

Модульные решения для УФ-стерилизации помещений общего пользования

Сакен Юсупов,
saken.jusupov@ledil.com
Екатерина Ильина,
ekaterina.ilyina@ledil.com

Уже второй год пандемия коронавируса кошмарит человечество. Списки погибших от этой болезни (по данным ВОЗ) напоминают сводки с полей сражений, где массово применяется тяжелое вооружение (таблица 1).

Таблица 1. Число погибших от коронавируса (по данным ВОЗ)

Страна	Заболевших на 1 тыс. чел.	Умерло
США	88,2	527 699
Бразилия	52,3	268 370
Индия	8,1	158 063
Великобритания	63,6	125 032
Италия	51,5	100 479
Россия	29,8	90 275
Франция	58,0	89 455
Германия	30,4	72 536
Испания	67,4	71 727
Турция	33,8	29 160
Израиль	88,6	5 936
Япония	3,5	8 387,0
Китай	0,1	4 838
Южная Корея	1,8	1 648
Вьетнам	0,0	35

Удивительно, но наименьшие человеческие потери были в густонаселенных странах третьего мира Юго-Восточной Азии, а больше всего погибло людей в развитых странах Америки и Европы. Возможно, это последствия той коммерциализации медицины, которой увлекались развитые страны последние несколько десятилетий, и неумение властей работать в условиях масштабных чрезвычайных ситуаций. Весной 2021 года власти европейских стран вновь стали вво-



дить жесткие карантинные меры, чтобы противодействовать уже третьей волне эпидемии коронавируса. Можно печатать деньги триллионами, но этим эпидемию не победить. Основное средство борьбы с вирусной инфекцией – тотальная вакцинация населения, и она уже началась в России, в Китае и в других азиатских странах. В Евросоюзе и США еще недостает нужного количества надежных вакцин и политического согласия для их эффективного производства и распределения. Коронавирусная инфекция передается воздушно-капельным путем, и поэтому власти всех стран требуют от своих граждан соблюдения безопасной дистанции между людьми и обязательного ношения масок в общественных местах.

В условиях нынешней глобальной пандемии помимо вышеперечисленных мер борьбы с коронавирусом

также необходимо принимать меры по дезинфекции помещений. УФ-облучение – один из мощных и эффективных способов борьбы с различными микроорганизмами, включая SARS-CoV-2 (это тот самый вирус, который вызывает заболевание COVID-19). Для обеззараживания воздуха в помещениях активно применяют ультрафиолетовые лампы. Традиционно источниками УФ-излучения в них служат давно известные ртутные лампы низкого давления, а совсем недавно на рынке появились специализированные светодиоды УФ-диапазона. Здесь нужно отметить, что ультрафиолетовую часть спектра условно делят на три диапазона: UVA, UVB и UVC. Из них UVC – это самое жесткое излучение из перечисленных, с длинами волн 180–280 нм. А для борьбы с коронавирусом используют ультрафиолет с длинной волны

250–270 нм, поскольку оно наиболее эффективно рвет белковые цепочки в молекулах ДНК и РНК большинства бактерий и вирусов. В этом диапазоне излучают ультрафиолет как ртутные трубки, так и светодиоды. Если мы будем сравнивать новомодные светодиодные и традиционные ртутные источники УФ, то можно отметить их следующие достоинства и недостатки. Достоинство ртутных ламп низкого давления таково: они дешевы и их энергоэффективность достигает 30%. И конечно же, у них есть недостатки: во время работы ртутные лампы выделяют вредный газ озон. Колбы ламп хрупкие, и их нежная конструкция боится вибраций. Ресурс работы ртутной лампы около 10 тыс. ч, но ее полезный световой поток начинает снижаться с момента включения. Поэтому для учета реальной дозы УФ-излучения приходится использовать специальный счетчик ресурса работы для каждой лампы. Эксплуатация ртутных ламп предполагает заметные хлопоты, так как нужно постоянно контролировать время наработки ртутных ламп и вовремя их менять. Утилизация этих ламп стоит денег, и это сложная процедура, которая требует соблюдения обязательной бюрократической отчетности. От частых включений и выключений рабочий ресурс ртутных ламп резко падает, поэтому их выгодно применять только в стационарных и постоянно работающих системах общей дезинфекции воздуха и поверхностей.

