

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2021, №6, Том 13 / 2021, No 6, Vol 13 <https://esj.today/issue-6-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/34SAVN621.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Кочетков, А. В. Обеззараживание воздуха в индивидуальных системах вентиляции на основе рассеянного ультрафиолетового излучения / А. В. Кочетков, А. Н. Павлов, П. А. Солопов, Г. Ю. Белоусов, Ю. Б. Пряничников, З. Ю. Хапцев, М. С. Безсонова // Вестник евразийской науки. — 2021. — Т. 13. — № 6. — URL: <https://esj.today/PDF/34SAVN621.pdf>

For citation:

Kochetkov A.V., Pavlov A.N., Solopov P.A., Belousov G.Yu., Pryanichnikov Yu.B., Zaur Yu.Kh., Bessonova M.S. Disinfection of air in individual ventilation systems based on scattered ultraviolet radiation. *The Eurasian Scientific Journal*, 13(6): 34SAVN621. Available at: <https://esj.today/PDF/34SAVN621.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 625.7/.8

Кочетков Андрей Викторович

ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия
Профессор
Доктор технических наук, профессор
E-mail: soni.81@mail.ru

Павлов Александр Николаевич

ООО «Научно-производственное предприятие «Ракета», Саратов, Россия
Заместитель директора, старший научный сотрудник
Кандидат технических наук
E-mail: alexpins@yandex.ru

Солопов Павел Александрович

ООО «Научно-производственное предприятие «Ракета», Саратов, Россия
Генеральный директор
E-mail: alexpins@yandex.ru

Белоусов Геннадий Юрьевич

ООО «Научно-производственное предприятие «Ракета», Саратов, Россия
Инженер
E-mail: yurii.p63@mail.ru

Пряничников Юрий Борисович

ООО «Научно-производственное предприятие «Ракета», Саратов, Россия
Инженер
E-mail: yurii.p63@mail.ru

Хапцев Заур Юрьевич

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», Саратов, Россия
Доцент кафедры «Микробиологии, биотехнологии и химии»
Кандидат биологических наук, доцент
E-mail: alexpins@yandex.ru

Безсонова Мария Сергеевна

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», Саратов, Россия
Студентка 4 курса специальность «Ветеринария»
E-mail: alexpins@yandex.ru

Обеззараживание воздуха в индивидуальных системах вентиляции на основе рассеянного ультрафиолетового излучения

Аннотация. В условиях пандемии, вызванной различными мутациями коронавируса, возникает задача обеззараживания воздуха в индивидуальных системах вентиляции. Авторами были проведены эксперименты по воздействию УФ излучения на бактерии рода *Staphylococcus*.

Локальный объем представлял собой непрозрачный пластиковый цилиндр, в боковую поверхность которого вставлялся светодиод УФ-диапазона.

В качестве источника УФ излучения использовался светодиод типа S3535UVCDR100-W275-P40-V6.5.

Установлено, что область спектра ($271,5 \pm 6,5$) нм совпадает со спектром поглощения нуклеиновых кислот ДНК и РНК и спектром поглощения белков и основная роль в действии ультрафиолетового излучения на клетки принадлежит химическим изменениям ДНК: входящие в ее состав пиримидиновые основания (тимин) при поглощении квантов УФ-излучения образуют димеры, которые препятствуют нормальному удвоению ДНК при подготовке клетки к делению, что приводит к гибели клеток; имеет место также повреждение биологических мембран под действием УФ-излучения.

Установлено существенное повышение коэффициента бактерицидной эффективности, который определялся как отношение числа уничтоженных бактерий к числу оставшихся жизнеспособными, для опыта с фольгой.

Ключевые слова: пандемия; ультрафиолетовое излучение; обеззараживание; бактерицидное действие; вентиляция; защитные системы; бактерии рода *Staphylococcus*; бактерицидная эффективность; светодиод; фольга

Введение

Рассмотрение проблемы взаимоотношений внешней среды и живых организмов различной организационной природы предполагает, прежде всего, исследование возможностей влияния геофизических факторов на жизнедеятельность микроорганизмов. Среди таких факторов особое место занимают электромагнитные поля, в которых зародилась жизнь на Земле. В настоящее время электромагнитные поля искусственного происхождения составляют внешнюю среду обитания живых организмов.

Отсутствие теории первичного физико-химического механизма действия электромагнитных полей на микробиологические объекты приводит к необходимости проведения экспериментальных исследований по воздействию электромагнитных полей различных частотных диапазонов.

Авторами были проведены экспериментальные исследования воздействия коротковолнового ультрафиолетового излучения на бактерии вида *Staphylococcus aureus*.

