,0	1,56	0,47	24,13
9	6,2	1,61	0,46	23,61
10	6,4	1,66	0,45	23,10

Из результатов эксперимента видно, что обе установки соответствуют заявленным заводом-изготовителем характеристикам. При превышении паспортного расхода через установку SOV-UF-2,0 доза облучения снижается ниже допустимого значения в 25 мДж/см² установленного для воды хозяйственно-питьевого назначения. Установка SOV-UF-5,0 спроектирована с некоторым запасом мощности поэтому доза облучения в ней снижается до 25 мДж/см² после превышения расхода на 16,0%, что будет являться большим преимуществом для потребителя при выборе соответствующего оборудования.

На рис. 1–2. Показаны графические зависимости интенсивности дозы облучения при изменении расхода воды через установку. На дозу облучения также влияют процессы преобразования энергии волны в тепло и изменение ее

направления, частоты при взаимодействии с водой. Для оценки этого влияния использовался коэффициент поглощения, значение которого было принято по органолептическим и санитарно-гигиеническим характеристикам воды — в частности по уровню мутности и количественному содержанию таких веществ, как железо, марганец и фенол. Наличие и высокая концентрация данных примесей ослабляется излучение. Кроме того, на степень ослабления влияет и длина волны УФ-излучения: более короткие волны поглощаются интенсивнее. Учет этих факторов необходим при проектировании и эксплуатации систем обеззараживания воды с применением УФ-облучения, поскольку эффективность дезинфекции напрямую зависит от того, насколько глубоко излучение проникает в водную среду [18], [20], [21], [22].

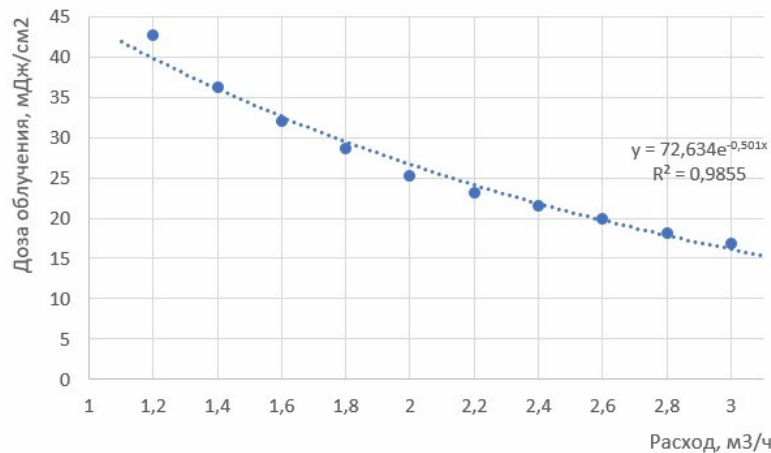


Рисунок 1 - Зависимость интенсивности дозы облучения при изменении расхода воды через установку SOV-UF-2,0
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.70.16.5>

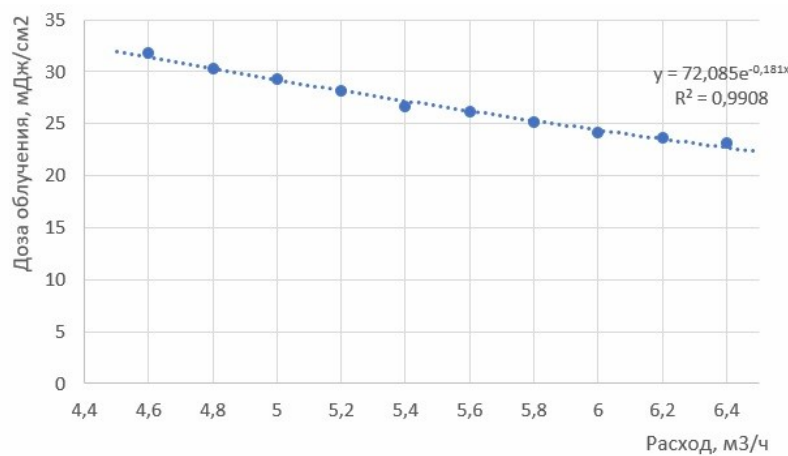


Рисунок 2 - Зависимость интенсивности дозы облучения при изменении расхода воды через установку SOV-UF-5,0
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.70.16.6>