Недостатки светодиодных источников ультрафиолета: высокая цена и относительно низкая энергоэффективность. Но УФ-светодиоды имеют множество достоинств: их можно часто включать и выключать без вреда для их параметров и срока жизни. Светодиоды не боятся вибраций и сотрясений, дают возможность создавать УФ-облучатели с нужными спектрами, эффективными для решения разных задач. УФ-светодиоды не озонируют воздух во время работы. Маленькие габариты светодиодов удобны для работы с оптикой для фокусировки излучения на дезинфицированных поверхностях.

Достоинства светодиодных источников ультрафиолета позволяют применять их там, где недостатки ртутных

Таблица 2. Поверхностная доза H_s для инактивации SARS-CoV-2 при бактерицидной эффективности 99,9% из [1]

Длина волны	нм	265	280	300
Поверхностная доза	Дж/м ²	18	30	230
Объемная доза	Дж/м ³	105	175	1338

ламп ограничивают возможности их эксплуатации. Например, для дезинфекции кабин пассажирских лифтов или туалетных комнат в поездах и самолетах, где постоянно присутствуют вибрации и необходимо часто выключать УФ-лампы при появлении людей и включать, чтобы обеззаразить воздух и поверхности кабины после того, как люди из нее выйдут. В лифтовых и туалетных кбинах больной и кашляющий человек оставляет после себя много вирусов, в виде аэрозоли, которая долго висит в воздухе и постепенно оседает на поверхностях. Для дезинфекции воздуха, например в кабине лифта, нужно его облучить ультрафиолетом по всей высоте кабины от потолка до пола, при этом произойдет и дезинфекция поверхностей.

В литературе, как правило, приводятся дозы, необходимые для инактивации патогенных организмов на 1, 2, 3 и 4 порядка (85, 90, 95 и 99,9%) в лабораторных условиях. Также в задачах обеззараживания воздуха используется понятие объемной дозы (экспозиции), которая обозначается H_v и определяется по отношению энергии бактерицидного излучения к воздушному объему облучаемой среды. Согласно исследованию [1], доза инактивации SARS-CoV-2 (COVID-19) с помощью

УФ-светодиодов зависит от длины волны. В [1] приведены значения поверхностных доз, для удобства мы пересчитали их в объемные. Значения обеих доз в зависимости от длины волны приведены в таблице 2. Так как эти количественные данные получены на базе стандартного бактериологического исследования, они могут быть использованы для оценки эффективности инактивации SARS-CoV-2 на различных поверхностях, таких как пол, стены, кнопочные панели и прочие, а также для оценки инактивации в объеме. В случае облучения поверхности выделяют две характеристики: облученность (мощность поверхностной дозы) и поверхностная доза (воздействие УФ-излучения в течение промежутка времени). Наиболее часто используемые единицы измерения Вт/см² и Дж/см² соответственно. В иностранных источниках чаще используется 1 мДж/см², что в переводе равно 10 Дж/м². В данной табличке мы учли этот факт и привели данные в удобных для сравнения с единицами, принятыми в руководстве ГСЭН РФ Р 3.5.1904-04.

