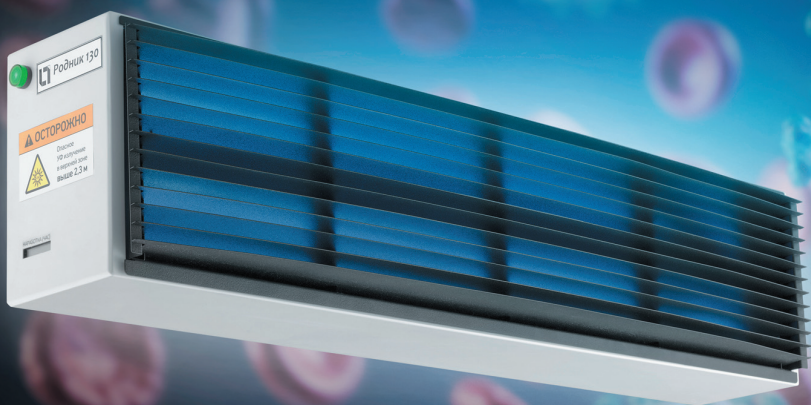



Александр Богданов | Александр Карев

Проблемы применения технологии ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха

➔ Резкий рост спроса на оборудование для ультрафиолетовой (УФ) дезинфекции воздуха и поверхностей во время пандемии COVID-19 определил повышенный интерес производителей к данному сегменту коммерческих продуктов. Члены АПСС позитивно оценивают перспективы развития рынка УФ-дезинфекции и подтверждают необходимость и заинтересованность участников Ассоциации в установлении четких отраслевых стандартов и следовании им всеми участниками рынка.



 Световые Технологии

Пандемия коронавируса внесла серьезные коррективы в нормы повседневной жизни общества, сделав соблюдение гигиены обязательным условием поведения граждан. Соответственно, вырос спрос на оборудование и средства, обеспечивающие безопасное уничтожение бактерий и вирусов. При этом важным требованием к средствам предотвращения распространения болезней является отсутствие необходимости изоляции большей части общества. К такому оборудованию можно с уверенностью отнести приборы УФ-дезинфекции. Правильное использование определенных длин волн УФ-излучения 200–280 нм, известных как УФ-С (ультрафиолетовое излучение диапазона С), доказало эффективность уничтожения патогенов, в том числе и коронавируса [1]. Кроме того, данная технология обладает следующими преимуществами:

- УФ-дезинфекция экологически безопасна, не предусматривает применение химических реагентов;
- эффективность против всех микробов и вирусов, включая COVID-19 и любые новые штаммы;
- УФ-излучение не создает канцерогенных побочных продуктов дезинфекции, как, например, хлор;
- после обработки не остается химических веществ и, следовательно, исключено образование новых супербактерий;
- отсутствует опасность передозировки;
- процесс дезинфекции абсолютно управляем, также существует возможность работы установок в автоматическом режиме, включения оборудования в контур управления инженерными системами зданий;
- надежность при использовании и простота обслуживания УФ-приборов.

Востребованность данной технологии подтверждается и динамикой роста мирового рынка оборудования для УФ-дезинфекции. Последние годы рынок уверенно растет с темпом в 14% в год и прогнозируется сохранение тренда как минимум до 2027 года (рис. 1) [2].

Набирают обороты и УФ-диоды, растет их эффективность и срок службы. Рынок с оптимизмом ждет появления реальных конкурентов ртутным лампам низкого давления, и уже сегодня, по данным [3], среднегодовой темп роста объемов продаж по рынкам светодиодной УФ-дезинфекции за 2020–2025 гг. составляет в сегментах обеззараживания: вода — 67%; воздух — 24%; поверхность — 44% (рис. 2).

Можно констатировать, что на российском рынке оборудования для УФ-дезинфекции общественное внимание и коммерческий спрос в точности следуют за периодически возникающими пандемиями. В 2003 году в страну пришел SARS — тяжелый острый респираторный синдром, вызываемый корона-вирусом с высоким уровнем смертности. Тогда УФ-технологии получили заслуженное внимание, что отмечено в Постановлении Правительства Москвы № 289-ПП от 11 мая 2004 года «О Целевой среднесрочной программе «Повышение экологической и эпидемиологической безопасности на городских объектах и в местах массового скопления людей на основе современных УФ-технологий обеззараживания воды и воздуха (2005–2007 гг.)».