В условиях угрозы различных новых эпидемий и пандемий задача обеззараживания воздуха в системах вентиляции, в том числе индивидуального проектирования, является актуальной и обладает научной новизной и практической ценностью.

Постановка задачи

Такая задача может быть решена путем воздействия электромагнитных полей, а также на основе бактерицидного действия рассеянного УФ-излучения (табл. 1).

Таблица 1

Спектральная характеристика основных биологических эффектов УФ-излучения

Биологический эффект	Диапазон длин волн, нм
Воздействие на покровные ткани	250–310
Канцерогенное действие	260–320
Летальное, антимиотическое действие на клетки	200–320
Мутагенное действие на клетки и вирусы	200–320

При проектировании индивидуальных систем вентиляции и защитных устройств возникает необходимость конструктивного включения дополнительных элементов, ограничивающий окружающий объем от индивидуума [1].

В условиях пандемии, вызванной различными мутациями коронавируса, возникает задача обеззараживания воздуха в индивидуальных системах вентиляции. Такая задача является актуальной и обладает научной новизной и практической ценностью.

Такие элементы представляют локальный объем, в форме небольших призм, цилиндров или сфероидов. При этом внутри такого локального объема размещаются источники УФ излучения в виде ртутных ламп или светодиодных матриц.

Известно описание к патенту на полезную модель РФ173502, МПКА1D13/11 опубликованную 29.08.2017.

В доступных литературных источниках отсутствует подробное описание особенностей функционирования таких элементов. В основном публикации касаются обеззараживания жидких сред [2–10].

Проведение экспериментальных работ

В связи с этими авторами были проведены эксперименты по воздействию УФ излучения на бактерии, в качестве тест-объекта которых был выбран представитель рода *Staphylococcus* — *Staphylococcus aureus*. Целесообразность такого выбора обусловлена тем, что стафилококки широко распространены в объектах окружающей среды: почве, воздухе, а также входят в состав нормальной микрофлоры кожи и слизистых оболочек верхних дыхательных путей у человека и животных. Среди стафилококков встречаются и патогенные виды, вызывающие гнойные воспалительные процессы почти во всех органах и тканях и являющиеся причиной большинства внутрибольничных инфекций [2]. Кроме того, *Staphylococcus aureus* является, в соответствии с действующими нормативными документами, санитарно-показательным микроорганизмом при оценке бактерицидной эффективности ультрафиолетового облучения воздушной среды помещения или поверхности¹.

В нашей работе использовался штамм *S. aureus* ATCC 6538P. Взятая в исследование культура имела типичные для своего вида морфологические, культуральные и биохимические свойства. В стеклянные чашки Петри, установленные на столиках со строго горизонтальной поверхностью, разливали расплавленный ГМФ-агар в объеме 20–25 мл. Исследуемую культуру вносили на поверхность стерильного агара в объеме 100 мкл. Посевная доза составляла

¹ Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях — Руководство (Р. 3.5.1904-04.). — М. 2004 — 27 с.

5×10^8 микробных клеток/мл. Затем суспензию распределяли по поверхности агара при помощи стерильного шпателя Дригальского. После этого засеянные чашки выдерживали в течение 40 мин. в термостате при температуре $36,0 \pm 1$ °С. После этого проводили облучение чашек УФ-светодиодом в течение 5, 10, 20, 30 мин. Затем чашки инкубировали при температуре $36,0 \pm 1$ °С в течение 16–18 ч.

Учет результата проводили визуально по наличию или отсутствию зоны задержки роста микроорганизмов.

Локальный объем представлял собой непрозрачный пластиковый цилиндр, в боковую поверхность которого вставлялся светодиод УФ-диапазона. На основании цилиндра размещался слой исследуемой культуры бактерий (рис. 1).

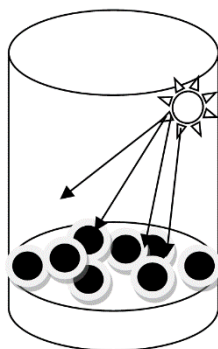


Рисунок 1. Локальный объем цилиндрической конфигурации (разработан авторами)



— источник УФ-излучения;



— колонии бактерий рода *Staphylococcus*.

В качестве источника УФ излучения использовался светодиод типа S3535UVCDR100-W275-P40-V6.5.

Ниже представлены рабочие характеристики данного светодиода (рис. 3). Спектральная характеристика светодиода $\Delta\lambda = 13$ нм; $(271,5 \pm 6,5)$ нм.

