

УФ-технологии для обеззараживания воды, воздуха и поверхностей: принципы и возможности

С. В. Костюченко¹, А. А. Ткачев², Т. Н. Фроликова^{*3}

¹ ООО «ПК ЛИТ»

² ООО «ТД ЛИТ»

³ ООО «СВ-Инжиниринг М»

Резюме

Актуальность. Ультрафиолетовое бактерицидное излучение уже более 30 лет широко применяется для обеззараживания воды, воздуха и поверхностей. В настоящее время УФ-технологии динамично внедряются в различные сферы народного хозяйства – промышленность, медицину, коммунальное хозяйство, энергетику, транспорт, сельское хозяйство и т. д. **Цель** данного обзора – охарактеризовать возможности УФ-излучения для обеззараживания воды, воздуха и поверхностей. **Выводы.** В последние годы наблюдается динамичный рост использования УФ-излучения для решения задач обеззараживания и очистки воздуха в системах воздухопроводов и кондиционирования зданий целиком. Глобальные миграции и коммуникации населения по всей планете обострили ситуацию с распространением инфекционных заболеваний, передающихся воздушно-капельным путем. Эпидемии в последние десятилетия уже перестали быть локальным территориальным явлением, ярким примером является текущая глобальная пандемия коронавирусной инфекции COVID-19, вызванная коронавирусом SARS-CoV-2. В медицине предъявляются наиболее высокие требования к дезинфекции воздуха и поверхностей с высокой степенью обеззараживания. Для решения этой задачи необходимо особое внимание уделять современным разработкам в области применения УФ-технологий с учетом эффективных УФ-доз в отношении различных видов микроорганизмов.

Ключевые слова: ультрафиолет, УФ-излучение, УФ-обеззараживание, УФ-доза, УФ-лампы, УФ-облучатели, рециркуляторы, профилактика ИСМП, микроорганизмы, коронавирус, SARS-CoV-2, COVID-19, дезинфекция, обеззараживание

Конфликт интересов не заявлен.

Для цитирования: Костюченко С. В., Ткачев А. А., Фроликова Т. Н. УФ-технологии для обеззараживания воды, воздуха и поверхностей: принципы и возможности. Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. 2020; 19 (5): 112–119. <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2020-19-5-112-119>.

UV-Technologies for Disinfection of Water, Air and Surfaces: Principles and Possibilities

SV Kostuchenko¹, AA Tkachev², TN Frolikova^{*3}

¹ ООО «ПК ЛИТ»

² ООО «ТД ЛИТ»

³ LLC «SV-Engineering M»

Abstracts

Relevance. For over 30 years, ultraviolet bactericidal radiation has been widely used to disinfect water, air and surfaces. Currently, UV technologies are being dynamically introduced into various spheres of the national economy – industry, medicine, utilities, energy, transport, agriculture, etc. **Aims** of this message to present the possibilities of UV radiation for the disinfection of water, air, and surfaces. **Conclusions.** The task of disinfecting natural and waste waters was the driver of the development of UV technologies in the last 30 years. The scale of this task forced the world's leading institutions and lighting companies to raise the development and production of UV radiation sources (UV lamps) to a new level. In recent years, is in the usage of UV radiation for disinfection of air and air conditioning systems of buildings as a whole. Global migrations and communications of the population around the planet have aggravated the situation with the spread of infectious diseases transmitted by airborne droplets. In last decades, epidemics have ceased to be a local territorial phenomenon. A prime example is the current global COVID-19 pandemic caused by the SARS-CoV-2 coronavirus. In medicine, the highest requirements are imposed on the disinfection of air and surfaces with a high degree of disinfection. To solve this problem, it is necessary to pay special attention to modern developments in the application of UV technologies, taking into account the effective UV doses in relation to various types of microorganisms.

Keywords: ultraviolet, UV radiation, UV disinfection, UV dose, UV lamps, UV irradiators, recirculators, prevention of healthcare associated infection, microorganisms, coronavirus, SARS-CoV-2, COVID-19, disinfection

No conflict of interest to declare.