В качестве регулирующего документа появилось Руководство Минздрава Р 3.5.1904-04 «Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях» и методические указания МУК 4.3.2030-05 «Санитарно-вирусологический контроль эффективности обеззараживания питьевых и сточных вод УФ-облучением». Эти документы и сегодня формируют основу юридической базы применения УФ-технологий на практике.

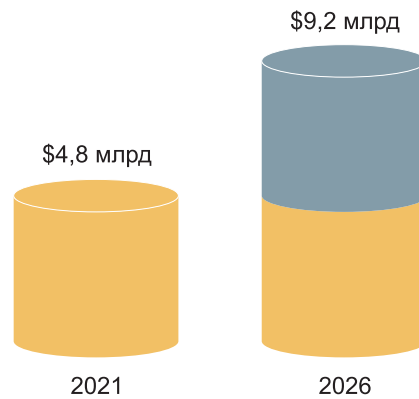
Пандемия начала двухтысячных, к счастью, достаточно быстро закончилась и борьба за эпидемическое благополучие перешла в фоновый, практически незаметный режим.

Пандемия новой коронавирусной инфекции COVID-19, которая была впервые зарегистрирована в 2019 году в г. Ухань (Китай), послужила новым триггером запуска спроса на средства защиты от микробов и вирусов. На этот раз наиболее востребованными оказались закрытые облучатели воздуха — УФ-рециркуляторы и бактерицидные лампы, которые в нашей стране не производились. На российском рынке появились сотни новых производителей и экспортеров: бактерицидных ламп, рециркуляторов, облучателей. И рынок начал наполняться продукцией!

Технология УФ-дезинфекции является средством неспецифической профилактики заболеваний и направлена на предотвращение распространения инфекции путем прерывания путей передачи ее возбудителя [4]. А основными требованиями к средствам неспецифической профилактики заболеваний являются безопасность и эффективность.

Объем глобального рынка оборудования УФ-дезинфекции

Совокупный среднегодовой темп роста — 14%



<https://www.researchandmarkets.com/reports/5239231>

RESEARCH AND MARKETS
THE WORLD'S LARGEST MARKET RESEARCH STORE

Рис. 1. Прогноз роста рынка оборудования УФ-дезинфекции до 2026 года

Что касается безопасности, сегодня комплекс таких требований к оборудованию данного типа определяется содержанием технических регламентов:

- ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования»;
- ТР ТС 020/2011 «Об электромагнитной совместимости технических средств»;
- ТР ЕАЭС 037/2016 «Об ограничении применения опасных веществ в изделиях электротехники и радиоэлектроники».

Для изделий медицинского назначения — стандартами здравоохранения.

Однако даже соответствие данным регламентам не гарантирует отсутствия проблем как по аспектам безопасности,

так и по эффективности при применении приборов. Прежде всего, это специфические вопросы, связанные с применением жесткого УФ-излучения, опасного для биологических объектов, и другие особенности.

Рассмотрим наиболее существенные из них подробнее, так как несоответствие установленным требованиям и нормативам делает невозможным или нецелесообразным применение данного оборудования в принципе.

1. Фотобиологическая безопасность открытых УФ-облучателей и закрытых облучателей — рециркуляторов. Согласно ГОСТ Р МЭК 62471-2013 «Светобиологическая безопасность ламп и ламповых систем», опасные