В процессе каждого эксперимента было получено по 3 пробы воды объемом 500 мл. Для чистоты эксперимента образцы воды набирали из пробоотборника, установленного на выходном патрубке установки. Общее количество проб для двух установок составило 60 единиц. Для контроля качества воды был выбран метод определения бактерий кишечной палочки, так основной вид этой группы бактерий *E.coli* обладает одним из самых больших коэффициентов сопротивляемости к ультрафиолетовому обеззараживанию в общем ряду интеробактерий, в том числе и патогенных. Бактериологический анализ воды, как ключевой этап оценки эффективности обеззараживания, проводился внешней аккредитованной лабораторией [23], [24]. Итоговые результаты, приведенные в таблице 5., представляют собой усредненные значения. Для каждого экспериментального условия (режима работы установки) было выполнено по три параллельных анализа, а затем рассчитано среднее значение, что позволило повысить статистическую надежность выводов.

Таблица 5 - Результаты бактериологического анализа обработанной воды

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.70.16.7>

№ эксп.	Значение E.coli, КОЕ/100 см ³	
	SOV-UF-2,0	SOV-UF-5,0
1	Не обнаружено	Не обнаружено
2	Не обнаружено	Не обнаружено
3	Не обнаружено	Не обнаружено
4	Не обнаружено	Не обнаружено
5	Не обнаружено	Не обнаружено
6	Не обнаружено	Не обнаружено
7	Не обнаружено	Не обнаружено
8	1	Не обнаружено
9	2	Не обнаружено
10	2	Не обнаружено

Обсуждение

Из результатов таблицы 5. следует, что установки SOV-UF-2,0 и SOV-UF-5,0 обеспечивают биоцидное действие с высокой эффективностью, позволяющей использовать анализируемую воду в качестве питьевой. Однако, несмотря на высокую эффективность ультрафиолетового обеззараживания, необходимо учитывать типы используемых источников УФ-излучения и их возможное воздействие на физико-химические характеристики обрабатываемой воды. Разные типы ламп могут иметь различную спектральную мощность, срок службы и особенности эксплуатации, что влияет на стабильность и результативность обработки. Это подчёркивает важность дальнейших исследований, направленных на совершенствование и адаптацию УФ-технологий к различным условиям водоподготовки. Оптимизация параметров излучения, выбор эффективных конструкций установок и учёт свойств воды — всё это необходимо для обеспечения надёжного, безопасного и экологически чистого обеззараживания.

Заключение

Основные результаты и выводы:

1. Методы хлорирования, использующие газообразный хлор и его производные, широко применяются для обеззараживания воды из подземных и поверхностных источников. Современные исследования показали, что данные методы способствуют образованию в воде хлорорганических соединений, обладающих высокой токсичностью и способностью накапливаться в живых организмах, вызывать физиологические изменения, включая биологические реакции, и приводя к их гибели.

2. По сравнению с другими методами обеззараживания бактерицидный эффект не сопровождается образованием канцерогенных продуктов трансформации химических соединений в воде, что исключает опасность передозировки УФ-излучения.

3. Результаты работы позволят обратить внимание эксплуатирующих организаций на необходимость регулярного мониторинга условий работы УФ-систем для поддержания стабильного и качественного результата.

4. Проведенный микробиологический анализ образцов воды показал наличие общих колиформных бактерий при дозе облучения 19,84 мДж/см² и ниже. Установка SOV-UF-2,0 соответствует паспортным характеристикам завода-изготовителя, согласно которым эффективная доза 25 мДж/см² достигается при расходе 2,0 м³/ч.

5. В ходе эксперимента было выявлено, что расход и скорость воды в значительной степени влияют на интенсивности дозы облучения в установках. Полученные уравнения, описывающие ход эксперимента, позволят определять оптимальный расход воды для ее эффективного обеззараживания и использования по назначению. Таким образом, понимание и управление этими переменными позволит оптимизировать процесс ультрафиолетового обеззараживания, что, в свою очередь, повысит его эффективность и обеспечит безопасность обрабатываемой воды.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Красненко А.С., Научный центр изучения Арктики,
Надым Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.70.16.8>

Review

Krasnenko A.S., Arctic Research Center, Nadym Russian
Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.70.16.8>

Список литературы / References

1. Жолдакова З.И. Совершенствование требований к контролю безопасности питьевой воды при хлорировании / З.И. Жолдакова, Я.И. Лебедь-Шарлевич, Р.А. Мамонов и др. // Водоснабжение и санитарная техника. — 2019. — № 7. — С. 4–9.