For citation: SV Kostuchenko, AA Tkachev, Frolikova TN. UV-Technologies for Disinfection of Water, Air and Surfaces: Principles and Possibilities. Epidemiology and Vaccinal Prevention. 2020; 19 (5): 112–119 (In Russ.). <https://doi.org/10.31631/2073-3046-2020-19-5-112-119>.

* Для переписки: Фроликова Татьяна Николаевна – к. фарм. н., директор по развитию ООО «СВ-Инжиниринг М», Москва, 125047, 1-й Тверской-Ямской пер., д. 11. +7 (916) 654-55-06, sving.med@mail.ru © Костюченко С. В. и др.

** For correspondence: Frolikova Tatiana N., Cand. Sci. (Pharm.), Research and Development Director of LLC «SV-Engineering M», 1 Tverskoy-Yamskoy pereulok, 11, Moscow, 125047. +7 (916) 654-55-06, sving.med@mail.ru. ©Kostuchenko SV et al.

Обеззараживание с использованием ультрафиолетового излучения давно уже вошло в арсенал методов борьбы с распространением инфекционных заболеваний. Физический его принцип известен с начала XX века, но широкое распространение, фактически «второе рождение», произошло в 80-е годы прошлого столетия. В основном это было связано с использованием ультрафиолета для обеззараживания питьевой воды в США и Европе.

В настоящее время наблюдается значительный рост использования УФ-технологии в медицине, в частности, в значительной степени этот рост обусловлен совершенствованием мер профилактики инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (ИСМП).

Принцип УФ-обеззараживания

Обеззараживание ультрафиолетовым излучением (УФ-обеззараживание) – это физический метод, суть которого заключается в том, что под воздействием фотонов жесткого ультрафиолета диапазона С (с длиной волны 254 нм) в молекулах ДНК и РНК образуются так называемые «тиминовые димеры», которые не позволяют реплицировать геномный материал, а значит, клетка не может размножаться. Такая клетка называется инактивированной.

УФ-обеззараживание эффективно в отношении самого широкого спектра микробиологических загрязнителей, так как у клеток нет механизма, который бы гарантированно защищал их от бактерицидного излучения. Разнообразные микроорганизмы обладают различной чувствительностью к УФ-воздействию: наиболее чувствительны бактерии в вегетативной форме и паразитарные простейшие, менее чувствительны вирусы и споровые формы бактерий, наиболее устойчивы – грибы и плесени. Критерием для сопоставления чувствительности микроорганизмов к воздействию ультрафиолетового бактерицидного излучения является количество энергии, необходимое для достижения заданной степени обеззараживания. За меру бактерицидной энергии излучения принята доза облучения (УФ-доза), которая представляет собой произведение интенсивности облучения на время облучения и выражается в мДж/см² или в Дж/м². Каждому виду микроорганизма требуется определенная УФ-доза для инактивации. Международная ультрафиолетовая ассоциация IUVA (International Ultraviolet Association) периодически проводит ревизию всех известных исследований и публикует список УФ-доз для инактивации различных видов микроорганизмов в журнале UV Solutions (ранее имел название IUVA News). Последняя публикация была подготовлена в 2016 г. [1].

Важно отметить, что в мировой практике используется понятие-термин «поверхностная бактерицидная доза» или «флуенс» для обеззараживания воды и воздуха в объеме. Использование понятия

«объемная бактерицидная доза» не применяется в мировой практике, так как в него закладывается слишком много допущений, которые делают его применение некорректным во многих случаях. Например, предполагается, что УФ-излучение равномерно распределено по всему объему помещения, в котором осуществляется интенсивное и равномерное перемешивание воздуха (что не всегда встречается на практике), или помещение имеет правильную форму (часто помещения имеют вытянутую или иную сложную форму). Поэтому в современных расчетах и рекомендациях по подбору УФ-оборудования во всем мире, кроме России, используют только поверхностную дозу.