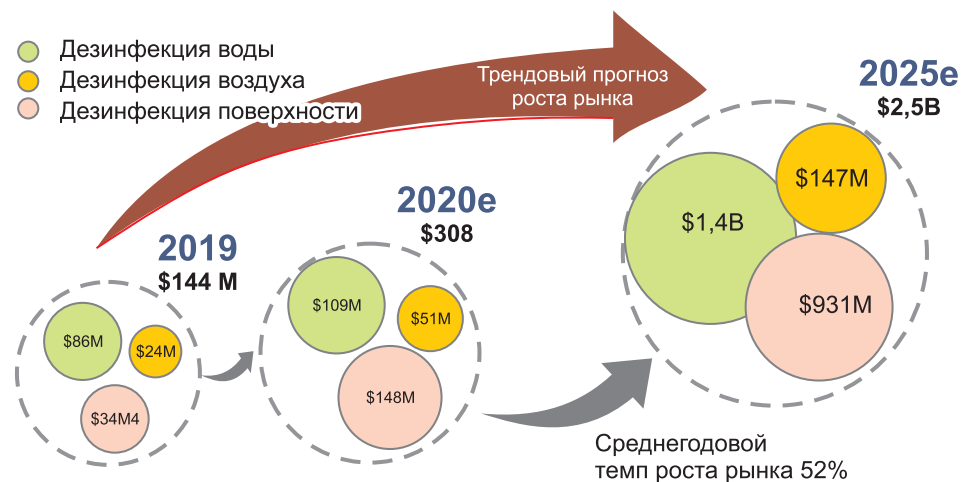


Рис. 2. Прогноз роста размера рынка УФ-С-светодиодов до 2025 года

значения УФ-облученности от закрытых облучателей должны быть определены на расстоянии 200 мм от источника и составлять не более 1 мВт/м². Аналогичны требования и СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».

На практике проведение данных испытаний в лаборатории требует специального помещения и оборудования, обученного персонала, его защитной экипировки. Упомянутый стандарт устанавливает весьма жесткие нормативы на допустимую

УФ-С-облученность. Однако, судя по обилию на рынке УФ-рециркуляторов, свободно излучающих «голубой свет» во внешнее пространство, такие испытания они не проходили!

2. По требованиям к электромагнитной совместимости существует как минимум два стандарта, распространяющихся на УФ-облучатели, не являющиеся медицинскими приборами, с отличающимися требованиями:

- ГОСТ CISPR 15-2014 «Нормы и методы измерения характеристик радиопомех от электрического осветительного и аналогичного оборудования».

- CISPR 11 (2019) «Оборудование промышленное, научно-исследовательское и медицинское. Характеристики радиопомех. Предельные значения и методы измерения».

Существенным различием в требованиях являются различные частотные диапазоны, в которых ограничен уровень кондуктивных помех (рис. 3а, б).

Области распространения стандартов включают ультрафиолетовое оборудование, но с различными ограничениями по уровню пиковых и средних кондуктивных помех. Неоднозначность в данном случае усложняет работу на рынке ответственных производителей и открывает возможности для манипулирования при сертификации.

3. По опасности генерации озона бактерицидными лампами. В ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» установлены предельно допустимая концентрация (ПДК) озона в воздухе рабочей зоны — 0,1 мг/м³, максимальная разовая ПДК озона в атмосферном воздухе — 0,16 мг/м³, средняя суточная ПДК озона в атмосферном воздухе — 0,03 мг/м³.

Озон — это отравляющий газ, и крайне опасно перекладывать на потребителя необходимость контролировать количество озона в воздухе помещения. Такие проблемы могут возникнуть при применении некачественных бактерицидных ламп или ламп, не предназначенных для эксплуатации в приборах, функционирующих в присутствии людей.

По данному параметру целесообразно ввести жесткое требование к лампам УФ-С, предотвращающее появление на рынке ламп, генерирующих озон, с теми же конструктивными и установочными размерами, что и обычные бактерицидные лампы.

4. По аспектам наличия ртути в бактерицидных лампах и опасности попадания ее в окружающую среду в случае разгерметизации колбы основным документом считаются «Методические рекомендации по контролю за организацией текущей и заключительной демеркуризации и оценке ее эффективности» (МР № 4545-87).

Современные бактерицидные лампы содержат очень небольшое количество ртути, не превышающее единиц миллиграммов.