2. Ажгиревич А.И. Получение, свойства и особенности применения хлора в средствах очистки воды / А.И. Ажгиревич // Экология урбанизированных территорий. — 2019. — № 4. — С. 96–104.
3. Лапенкова С.А. Обеззараживание питьевой воды хлором и хлорсодержащими веществами / С.А. Лапенкова // Энигма. — 2019. — № 16-2. — С. 166–173.
4. Аллес Е. Сравнение эффективности обезвреживания промышленных сточных вод методами хлорирования и ультрафиолетового облучения / Е. Аллес, А. Дягилева // Annali d'Italia. — 2022. — № 32. — С. 101–108.
5. White G.C. Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants / G.C. White // New York Wiley. — 2010. — № 5.
6. Li X.F. Drinking Water Disinfection Byproducts (DBPs) and Human Health Effects: Multidisciplinary Challenges and Opportunities / X.F. Li, W.A. Mitch // Environmental Science & Technology. — 2018. — № 52/4. — P. 1681–1689.
7. Рудаков В.О. Оценка эффективности обеззараживания ультрафиолетом (254 нм) водных растворов от фитопатогенных микроорганизмов / В.О. Рудаков, В.Л. Баранов, А.А. Ткачев // Овощи России. — 2023. — № 2. — С. 70–74.
8. Лебедев Н.М. Испытания комбинированного способа ультрафиолетового и ультразвукового обеззараживания сточных вод / Н.М. Лебедев, В.А. Грачев, А.Н. Арефьева // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. — 2020. — № 5 (149). — С. 24–28.
9. Костюченко С.В. УФ-технологии для обеззараживания воды, воздуха и поверхностей: принципы и возможности / С.В. Костюченко, А.А. Ткачев, Т.Н. Фроликова // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. — 2020. — № 19/5. — С. 112–119.
10. Ледяева Ю.В. Ультрафиолетовые установки для обеззараживания природных и сточных вод / Ю.В. Ледяева // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. — 2019. — № 9 (141). — С. 4–13.
11. Кудрявцев Н.Н. Комплексный метод применения ультразвука и ультрафиолета для обеззараживания воды / Н.Н. Кудрявцев, А.Д. Смирнов, А.А. Ткачев // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. — 2020. — № 1 (145). — С. 22–24.
12. Zhang L Measurement of the ultraviolet output of an underwater monochromatic (254 nm) low pressure-mercury ultraviolet lamp / L Zhang, Ye Song, J Zhang et al. // Journal of Environmental Engineering. — 2021. — № 147/4.
13. Богун П.В. Повышение энергоэффективности систем ультрафиолетового обеззараживания воды / П.В. Богун, Е.Г. Князева // Водоснабжение и санитарная техника. — 2020. — № 5. — С. 4–10.
14. Yao Sh Inactivation and photoreactivation of blandm-1-carrying super-resistant bacteria by UV, chlorination and UV/chlorination / Sh Yao, J Ye, J Xia // Journal of Hazardous Materials. — 2022. — № 439. — P. 129549.
15. Lipantev R.Y. Analysis of the effectiveness of disinfection of drinking water by ultraviolet exposure / R.Y. Lipantev, R.R. Akhmetzyanova // International Research Journal.. — 2025. — № 8 (158).
16. Пономаренко А.М. Опыт внедрения УФ-обеззараживания сточных вод на действующих сверхкрупных очистных сооружениях / А.М. Пономаренко, Д.Ю. Власов, Н.С. Басов // Водоснабжение и санитарная техника. — 2021. — № 1. — С. 49–55.
17. Ткачев А.А. УФ-обеззараживание сточных вод на городских очистных сооружениях Хабаровска / А.А. Ткачев, К.В. Домнин, Е.Е. Архипова // Вода Magazine. — 2017. — № 1 (113). — С. 24–27.
18. Жолдакова З.И. Ультрафиолетовое обеззараживание как элемент многобарьерной схемы очистки воды для защиты от патогенов, устойчивых к хлорированию / З.И. Жолдакова, Е.А. Тульская, С.В. Костюченко и др. // Гигиена и санитария. — 2017. — № 96/6. — С. 531–535.
19. Микаева С.А. Обеззараживание ультрафиолетовым излучением / С.А. Микаева, А.С. Микаева // Учебный эксперимент в образовании. — 2015. — № 1 (73). — С. 82–89.
20. Amir M.Kh. The use of ultraviolet / M.Kh. Amir // Actual Science. — 2022. — № 1 (48). — P. 22–27.
21. Abdikadyrov A. Modern directions for the development of the bactericidal range of UV sources / A. Abdikadyrov, N. Nurlanova // Universum: Technical Sciences. — 2022. — № 4-13 (97). — P. 28–33.
22. Wang H. Recent progress of ultraviolet and near-ultraviolet organic light-emitting diodes / H. Wang, Yu Zhu, F. Xie et al. // Chinese Journal of Luminescence. — 2023. — № 44/1. — P. 140–162.
23. СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий.
24. ГОСТ Р 70152-2022. Качество воды. Методы внутреннего лабораторного контроля качества проведения микробиологических и паразитологических исследований. — Москва: Стандартинформ, 2022.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zholdakova Z.I. Sovershenstvovanie trebovanij k kontrolyu bezopasnosti pit'evoy vody' pri xlorirovanii [Improving the requirements for monitoring the safety of drinking water during chlorination] / Z.I. Zholdakova, Ya.I. Lebed'-Sharlevich, R.A. Mamonov et al. // Water supply and sanitary engineering. — 2019. — № 7. — P. 4–9. [in Russian]
2. Azhgirevich A.I. Poluchenie, svoystva i osobennosti primeneniya xlora v sredstvax ochistki vody' [Preparation, properties and application features of chlorine in water purification products] / A.I. Azhgirevich // Ecology of urbanized territories. — 2019. — № 4. — P. 96–104. [in Russian]
3. Lapenkova S.A. Obezrazhivanie pit'evoy vody' xlorom i xlorosoderzhashhimi veshhestvami [Disinfection of drinking water with chlorine and chlorine-containing substances] / S.A. Lapenkova // Enigma. — 2019. — № 16-2. — P. 166–173. [in Russian]