УФ-обеззараживание воды

Водоподготовка. В современной концепции развития коммунальных систем водоподготовки УФ-обеззараживание служит основой принципа мультибарьерности при обеззараживании воды. Суть принципа в том, что применяется не одна технология обеззараживания, а несколько, совокупность которых позволяет сглаживать недостатки отдельных технологий. Наиболее широкое распространение получило объединение ультрафиолета (который является барьером для патогенных микроорганизмов, в том числе вирусов и простейших) и хлорирования (обеспечивающего сохранность полученного качества воды в трубах). Такие системы установлены в городах Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде, Екатеринбурге, Нью-Йорке, Париже, Вене, Будапеште. Многие города с относительно короткими водопроводными сетями вообще отказываются от хлорирования и переходят только на УФ-обеззараживание, например, Берлин, Антверпен.

Очистка сточных вод. Так как УФ-обеззараживание никак не изменяет свойств воды во время и после процесса облучения, то метод нашел широкое применение в обеззараживании сточных вод. Классическое хлорирование сточных вод наносит значительный и непоправимый урон биоценозам водоемов, а образующиеся хлорорганические соединения зачастую являются канцерогенами. Поэтому современные нормативы отдают предпочтение УФ-обработке. Крупнейшая в мире УФ-станция обработки сточных вод находится в Москве, это Курьяновские очистные сооружения (рис. 2). Глобальная государственная программа по переходу с хлорирования сточных вод на УФ-обеззараживание прошла за последние 15 лет в Южной Корее.

Повторное использование сточных вод. Наибольшую актуальность приобретает ультрафиолет в системах повторного использования сточных вод, особенно для полива. Ведь УФ позволяет инактивировать в сточной воде все патогенные микроорганизмы и снизить общую микробную загрязненность до минимального уровня. И такую сточную воду можно использовать для полива не только газонов, но и сельскохозяйственных культур.

Рисунок 1. Примеры УФ-станций питьевого водоснабжения в Берлине, Будапеште, Санкт-Петербурге и Вене
Figure 1. Examples of drinking water application UV systems in Berlin, Budapest, St. Petersburg and Vienna



Рисунок 2. Примеры УФ-обеззараживания сточных вод: г. Оранж (Франция), г. Шатоле (Франция), г. Гуми (Южная Корея), Москва (Россия)
Figure 2. Examples of wastewater UV disinfection plants: Orange (France), Chateaulin (France), Gumi (South Korea), Moscow (Russia)



Сегодня особую актуальность приобретает применение современных установок для УФ-обеззараживания воды с использованием высокоомощных амальгамных УФ-ламп (мощностью от 300 до 900 Вт) длиной до 2,5 м, которые позволяют обеспечивать высокие УФ-дозы.

УФ-дозы. Для подготовки питьевой воды в российской нормативной базе применяются УФ-дозы 25 и 40 мДж/см² [2]. Ранее рекомендовалась к использованию доза 16 мДж/см² [3], но сейчас она признана недостаточной для эффективной борьбы с вирусным и паразитологическим загрязнением. Европейские нормативы на питьевое водоснабжение, например, немецкий DIN 19294 [4] или австрийский ÖNORM M 5873 [5], допускают использование УФ-дозы не менее 40 мДж/см².

Для обеззараживания сточных вод в РФ нормируется УФ-доза не менее 30 мДж/см² [2,6]. Применение более низких доз не позволяет обеспечить эффективное удаление патогенов вирусной природы. В случае повторного использования сточных вод применяются ещё более высокие УФ-дозы: от 40 до 80 мДж/см².

УФ-обеззараживание воздуха и поверхностей

Наряду с водным применением УФ-обеззараживание находит своё широкое применение для обеззараживания воздуха и поверхностей. Для обеззараживания воздуха в помещении в присутствии человека применяются безопасные для человека УФ-облучатели закрытого типа (рециркуляторы), в которых УФ-лампы помещены в защитный корпус, не допускающий выход ультрафиолета наружу. В отсутствие человека применяются УФ-облучатели открытого типа, которые обеспечивают дезинфекцию не только воздуха, но и поверхностей в помещении.

В связи с пандемией COVID-19 и поиском различных новых решений обеззараживания стали появляться сообщения о том, что ультрафиолет с длиной волны 200-225 нм («дальний УФ-С») может обеспечивать эффективное обеззараживание, при этом не повреждает кожу и глаза человека, а значит, его можно применять в УФ-облучателях открытого типа в присутствии человека. Однако согласно заявлению IUVA [7], опубликованному в июле 2020 г., достоверных данных о безопасности такого излучения нет. Поэтому обеззараживание воздуха и поверхности УФ-облучателем открытого типа можно проводить только в отсутствие человека.

