

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ОЧИСТКЕ ВОДЫ

Ракова А.Ю., студентка 2 курса инженерного факультета,
тел. 8 (902) 127-42-03, anna.rakova.2000@mail.ru

Курдюмов В.И., доктор технических наук, профессор,
тел. 8(8422) 55-95-95, bgdie@yandex.ru

Павлушин А.А., доктор технических наук, профессор,
тел. 8(8422) 55-95-41, andrejpravlu@yandex.ru

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

***Ключевые слова:** очистка воды, ультрафиолетовое излучение, инактивация, ультрафиолетовые светодиоды, длина волны.*

Работа посвящена влиянию ультрафиолетового (УФ) излучения на инактивацию микроорганизмов. Предложено для очистки питьевой воды использовать комбинированный способ очистки, на последней операции которого применяют УФ светодиоды, излучающие ультрафиолет UVC с длиной волны, меньшей 280 нм.

Введение. Проблема очистки воды в настоящее время приобретает все большую актуальность. Огромное количество поступающих в окружающую среду сточных вод городов, мегаполисов, промышленных и сельскохозяйственных объектов приводит к резкому ухудшению качества еще в сравнительно недавнее время использовавшейся для нужд населения питьевой воды не только из открытых водоемов, но и из артезианских источников. Все большее количество источников воды

теряет свою ценность. В большинстве используемых в настоящее время устройствах для очистки воды, как правило, заложен один принцип очистки, чаще всего механический. Однако с помощью таких устройств невозможно добиться требуемого качества очистки воды. Поэтому задача подготовки качественной питьевой воды на современном этапе развития общества приобретает все большую актуальность.

Материалы и методы исследования. Ученые и практики все чаще заявляют о важности применения ультрафиолетового (УФ) излучения при обработке воды [1]. УФ излучение имеет большую длину волны, чем рентгеновские лучи, и меньшую длину волны, чем видимый свет. Как метод очистки воды, УФ-излучение является эффективным дезинфицирующим средством благодаря своей сильной бактерицидной (инактивирующей) способности. УФ-излучение дезинфицирует воду, содержащую бактерии и вирусы, и может быть эффективно против простейших. Метод УФ обеззараживания и очистки питьевой воды известен с начала XIX века, но тогда он был заброшен из-за высоких эксплуатационных расходов и ненадежного оборудования. Однако к настоящему времени УФ-излучение быстро распространяется как в муниципальных, так и в бытовых системах очистки питьевой воды. Например, в Европе работают более 2000 крупных установок для УФ очистки воды.

Дезинфекционные системы, сертифицируемые и классифицированные NSF, подразделяют на два класса – класс А и класс В [2].

Системы ультрафиолетовой очистки воды класса А должны иметь оценку "интенсивность и насыщенность" не менее 40 мВт·с/см² и позволять дезинфицировать и/или

удалять бактерии и вирусы из воды. Системы класса А не предназначены для очистки сточных вод и их преобразования в питьевую воду. Такие системы устанавливают только при наличии чистой воды.

УФ системы очистки воды класса В должны иметь оценку 'интенсивность и насыщенность' не менее 16 мВт·с/см² и обеспечивать дополнительную бактерицидную обработку воды, уже считающейся "безопасной" [2]. УФ-системы класса В предназначены только для снижения количества обычно встречающихся непатогенных микроорганизмов и не предназначены для обеззараживания микробиологически небезопасной воды.

Поэтому тип установки зависит от конкретной ситуации, от источника воды и ее качества воды. Требуемая доза УФ излучения зависит от чистоты воды. Если ее мутность превышает 5 единиц мутности (ЕМ) на 1 л, то обязательна предварительная фильтрация воды, для чего перед системой УФ-дезинфекции устанавливают фильтр с диаметром пор 5...20 мкм [3].