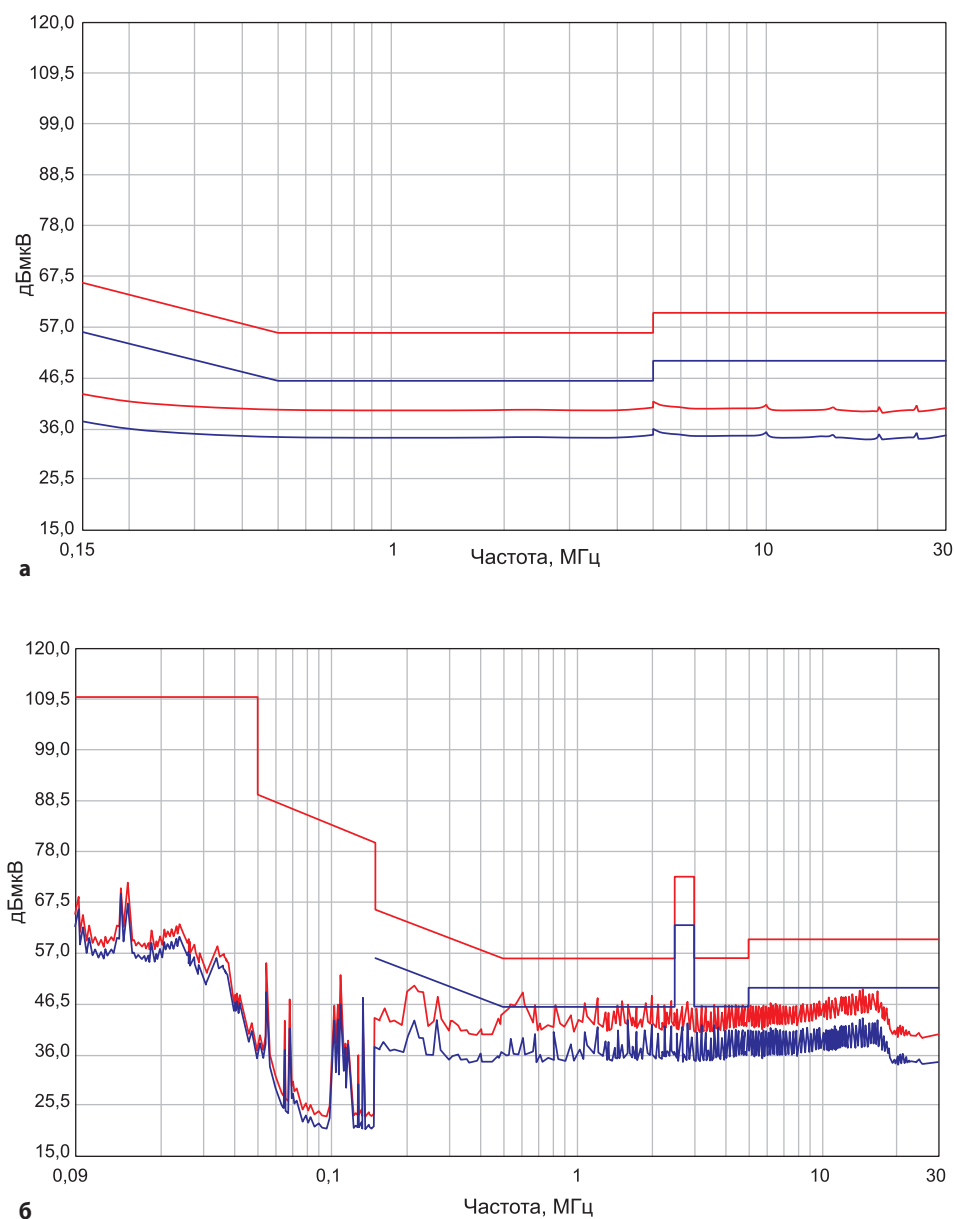


Рис. 3. Ограничения по уровню пиковых (показаны красным) и средних (показаны синим) кондуктивных помех в различных диапазонах частот. Нижние кривые — результаты испытания приборов УФ-обеззараживания воздуха (приведены в качестве примера): а) CISPR 15 в диапазоне 9 кГц – 30 МГц; б) CISPR 11 в диапазоне 150 кГц – 30 МГц

Прямая отсылка к данному документу в случае разгерметизации стеклянной колбы лампы носит скорее формальный характер, чем представляет практическую пользу.