В США несколько десятилетий назад в госпиталях были распространены системы УФ-обеззараживания открытого типа, которые располагались в верхней части помещения на уровне не менее 1,7 метра от пола, так называемые системы «upper room». Однако такие системы уже практически не применяются в настоящее время из-за требований к высоте потолков, экономических соображений и факта обеззараживания только воздуха

в помещении, дезинфекция поверхностей при этом отсутствует. В России, согласно СанПиН 2.1.3.2630-10, вообще не допускается наличие излучения с длиной волны от 200 до 280 нм в помещениях лечебно-профилактических организациях (ЛПО) в присутствии человека.

В настоящее время в медицинских учреждениях широкое применение находят высокоомощные УФ-системы открытого типа (рис. 3). Например, в России разработаны и выпускаются современные УФ-облучатели, в которых используются мощные (200–500 Вт) амальгамные УФ-лампы. Мощность таких УФ-ламп позволяет обеспечивать высокую дозу ультрафиолета (не менее 25 мДж/см²), при этом дальность действия составляет 6 и более метров, и ими можно обработать за короткий промежуток времени (5–15 минут) помещения объемом до 300 м³.

Основным стимулом для развития производства мощных УФ-систем стала профилактика инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи. Очень важно помнить, что у микроорганизмов применение УФ-облучения не вызывает развития устойчивости, в отличие от химических дезинфицирующих средств и антибиотиков. Вот почему УФ-облучатели следует использовать как для обеззараживания палат при смене пациентов, так и для обеззараживания помещений с повышенными требованиями к чистоте, например, в кабинетах для инвазивных процедур и в операционных. При высокой загрузке таких помещений (например, в одной операционной за день проводят 10 и более операций) предъявляются высокие требования к длительности дезинфекции для подготовки помещения к работе. Использование мощных приборов для УФ-облучения открытого типа позволяет уменьшить время обеззараживания до нескольких минут, что увеличивает продолжительность использования помещения по целевому назначению.

Последние годы УФ-обеззараживание активно применяется в системах воздухоподготовки и кондиционирования зданий целиком. Ещё в 2008 г. в докладе Американского агентства по защите окружающей среды «Критическая оценка технологий очистки воздуха в зданиях» [8] УФ-обеззараживание было названо наиболее эффективной технологией для борьбы с биологическими загрязнителями в системах воздуховодов и кондиционеров зданий. Одним из важных факторов авторы называли возможность достаточно простой интеграции УФ-оборудования в уже существующие системы вентиляции и кондиционирования.

В системах вентиляции и кондиционирования зданий тоже находит применение принцип эффективного комбинирования технологий: сочетание фильтрации (класса G или F) и УФ-облучения позволяет более экономично решать задачу обеззараживания по сравнению, например, с использованием фильтров HEPA (англ. High Efficiency

Рисунок 3. Различные модели высокомоощных настенных и передвижных облучателей открытого типа
Figure 3. Different models of high powerful wall-mounted and movable open irradiators



Рисунок 4. УФ-обработка облучателем открытого типа вагона в одном из депо Московского метрополитена
Figure 4. UV disinfection by usage of open irradiators in one of train depot of Moscow underground