УФ-излучение имеет три зоны длин волн: А (UVA), В (UVB) и С (UVC), но именно последняя коротковолновая область UVC обладает ярко выраженными бактерицидными свойствами и используется для дезинфекции. Такое излучение обычно получают с помощью ртутных дуговых ламп низкого давления, которые дают почти монохроматическое УФ-излучение на длине волны $\lambda = 254$ нм. Такая λ находится в оптимальном диапазоне поглощения УФ-энергии нуклеиновыми кислотами (240...280 нм). УФ лучи с такой длиной волны нарушают структуру ДНК микроорганизмов, предотвращая их размножение. При этом микроорганизмы остаются в воде в инактивированном виде. Минимально допустимой дозой УФ

облучения считают 16 мВт·с/см². Однако максимально гарантированный эффект от УФ обработки получают при дозе 70 мВт·с/см², хотя большинство производителей считают вполне достаточной дозу 30...50 мВт·с/см².

Результаты и их обсуждение. Ниже представлена таблица, в которой указано время, необходимое для инактивации того или иного микроорганизма при конкретных параметрах УФ-излучения.

Таблица 1 - Время УФ-облучения до инактивации некоторых микроорганизмов при дозе 30 мВт·с/см² и длине волны 254 нм

Наименование микроорганизма	100 % летальная доза, с	Наименование микроорганизма	100 % летальная доза, с
Бактерии			
<i>Leptospira SPP</i>	0,2	<i>Salmonella Paratyphi</i>	0,41
<i>Escherichia coli</i>	0,36	<i>Streptococcus Haemolyticus</i>	0,45
<i>Clostridium Tetani</i>	0,33	<i>Vibrio Cholerae</i>	0,64
<i>Pseudomonas Aeruginosa</i>	0,37	<i>Staphylococcus Albus</i>	1,23
Вирусы			
<i>Influenza</i>	0,23	<i>Hepatitis B Virus</i>	0,73
<i>Rotavirus SA 11</i>	0,52	<i>Poliovirus 1</i>	0,8
Споры плесени			
<i>Penicillium Digitatum</i>	0,87	<i>Aspergillus Niger</i>	6,67
Водоросли			
<i>Chlorella Vulgaris</i>	0,93	<i>Protozoa</i>	4...6,7
<i>Green Algae</i>	1,22	<i>Blue-Green Algae</i>	10...40

Результаты исследований показывают, что микроорганизмы очень чувствительны к УФ-излучению. При этом криптоспоридии и лямблии более чувствительны, чем бактерии, а вирусы более устойчивы, чем бактерии. Максимальный инактивирующий эффект наблюдается при длине волны УФ-излучения 250...270 нм (рисунок).