4. Alles E. Sravnenie e'ffektivnosti obezvrezhivaniya promy'shlenny'x stochny'x vod metodami xlorirovaniya i ul'traioletovogo oblucheniya [Comparison of the effectiveness of industrial wastewater treatment by chlorination and ultraviolet irradiation] / E. Alles, A. Dyagileva // *Annali d'Italia*. — 2022. — № 32. — P. 101–108. [in Russian]
5. White G.C. Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants / G.C. White // New York Wiley. — 2010. — № 5.
6. Li X.F. Drinking Water Disinfection Byproducts (DBPs) and Human Health Effects: Multidisciplinary Challenges and Opportunities / X.F. Li, W.A. Mitch // *Environmental Science & Technology*. — 2018. — № 52/4. — P. 1681–1689.
7. Rudakov V.O. Ocenka e'ffektivnosti obezzarzhivaniya ul'traioletom (254 nm) vodny'x rastvorov ot fitopatogeny'x mikroorganizmov [Evaluation of the effectiveness of disinfection with ultraviolet (254 nm) of aqueous solutions from phytopathogenic microorganisms] / V.O. Rudakov, V.L. Baranov, A.A. Tkachev // *Vegetables of Russia*. — 2023. — № 2. — P. 70–74. [in Russian]
8. Lebedev N.M. Ispy'taniya kombinirovannogo sposoba ul'traioletovogo i ul'trazvukovogo obezzarzhivaniya stochny'x vod [Testing of a combined method of ultraviolet and ultrasonic disinfection of wastewater] / N.M. Lebedev, V.A. Grachev, A.N. Aref'eva // *Water treatment. Water treatment. Water supply*. — 2020. — № 5 (149). — P. 24–28. [in Russian]
9. Kostyuchenko S.V. UF-texnologii dlya obezzarzhivaniya vody', vozduxa i poverxnostej: principy' i vozmozhnosti [UV technologies for disinfection of water, air and surfaces: principles and possibilities] / S.V. Kostyuchenko, A.A. Tkachev, T.N. Frolikova // *Epidemiology and vaccine prevention*. — 2020. — № 19/5. — P. 112–119. [in Russian]
10. Ledyayeva Yu.V. Ul'traioletovy'e ustanovki dlya obezzarzhivaniya prirodny'x i stochny'x vod [Ultraviolet installations for disinfection of natural and waste waters] / Yu.V. Ledyayeva // *Water treatment. Water treatment. Water supply*. — 2019. — № 9 (141). — P. 4–13. [in Russian]
11. Kudryavcev N.N. Kompleksny'j metod primeneniya ul'trazvuka i ul'traioleta dlya obezzarzhivaniya vody' [A comprehensive method of using ultrasound and ultraviolet radiation for disinfection of water] / N.N. Kudryavcev, A.D. Smirnov, A.A. Tkachev // *Water treatment. Water treatment. Water supply*. — 2020. — № 1 (145). — P. 22–24. [in Russian]
12. Zhang L Measurement of the ultraviolet output of an underwater monochromatic (254 nm) low pressure-mercury ultraviolet lamp / L Zhang, Ye Song, J Zhang et al. // *Journal of Environmental Engineering*. — 2021. — № 147/4.
13. Bogun P.V. Povy'shenie e'nergoe'ffektivnosti sistem ul'traioletovogo obezzarzhivaniya vody' [Improving the energy efficiency of ultraviolet disinfection systems] / P.V. Bogun, E.G. Knyazeva // *Water supply and sanitary engineering*. — 2020. — № 5. — P. 4–10. [in Russian]
14. Yao Sh Inactivation and photoreactivation of blandm-1-carrying super-resistant bacteria by UV, chlorination and UV/chlorination / Sh Yao, J Ye, J Xia // *Journal of Hazardous Materials*. — 2022. — № 439. — P. 129549.