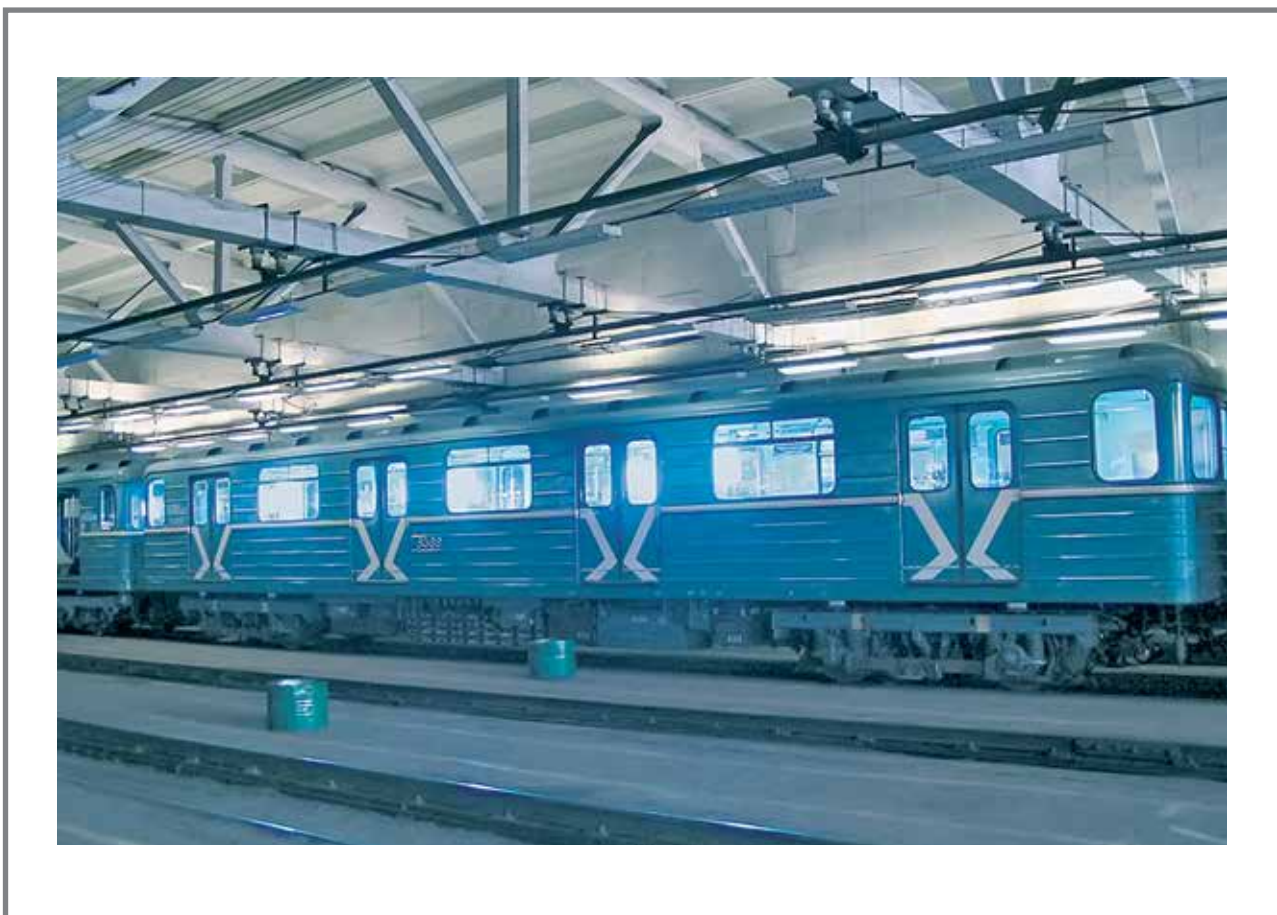


Таблица 1. УФ-дозы для обеззараживания различных видов микроорганизмов
Table 1. UV doses for multiple disinfection efficiency for various microorganisms

Микроорганизм Microorganism	Требуемая УФ-доза (мДж/см ²) при степени обеззараживания (эффективности) Required UV dose (mJ/cm ²) for the disinfection efficiency			Источник Reference
	90%	95%	99,9%	
Золотистый стафилококк (<i>Staphylococcus aureus</i>)	4,9	5,7	6,6	[10]
Кишечная палочка (<i>Escherichia coli</i>)	3,0	4,5	6,6	[10]
Синегнойная палочка (<i>Pseudomonas aeruginosa</i>)	5,5	7,6	10,5	[10]
Сальмонелла (<i>Salmonella sp.</i>)	2–8	4–11	6–15	[10]
Микобактерия туберкулеза (<i>Mycobacterium tuberculosis</i>)	5,4	7,4	10	[10]
Вирус гриппа (<i>Influenza virus</i>)	3,6	4,9	6,6	[10]
Вирус полиомиелита (<i>Poliovirus</i>)	11	15,7	21	[10]
Ротавирус (<i>Rotavirus</i>)	13	17	24	[10]
Клебсиелла пневмонии (<i>Klebsiella pneumoniae</i>)	12	14	17,5	[11]
<i>Acinetobacter baumannii</i>	3,3	–	–	[12]
Грибки рода <i>Penicillium</i> (<i>Penicillium sp.</i>)	12-14	16–18	22–26	[10]
Коронавирусы (<i>Coronaviridae</i>)	–	–	10–20	[13]

Particulate Air или High Efficiency Particulate Arrestance – высокоэффективное удержание частиц).