УФ-светодиоды имеют небольшую мощность излучения и угол излучения около 120°, поэтому для повышения мощности излучения нужно использовать группу из нескольких

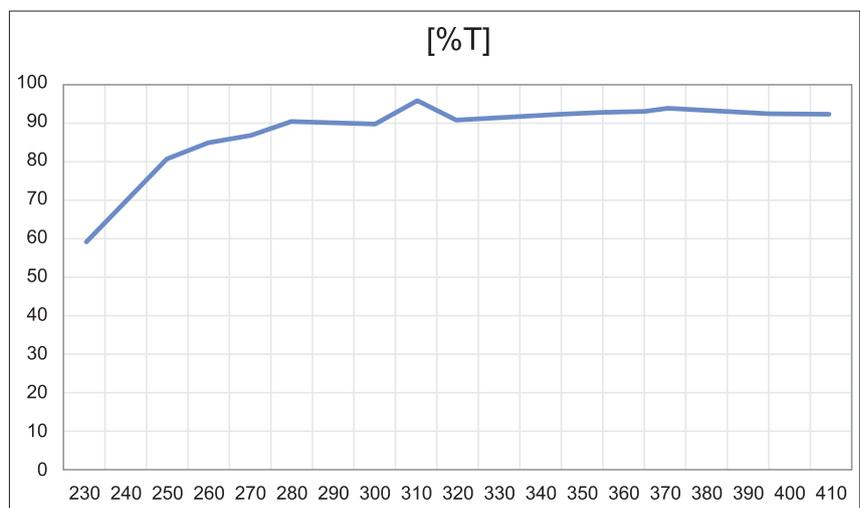


Рис. 1. Спектральные характеристики оптического силикона



Рис. 2. Фото линзы VIOLET-12x1

светодиодов, а для того чтобы сконцентрировать и направить свет – применить оптику. Это позволит достичь нужной дозы и дезактивировать вирусы и прочие патогены за меньшее время или же меньшей дозой. Для создания линз УФ-диапазона раньше применяли очень дорогое кварцевое стекло, но сейчас появились оптические силиконы, которые дешевле и достаточно эффективны при работе в UVC-диапазоне. На рисунке 1 представлены спектральные характеристики оптического силикона.

В настоящее время самый большой ассортимент оптики для УФ-светодиодов производит финская компания LEDIL. Она разрабатывает подобную оптику более 10 лет и в 2021 г. начала выпуск нового семейства линз из оптического силико-

на для UVC-светодиодов VIOLET-12X1 (рис. 2).

Световые диаграммы этих линз представлены на рисунке 3.

Оптическая эффективность линз данного семейства достигает 89% в зависимости от типа применяемых светодиодов. Размеры линзы 295×42×9 мм. Линза сделана из эластичного и прозрачного силикона и полностью покрывает собой светодиодную плату, герметично изолируя ее от воздействия влаги и пыли извне. В комплект поставки входит крепежная металлическая рамка, которая прижимает поля линзы к радиатору. Для тех случаев, когда нужно расположить светодиоды не в ряд, а иным образом, были созданы одиночные линзы VIOLETTA (рис. 4).

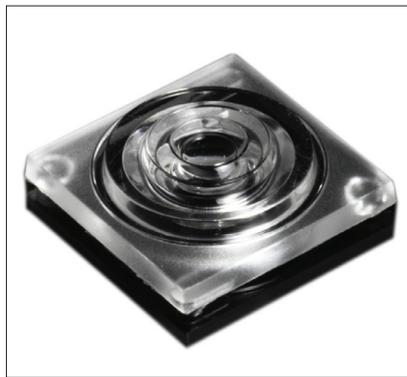


Рис. 4. Фото линзы F17822_VIOLETTA-S

Одиночные линзы имеют размеры 22×22×6,6 мм и выпускаются в двух модификациях:

- F17822_VIOLETTA-S со световым углом около 15° (в зависимости от типа LED);
- F17826_VIOLETTA-W со световым углом около 60° (в зависимости от типа LED).

Модульные и одиночные линзы VIOLET и VIOLETTA работают с УФ-светодиодами Seoul, Nichia, LiteON, Viosys Prolight, Paralight и другими. В России сейчас компания «Симметрон» изготавливает УФ-светодиодные модули, совместимые с линзами VIOLET-12X1. Эти модули имеют обозначение 281.19.12-3535 (рис. 5).