15. Lipantev R.Y. Analysis of the effectiveness of disinfection of drinking water by ultraviolet exposure / R.Y. Lipantev, R.R. Akhmetzyanova // *International Research Journal*. — 2025. — № 8 (158).
16. Ponomarenko A.M. Opy't vnedreniya UF-obezzarzhivaniya stochny'x vod na dejstvuyushhix sverxkrupny'x ochistny'x sooruzheniyax [The experience of introducing UV disinfection of wastewater at existing super-large sewage treatment plants] / A.M. Ponomarenko, D.Yu. Vlasov, N.S. Basov // *Water supply and sanitary engineering*. — 2021. — № 1. — P. 49–55. [in Russian]
17. Tkachev A.A. UF-obezzarzhivanie stochny'x vod na gorodskix ochistny'x sooruzheniyax Xabarovska [UV disinfection of wastewater at urban wastewater treatment plants in Khabarovsk] / A.A. Tkachev, K.V. Domnin, E.E. Arxipova // *Water Magazine*. — 2017. — № 1 (113). — P. 24–27. [in Russian]
18. Zholdakova Z.I. Ul'traioletovoe obezzarzhivanie kak e'lement mnogobar'ernoj sxemy' ochistki vody' dlya zashhity' ot patogenov, ustojchivy'x k xlorirovaniyu [Ultraviolet disinfection as an element of a multi-barrier water purification scheme to protect against chlorination-resistant pathogens.] / Z.I. Zholdakova, E.A. Tul'skaya, S.V. Kostyuchenko et al. // *Hygiene and Sanitation*. — 2017. — № 96/6. — P. 531–535. [in Russian]
19. Mikaeva S.A. Obezzarzhivanie ul'traioletovy'm izlucheniem [Disinfection with ultraviolet radiation] / S.A. Mikaeva, A.S. Mikaeva // *Educational experiment in education*. — 2015. — № 1 (73). — P. 82–89. [in Russian]
20. Amir M.Kh. The use of ultraviolet / M.Kh. Amir // *Actual Science*. — 2022. — № 1 (48). — P. 22–27.
21. Abdikadyrov A. Modern directions for the development of the bactericidal range of UV sources / A. Abdikadyrov, N. Nurlanova // *Universum: Technical Sciences*. — 2022. — № 4-13 (97). — P. 28–33.
22. Wang H. Recent progress of ultraviolet and near-ultraviolet organic light-emitting diodes / H. Wang, Yu Zhu, F. Xie et al. // *Chinese Journal of Luminescence*. — 2023. — № 44/1. — P. 140–162.
23. SanPiN 2.1.3684-21. Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k sodержaniyu territorij gorodskix i sel'skix poselenij, k vodnym ob'ektam, pit'evoj vode i pit'evomu vodosnabzheniyu, atmosfernomu vozduhu, pochvam, zhilym pomeshcheniyam, ekspluatatsii proizvodstvennyh, obshchestvennyh pomeshchenij, organizatsii i provedeniyu sanitarno-protivoepidemicheskix (profilakticheskix) meropriyatij [Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking water supply, atmospheric air, soils, residential premises, operation of industrial and public premises, organization and conduct of sanitary and anti-epidemic (preventive) measures]. [in Russian]
24. GOST R 70152-2022. Kachestvo vody. Metody vnutrennego laboratornogo kontrolya kachestva provedeniya mikrobiologicheskix i parazitologicheskix issledovaniy [Water quality. Methods of internal laboratory quality control of microbiological and parasitological studies]. — Moscow: Standartinform, 2022. [in Russian]