В связи с пандемией новой коронавирусной инфекции многие, в основном европейские, государства (такие как Нидерланды, Великобритания) стали пересматривать свою политику в отношении систем безопасности общественных мест и учреждений в сторону ужесточения требований к обеззараживанию подаваемого воздуха, в том числе и предполагая использование УФ-обеззараживания. Важно отметить, что этот опыт необходимо использовать при реконструкции и проектировании зданий в системе ЛПО.

Также имеется практика использования УФ-облучения для обеззараживания воздуха и поверхностей в транспортных системах. Ярким примером может служить Московский метрополитен. Влажная уборка вагонов в депо с применением дезинфектантов не устраняет полностью обсемененность внутренних поверхностей вагона: например, после такой уборки пропативные стадии паразитарных возбудителей обнаруживаются в 44% проб по сравнению с необработанными вагонами [9, стр. 283]. Поэтому для обеззараживания внутренних поверхностей вагонов используются специальные облучатели открытого типа

(см. рис. 4). Применение амальгамных ламп, в которых ртуть находится в связанном твердом состоянии – амальгаме, позволяет исключить загрязнение ртутью подвижного состава и избежать процесса демеркуризации при повреждении ламп. В результате УФ-обработки эффективность обеззараживания на всех поверхностях вагона (включая и резиновые поверхности) превышает 99% по общему микробному числу (ОМЧ) и яйцам гельминтов. При искусственном заражении поверхностей вагона золотистым стафилококком (SA, штамм 906) эффективность обеззараживания составляет 100% [9, стр. 283].

УФ-дозы

В российской нормативной базе, связанной с УФ-облучением воздуха и поверхностей, нет четко указанных единых или унифицированных УФ-доз. Предполагается, что УФ-доза выбирается в зависимости от целевого микроорганизма и требуемой степени обеззараживания. Обычно для анализа бактерицидной обсемененности помещений медицинских организаций принято использовать санитарно-показательные микроорганизмы (золотистый стафилококк, синегнойную палочку, сальмонеллы и бактерии группы кишечной палочки), наличие которых говорит

о возможном присутствии в данном месте патогенных микроорганизмов. В таблице 1 представлены УФ-дозы для наиболее распространенных видов микроорганизмов.

Следует отдельно отметить наличие эффекта фотореактивации у некоторых видов микроорганизмов (в частности бактерий) [9, стр. 33–37]. Он заключается в репарации ДНК под действием солнечного света внутренними механизмами самой клетки, если доза воздействия ультрафиолетом была недостаточной. Современные исследования по определению эффективных бактерицидных УФ-доз для различных видов микроорганизмов приводят данные уже с учетом эффекта фотореактивации, то есть указанные УФ-дозы достаточно высоки, чтобы исключить этот эффект (см. публикации IUVA).

Из таблицы 1 видно, что следует очень ответственно подходить к вопросу определения целевого микроорганизма. Ведь УФ-дозы, которые достаточны для обеззараживания *Staphylococcus aureus* или *E. coli* на 99,9% (6,6 мДж/см²), не эффективны для обеззараживания *Mycobacterium tuberculosis* (которому требуется 10 мДж/см²) и тем более недостаточны для инактивации ротавирусов (доза 24 мДж/см²).

Интересным и актуальным примером может служить новая коронавирусная инфекция (COVID-19). По данным Международной ультрафиолетовой ассоциации на 28.04.2020, УФ-доза, необходимая для дезинфекции помещения с целью инактивации коронавирусов на 99,9%, согласно лабораторным испытаниям находится в диапазоне 10–20 мДж/см² [13]. Необходимо отметить, что УФ-доза, применяемая на практике, в большинстве случаев выбирается с запасом по отношению к лабораторным данным. По этой причине УФ-облучатель открытого или закрытого типа, который рассчитан для

инактивации золотистого стафилококка, будет неэффективен в отношении коронавируса SARS-CoV-2.