5. По уровню шума приборов, содержащих в конструкции вентиляторы. Подходит ли для испытаний по этому параметру ГОСТ Р ИСО 10302-1-2014 «Вентиляторы малогабаритные для информационного и телекоммуникационного оборудования. Испытательные коды по шуму и вибрации. Часть 1. Измерение шума?»

Шумовые характеристики УФ-облучателей закрытого типа крайне важны и могут стать решающим фактором при выборе прибора. Источником шума в данном случае является вентилятор, корпус прибора, перемещаемый воздух. Для вентиляторов обычно определяют общий уровень звукового давления дБ (А) на расстоянии в 3 м. Для адекватного определения шумовых характеристик УФ-рециркулятора необходимо определить, при каких условиях следует проводить измерения и какая характеристика наиболее информативна для потребителя.

6. По подтверждению заявленной производительности закрытых УФ-облучателей по объему прокачиваемого воздуха. Подойдет ли для этого ГОСТ 12.3.018-79 «Система стандартов безопасности труда. Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний» или ГОСТ Р ЕН 12238–2012 «Вентиляция зданий. Воздухораспределительные устройства. Аэродинамические испытания и оценка применения для перемешивающей вентиляции?»

Стандарт устанавливает методы измерений и обработки результатов при проведении испытаний вентиляционных систем и их элементов. Для цилиндрических и прямоугольных сечений устанавливаются координаты точек измерения скоростей воздуха (рис. 4).

Результаты измерения скорости воздушного потока на входе или выходе УФ-рециркулятора позволяют определить объем воздуха, проходящий через прибор в единицу времени. Вполне уместно применить наработки данного стандарта для измерения производительности УФ-рециркуляторов и предоставить такую методику разработчикам и контролирующим организациям.

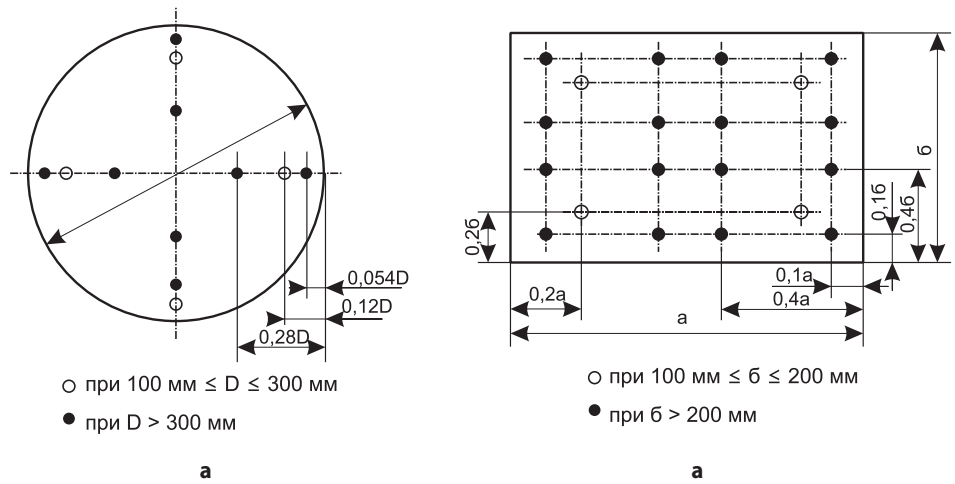


Рис. 4. Координаты точек измерения скорости воздуха: а) в воздуховодах цилиндрического сечения; б) в воздуховодах прямоугольного сечения

7. По подтверждению величины бактерицидной дозы УФ-излучения, обеспечиваемой закрытым облучателем при прохождении воздуха через камеру УФ-облучения.

Бактерицидная эффективность зависит преимущественно от дозы излучения (D_{UV} , Дж/м²), попадающей на микробы или вирусы:

$$D_{UV} = I \times t, \quad (1)$$

где I — средняя интенсивность облучения, Вт/м²; t — время воздействия, с.