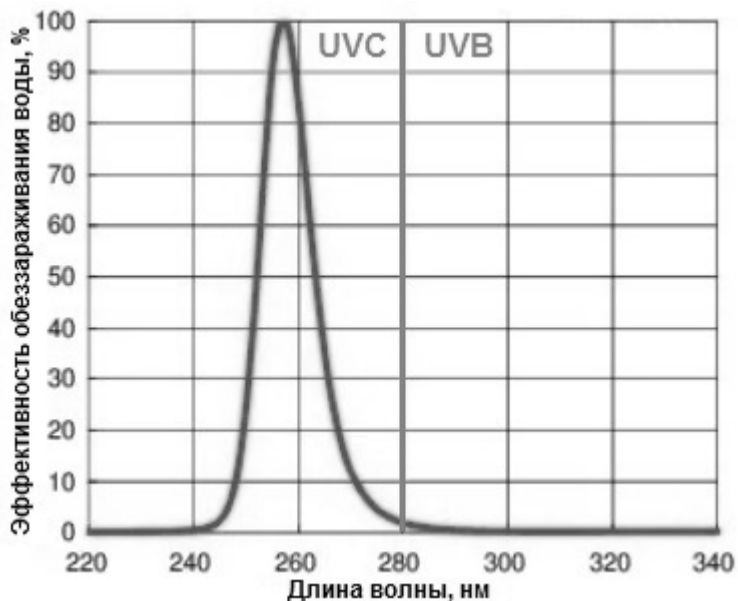


Рисунок 1 - Кривые бактерицидной эффективности УФ-излучения

Для повышения качества подготовки питьевой воды нами предложено использовать устройство для очистки воды, реализующее комбинированный способ очистки, последней операцией которого является УФ-облучение воды с помощью УФ-светодиодов. Их типоразмеры позволяют получить излучаемую мощность от 2,5 мВт до 100 мВт. Предварительные операции очистки воды необходимы для удаления цвета, мутности и частиц, которые защищают микроорганизмы от УФ источника. Также при высокой минерализации воды эффективность УФ обработки снижается. Мутность воды не должна превышать 5 ЕМ/л, концентрация взвешенных твердых веществ – 10 мг/л, Fe - < 0,3 мг/л, Mn < 0,05 мг/л при pH очищаемой воды 6,5...9,5 [4].

Для облучения воды в устройстве применены УФ-светодиоды, излучающие ультрафиолет с длиной волны 254 нм, например, GL255-6868G, в которых реализована полупроводниковая гетероструктура Al-Ga-In-P. Также довольно эффективны светодиоды KL265-50U-SM-WD компании Klaraan, дающие излучение мощностью 60 мВт при длине волны 265 нм.

На предварительных этапах вода в предлагаемом устройстве подвергается обработке ультразвуком, центробежной очистке, фильтруется и только затем проходит УФ-обработку [5]. При использовании разработанного устройства для очистки и обеззараживания воды достигается требуемая эффективность ее подготовки к использованию в качестве питьевой.

Заключение. Предлагаемое устройство, использующее комбинированный способ подготовки воды с заключительной операцией ее УФ-облучения, реализуемой с помощью УФ-светодиодов с длиной волны 265...254 нм, позволяет с низкими энергозатратами обеспечить требуемую эффективность подготовки питьевой воды.

Библиографический список

1. УФ-обеззараживание воды: суть новой технологии очистки и сферы ее применения. URL: <https://biokit.ru/video-instructions/uf-obezzarazhivanie-vody/> (дата обращения: 24.04.2021). – Режим доступа: свободный.

2. Патент 2734879 Российская Федерация, МПК C02F 1/32. Устройство для очистки и обеззараживания воды / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, А.Ю. Ракова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. – Заявка № 2020108718, заявл. 27.02.2020; опубл. 23.10.2020 Бюл. № 30.

3. Патент 2734880 Российская Федерация, МПК C02F 11/00. Устройство для очистки и обеззараживания воды / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, А.Ю. Ракова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. – Заявка № 2020108720, заявл. 27.02.2020; опубл. 23.10.2020 Бюл. № 30.

4. Патент 2736990 Российская Федерация, МПК C02F 1/32, C02F 1/36. Устройство для очистки и обеззараживания воды / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, А.Ю. Ракова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. – Заявка № 2020108719, заявл. 27.02.2020; опубл. 23.11.2020 Бюл. № 33.

5. Патент 2736991 Российская Федерация, МПК C02F 1/32, C02F 1/36, C02F 1/78. Устройство для очистки и обеззараживания воды / В.И. Курдюмов, А.А. Павлушин, А.Ю. Ракова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. – Заявка № 2020108721, заявл. 27.02.2020; опубл. 23.11.2020 Бюл. № 33.

FEATURES OF THE USE OF UV RADIATION IN WATER TREATMENT

Rakova A. Yu., Kurdyumov V. I., Pavlushin A. A.

Key words: water purification, ultraviolet radiation, inactivation, ultraviolet LEDs, wavelength.

The work is devoted to the influence of ultraviolet (UV) radiation on the inactivation of microorganisms. It is proposed to use a combined cleaning method for drinking water purification, the last operation of which uses UV LEDs that emit ultraviolet UVC with a wavelength less than 280 nm.