Таким образом, для оценки УФ-прибора правильно использовать его эффективность в отношении ОМЧ. Для обеззараживания ОМЧ на 99,9% требуется доза 25 мДж/см². И тогда прибор, обеспечивающий эффективность по ОМЧ (то есть обеспечивающий УФ-дозу не менее 25 мДж/см²), будет эффективным по целому спектру патогенных микроорганизмов, включая и коронавирусы.

Представляется полезным введение в российскую нормативную базу унифицированных рекомендуемых УФ-доз для применения в ЛПО (по аналогии с обеззараживанием воды), которые бы обеспечили правильный подбор эффективного УФ-оборудования в целях профилактики ИСМП или недопущения распространения новых инфекционных заболеваний, таких как COVID-19.

Заключение

Наблюдается тенденция к росту мощности УФ-облучения, что приводит к увеличению эффективности в отношении большего количества патогенных микроорганизмов и сокращению времени облучения, что особенно актуально для УФ-систем для обеззараживания воздуха и поверхностей в ДПО.

При выборе УФ-оборудования должно быть четкое понимание целей и какие УФ-дозы позволят их достичь. Применение низких УФ-доз может сопровождаться отсутствием бактерицидного действия ультрафиолетового излучения из-за эффекта реактивации. Оборудование, которое обеспечивает достаточно высокие УФ-дозы (не менее 25 мДж/см²), позволяет достичь высокой эффективности обеззараживания в отношении широкого спектра микроорганизмов (включая вирусы, споровые формы бактерий, паразитарные простейшие, грибы и плесени).

Литература

1. Adel Haji Malayeri, Madjid Mohseni, Bill Cairns and James R. Bolton. Fluence (UV Dose) Required to Archive Incremental Log Inactivation of Bacteria, Protozoa, Viruses and Algae. IUVA News, 18:4–6.
2. МУК 4.3.2030-05. Санитарно-вирусологический контроль эффективности обеззараживания питьевых и сточных вод УФ-облучением. Роспотребнадзор. М.: 2006.
3. МУ 2.1.4.719-98 Санитарный надзор за применением ультрафиолетового излучения в технологии подготовки питьевой воды. Минздрав России. М.: 1998.
4. DIN 19294. Geräte zur Desinfektion von Wasser mittels Ultraviolettstrahlung. Deutsches Institut für Normung. 2020.
5. ÖNORM M 5873. Geräte zur Desinfektion von Wasser mittels Ultraviolettstrahlung. Austrian Standards International. 2020.
6. МУ 2.1.5.732-99 Санитарно-эпидемиологический надзор за обеззараживанием сточных вод ультрафиолетовым излучением. Минздрав России. М.: 1999.
7. Simons RM, Blatchley ER III, Linden KG. Far UV-C in the 200-225 nm range, and its potential for disinfection applications. International Ultraviolet Association. 2020. Доступно на: <https://iuva.org/resources/covid-19/Far%20UV-C%20in%20the%20200%20nm%20range,%20and%20its%20potential%20for%20disinfection%20applications.pdf>.
8. EPA/600/R-08/053. Critical Assessment of Building Air Cleaner Technologies. Final Report. U.S. Environmental Protection Agency. 2008
9. Ультрафиолетовые технологии в современном мире. Кармазинов Ф. В., Костюченко С. В., Кудрявцев Н. Н., Храменков С. В., ред. Долгопрудный: Интеллект; 2012.
10. Руководство Р 3.5.1904-04 «Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях». Минздрав России. М.:2004.
11. Giese, N. and Darby, J. 2000. Sensitivity of microorganisms to different wavelengths of UV light: implications on modeling of medium pressure UV systems, Wat. Res., 34(16):4007–4013.
12. Kowalski W. 2009. Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook. UVGI for Air and Surface Disinfection.
13. IUVA COVID-19 FAQ. Доступно на: <https://www.iuva.org/iuva-covid-19-faq>.