Среднее значение УФ-дозы определяется конструктивными характеристиками и является основным показателем, определяющим эффективность прибора при воздействии на тот или иной патоген. Информация о величине УФ-дозы, обеспечиваемой прибором, является определяющей и должна стать неотъемлемой частью технических характеристик приборов данного типа.

В ближайшее время следует утвердить метод расчета УФ-дозы для рециркулятора и формат представления данной информации в спецификации приборов.

8. По подтверждению эффективности технологии УФ-обеззараживания применительно к коронавирусам SARS-CoV. Традиционно оценку эффективности УФ-оборудования проводят по санитарно показательной бактерии золотистого стафилококка (лат. *Staphylococcus aureus*). Результативность облучения или бактерицидная эффективность $J_{бк}$ оценивается в процентах как отношение числа погибших микробов (N_n)

к их начальному числу до облучения (N_0) по формуле:

$$J_{бк} = (N_0/N_n) \times 100\%.$$

Однако сегодня актуально применение бактерицидного УФ-С-излучения против коронавируса SARS-CoV и их штаммов (рис. 5) [5]. К счастью, все коронавирусы обладают схожей структурой и длиной одноцепочечной РНК около 30 кб, что позволяет сделать вывод о том, что они также обладают очень похожими свойствами поглощения и инактивации УФ-С-излучением.

На рис. 5 схематично показан результат действия фотона УФ-излучения на РНК вируса, а на рис. 6 приведены спектральные распределения: интенсивности поглощения УФ-излучения материалом РНК вируса и коэффициента пропускания среды

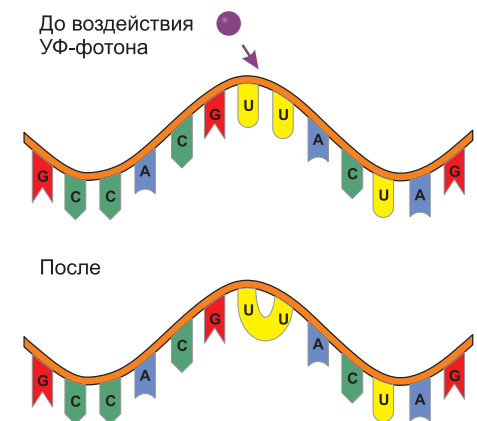


Рис. 5. Схема механизма повреждения УФ РНК

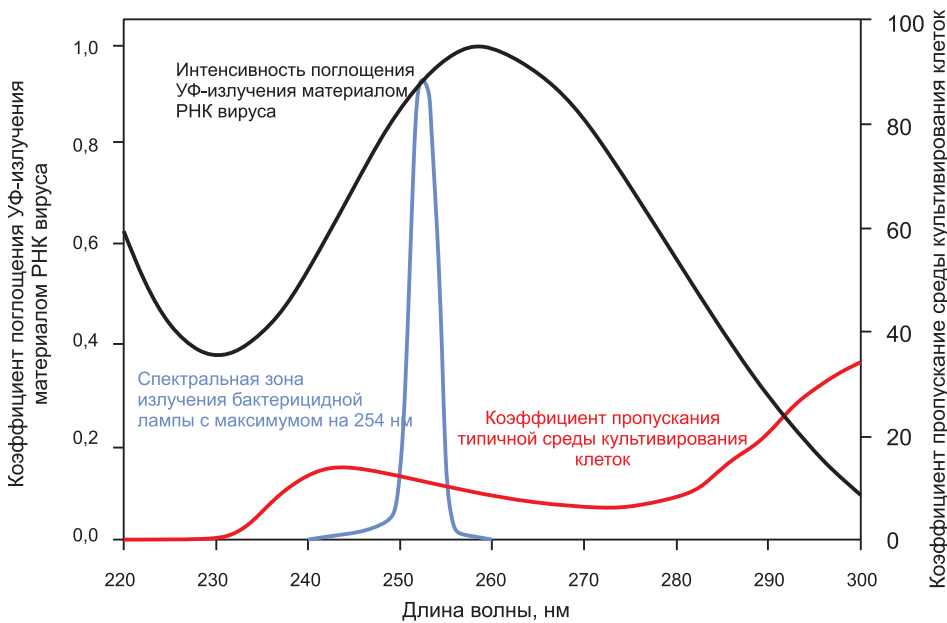


Рис. 6. Относительные спектры поглощения РНК, относительный спектр излучения ртутной лампы низкого давления и пропускание типичной среды для культивирования клеток [5]

культивирования клеток, а также спектральная зона излучения бактерицидной лампы [5].