Модуль 281.19.12-3535 содержит 12 UVC последовательно включенных светодиодов 3535 от Prolight Opto PB2D1CLA, PB2D-1JLA или Paralight LT3535UVC-KPCM, LT3535UVC-KCCM. Индикация режима излучения подсветкой двумя белыми светодиодами LM281B+. Параметры драйвера 100–150 мА, 60–110 В. Используя эти светодиодные модули совместно с оптикой LEDIL, можно делать системы для ультрафиолетовой дезинфекции мест общественного пользования в транспорте. В качестве примера рассмотрим модель УФ-облучения

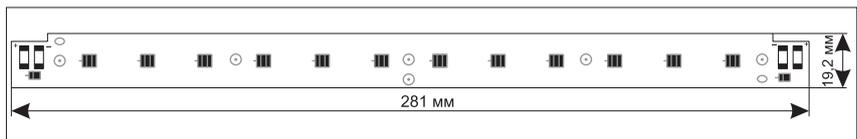


Рис. 5. Чертеж УФ светодиодного модуля

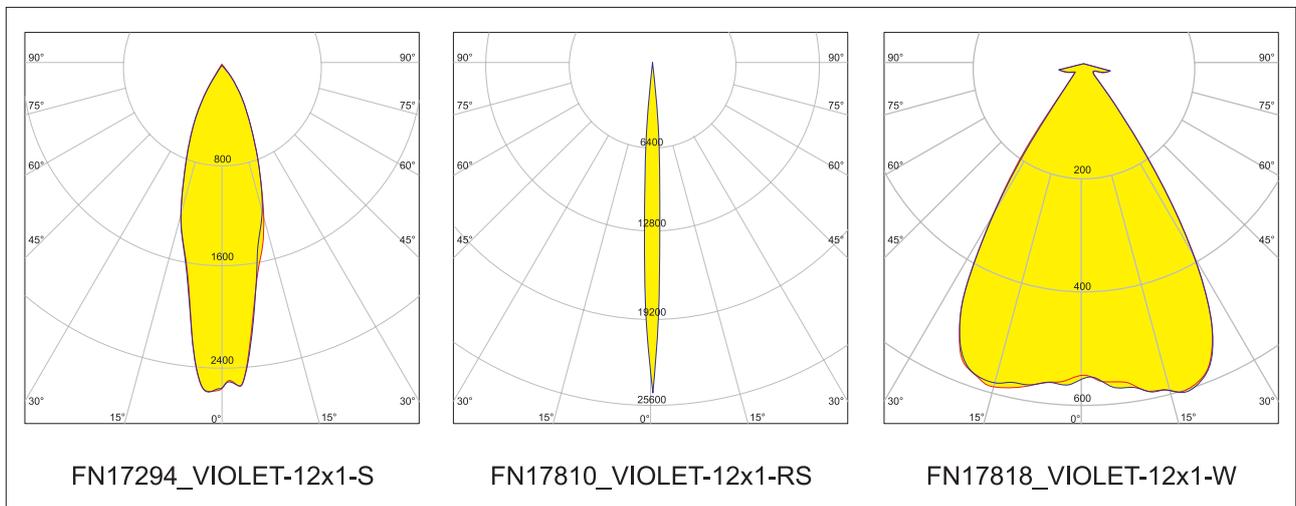


Рис. 3. Световые диаграммы линз семейства VIOLET-12x1

Таблица 3. Расчетные параметры для небольшой кабины для длины волны 280 нм (бактерицидная эффективность 99,9%)

Линзы	Кол-во линз, шт.	Кол-во УФ СД, шт.	Лучистый поток VIOLET, мВт	Облученность, Вт/м ²	Равномерность,	т, мин
						H _v = 30 Дж/м ³
FN17294_VIOLET-12x1-S	12	144	350	0,32	0,66	1,6
FN17818_VIOLET-12x1-W			350	0,26	0,84	2,0

кабины, которая по своим размерам соответствует типовой кабине лифта или туалетной комнаты в ж/д вагоне.