References

1. Adel Haji Malayeri, Madjid Mohseni, Bill Cairns and James R. Bolton. Fluence (UV Dose) Required to Archive Incremental Log Inactivation of Bacteria, Protozoa, Viruses and Algae. IUVA News, 2016, 18:4–6.
2. Methodological Guidelines 4.3.2030-05. Sanitary and virological control of the effectiveness of disinfection of drinking and waste water by UV irradiation. Moscow: Rospotrebnadzor Publ., 2006 (In Russ.).

3. *Methodological Guidelines 2.1.4.719-98 Sanitary supervision of the use of ultraviolet radiation in the technology of drinking water preparation.* Moscow: Minzdrav, 1998 (In Russ.).
4. DIN 19294. Geräte zur Desinfektion von Wasser mittels Ultraviolettstrahlung. Deutsches Institut für Normung. 2020.
5. ÖNORM M 5873. Geräte zur Desinfektion von Wasser mittels Ultraviolettstrahlung. Austrian Standards International. 2020.
6. *Methodological Guidelines 2.1.5.732-99 Sanitary and Epidemiological Supervision of Wastewater Disinfection with Ultraviolet Radiation.* Moscow: Minzdrav, 1999 (In Russ.).
7. Rich M. Simons, Ernest R. Blatchley III, Karl G. Linden. Far UV-C in the 200-225 nm range, and its potential for disinfection applications. *International Ultraviolet Association.* 2020 Available at: <https://iuva.org/resources/covid-19/Far%20UV-C%20in%20the%20200%20-%20225%20nm%20range,%20and%20its%20potential%20for%20disinfection%20applications.pdf>
8. EPA/600/R-08/053. *Critical Assessment of Building Air Cleaner Technologies. Final Report.* U.S. Environmental Protection Agency. 2008
9. Ed.: Karmazinov FV, Kostuchenko SV, Kudryavtsev NN, Hramenkov SV. *Ultraviolet technologies in the modern world.* Dolgoprudnyi: Intellect; 2012 (In Russ.).
10. Guideline P 3.5.1904-04 «The use of ultraviolet bactericidal radiation for disinfection of indoor air». Moscow: Minzdrav, 2004 (In Russ.).
11. Giese, N. and Darby, J. Sensitivity of microorganisms to different wavelengths of UV light: implications on modeling of medium pressure UV systems, *Water Resources.* 2000;34(16):4007–4013.
12. Kowalski W. *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook. UVGI for Air and Surface Disinfection.* Springer Science & Business Media; 2010.
13. IUVA COVID-19 FAQ. Available at: <https://www.iuva.org/iuva-covid-19-faq>.

Об авторах

- **Сергей Владимирович Костюченко** – к. физ.-мат. н., заместитель генерального директора ООО «ПК ЛИТ», +7 (495) 733-95-26, lit@lit.ru
- **Андрей Анатольевич Ткачев** – заместитель генерального директора ООО «ТД ЛИТ», +7 (495) 733-95-26, tkachev@npol.lit.ru.
- **Татьяна Николаевна Фроликова** – к. фарм. н., директор по развитию ООО «СВ-Инжиниринг М», Москва, 125047, 1-й Тверской-Ямской пер., д. 11. +7 (916) 654-55-06, sving.med@mail.ru.

Поступила: 01.09.2020. Принята к печати: 30.09.2020.

Контент доступен под лицензией CC BY 4.0.

About the Authors

- **Sergei V. Kostuchenko** – Cand. Sci. (Phys.-Math.) of Deputy General Director LLC «PK LIT» +7 (495) 733-95-26, lit@lit.ru.
- **Andrey A. Tkachev** – Deputy General Manager of LLC «TD LIT» + 7 (495) 733-95-26, tkachev@npol.lit.ru.
- **Tatiana N. Frolikova** – Cand. Sci. (Pharm.), Research and Development Director of LLC «SV-Engineering M», 1 Tverskoy-Yamskoy pereulok, 11, Moscow, 125047 +7 (916) 654-55-06, sving.med@mail.ru.

Received: 01.09.2020. Accepted: 30.09.2020.

Creative Commons Attribution CC BY 4.0.