В работе [5] показан расчетный верхний предел для средней УФ-дозы логарифмического снижения концентрации вирусов в средах с низким поглощением, составляющий 10,6 мДж/см². Вместе с этим авторы утверждают, что более точная оценка предела составляет 3,7 мДж/см². Таким образом, полученные значения дозы для SARS-CoV-2 очень близки к величине дозы для Staphylococcus aureus — 4,9 мДж/см² [6].

Приведенные данные пока не носят официального характера, но в ближайшее время должны быть включены в справочники микробиологов для использования в практике УФ-дезинфекции.

9. По проектированию установок УФ-обеззараживания в конкретных помещениях, определению количества и расположения приборов, режимов работы, обслуживания и др.

УФ-оборудование работает в помещениях с конкретным объемом, и потребителя в первую очередь интересует, как обеспечивается деконтаминация воздуха в помещении. Для оценки этого параметра необходимо сопоставить производительность прибора и объем помещения. Это соотношение называется «кратность воздухообмена в помещении при работе рециркуля-

тора» и показывает, сколько раз объем воздуха помещения полностью пройдет через рециркулятор за 1 ч.

Какое значение кратности воздухообмена обеспечивает надежное снижение вероятности распространения инфекции воздушно-капельным путем, также является открытым вопросом. Например, в руководстве REHVA COVID-19 [7] рекомендуется работать в диапазоне кратности 2–5.

Данный вопрос наряду с принципами размещения УФ-оборудования в помещениях, режимами их работы и другие аспекты должны быть сформулированы в актуализированных правилах проектирования установок УФ-обеззараживания воздуха в помещениях.

Таким образом, в условиях текущей пандемии COVID-19 на фоне быстро растущего рынка оборудования для УФ-обеззараживания необходимо разрешить блок серьезных вопросов, без ответа на которые эффективно внедрять данные технологии практически нельзя.

На взгляд членов АПСС, наиболее целесообразным выходом из сложившейся ситуации является разработка отраслевого стандарта, регламентирующего требования к безопасности, техническим и эксплуатационным параметрам приборов для ультрафиолетового обеззараживания.

В итоге должно быть инициировано создание документа, целью которого является:

- систематизировать и установить единые/единообразные требования к данному виду продукции, отвечающие как потребностям потенциальных заказчиков, так и объективным техническим возможностям производителей;
- сформировать правила, которые позволят оценивать эффективность и безопасность данного вида продукции при обороте ее на рынке, а в перспективе стать основой для формирования системы контроля качества;
- создать задел для формирования правил проектирования и применения данного вида продукции на объектах различного назначения. ●

Литература

1. Raeszadeh M., Adelicorresponding B. A Critical Review on Ultraviolet Disinfection Systems against COVID-19 Outbreak: Applicability, Validation, and Safety Considerations. www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7571309/
2. UV Disinfection Equipment Market with COVID-19. Impact Analysis. www.researchandmarkets.com/reports/5239231/uv-disinfection-equipment-market-with-covid-19
3. UVC LEDs: one solution to contain the COVID-19 pandemic. www.yole.fr/UV_LEDs_MarketUpdate.aspx
4. МР 3.1.0140-18 «Методические рекомендации 3.1. Профилактика инфекционных болезней. Неспецифическая профилактика гриппа и других острых респираторных инфекций».
5. Heßling M., Hönes K., Vatter P., Lingenfelder C. Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation — review and analysis of coronavirus photoinactivation studies. GMS Hygiene and Infection Control. www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7273323/
6. Руководство Р 3.5.1904-04 «Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях».
7. REHVA COVID-19 guidance document, August 3, 2020. www.rehva.eu/fileadmin/user_upload/REHVA_COVID19_guidance_document_V3_03082020.pdf