Обеззараживание УФ-излучением (инактивация патогенных микроорганизмов) проводится в воздушной среде или на поверхностях до некоторого определенного уровня. Время облучения объекта, при котором достигается заданный уровень бактерицидной эффективности, называется длительностью эффективного облучения.

Рассчитаем необходимое количество светильников для эффективного облучения помещения площадью 1,2×1,6 м и высотой 2,1 м. Объем такого помещения составит 1,2×1,6×2,1 = 4 м³.

Согласно руководству ГСЭН РФ Р 3.5.1904–04, кабины и туалетные комнаты можно отнести к помещениям V категории, для обеззараживания (от золотистого стафилококка) требуется обеспечить дозу H_v = 105 Дж/м³, что соответствует бактерицидной эффективности не менее 85%. По сравнению с золотистым стафилококком, для инактивации COVID-19 длиной волны 280 нм до уровня 99,9% требуется доза H_v = 175 Дж/м³. Заметим, в [1] приведены поверхностные и объемные дозы бактерицидной эффективности не менее 99,9%, что соответствует уровню операционной. Для помещений типа туалетов и лифтовых кабин такая доза (с эффективностью 99,9%) явно избыточна. Но поскольку данные о необходимой дозе объемного облучения по другим значениям бактерицидной эффективности для COVID-19 отсутствуют, можно предположить, что для уровня бактерицидной эффективности 85%, при дезинфекции лифтовых кабин, она будет как минимум в 2 раза меньше и составит не более 87,5 Дж/м³.

Для расчета дозы облучения в качестве ориентира в таких помещениях можно использовать Российский ГСЭН РФ Р 3.5.1904–04. Итак, если в помещении объемом 4 м³ установить облучатель, состоящий из двух модулей 281.19.12–3535 с линза-

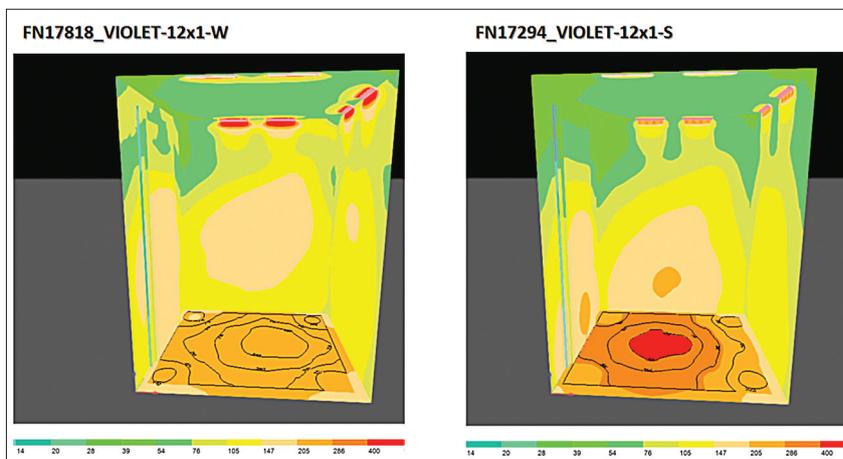


Рис. 6. Пример расчета дезинфекции небольшой кабины с линзами VIOLET-12x1

ми VIOLET-12x1, который излучает 350 мВт без учета оптических потерь (оптический КПД около 70%), то за 30 мин объемная доза облучения составит:

$$0,350 \text{ Вт} \times 0,7 \times 30 \times 60 \text{ с/4 м}^3 = 109 \text{ Дж/м}^3.$$

Для того чтобы снизить время облучения данного объема до 5 мин, потребуется шесть таких облучателей.

А если ориентироваться на COVID-19, то за 24 мин объемная доза облучения составит:

$$0,350 \text{ Вт} \times 0,7 \times 24 \times 60 \text{ с/4 м}^3 = 88 \text{ Дж/м}^3.$$

Тогда шесть облучателей уверенно «справятся» с объемом 4 м³ за 4 мин.

Расчетные данные облученности поверхностей кабины приведены в таблице 3, а распределения облученности для двух разных линз представлены на рисунке 6. Как показали результаты расчета, линза FN17294_VIOLET-12x1-S создает на полу более высокий уровень облученности, но менее равномерный, чем FN17818_VIOLET-12x1-W. При этом на стенах наблюдается примерно одинаковая картина облученности. Чтобы достигнуть обеззараживания пола, как в операционной (на 99,9%) с помощью VIOLET-12x1-S, потребуется всего 94 с, а с помощью VIOLET-12x1-W – всего 2 мин.

На стенах облученность будет ниже примерно в 2 раза по сравнению с полом, и для их обеззараживания на 99,9% в обоих случаях потребуется не более 4 мин. Ранее мы определили, чтобы обеспечить обеззараживание от COVID-19 воздуха в объеме кабины, потребуется всего около 4 мин. Таким образом, обеззараживание воздуха в объеме потребует столько же времени, сколько и для обеззараживания поверхностей. Этому способствует применение линз, так как они направляют лучистый поток на стены и пол и позволяют получить высокую облученность на расстоянии до 2 м от облучателя.

Расчеты показали, что для полной дезинфекции кабины лифта потребуется шесть УФ-светильников, состоящих из двух светодиодных плат «Симметрона» 281.19.12–3535 и двух линз семейства VIOLET-12x1. При этом дезинфекции воздуха, пола и стен займет около 4 мин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пандемия коронавируса стала заключительным ударом по американскому проекту глобализации и созданной на его основе экономике. По завершении вакцинации карантинные меры во многих странах станут менее жесткими, экономика регионов оживет и перестроится на новый лад, люди вновь будут ак-

тивно путешествовать. Но уже сейчас понятно, что власти всех стран в будущем станут серьезнее относиться к бактериологической безопасности. Например, если раньше для перевозок через границу кошек и собак нужно было иметь справку от ветеринара о прививках, то, возможно, в скором будущем подобные справки понадобятся и для людей. Эпидемиологические службы контроля на пограничных пунктах могут стать важнее таможенников, и попытка перевезти «контрабандой» через границу внезапную простуду или насморк будет караться двухнедельной изоляцией в местном карантине. Помимо контро-

ля над потоками пассажиров будут развиваться технологии дезинфекции помещений, особенно мест общего пользования. И если в домах и зданиях пока еще выгоднее использовать ртутные бактерицидные лампы, то в транспорте гораздо лучше работают светодиодные источники ультрафиолета. Применяя светодиоды, можно создать УФ-светильник, который не боится вибраций и частых включений/выключений. В настоящее время в России доступны все технологии и компоненты для этого. Компания LEDIL делает специальные линзы из оптического силикона, которые работают с УФ-светодиодами,

а компания «Симметрон» производит платы с такими светодиодами. И это предоставляет возможность делать уникальные бактерицидные лампы для дезинфекции лифтов и туалетов в самолетах и поездах и развивать бизнес в наше сложное кризисное время.

ЛИТЕРАТУРА

1. Minamikawa T, Koma T, Suzuki A, Mizuno T, Nagamatsu K, Arimochi H, Tsuchiya K, Matsuoka K, Yasui T, Yasutomo K, Nomaguchi M. Quantitative evaluation of SARS-CoV-2 inactivation using a deep ultraviolet light-emitting diode//Scientific Reports. 2021. № 11.
2. Rapid inactivation of SARS-CoV-2 with deep-UV LED irradiation.