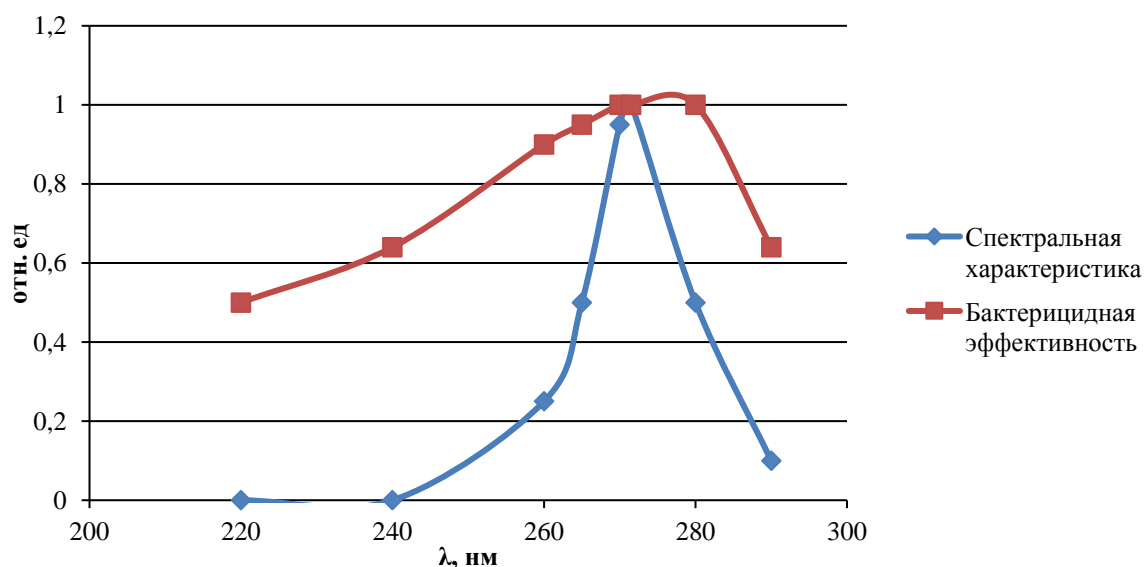


Рисунок 2. Бактерицидная эффективность УФ излучения (разработан авторами)

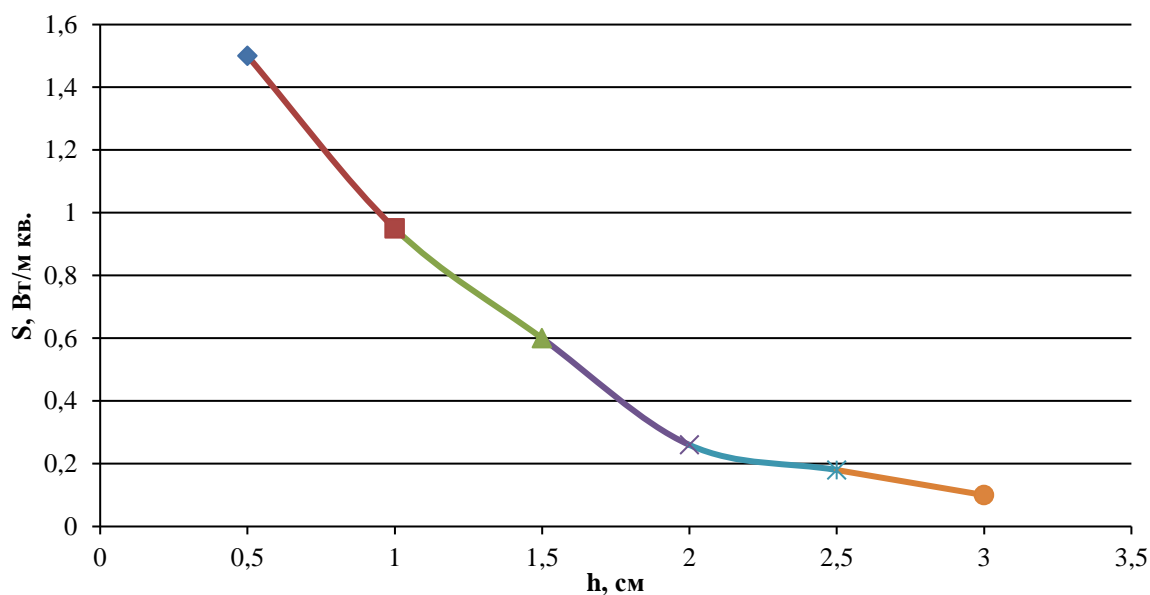


Рисунок 3. Зависимость спектральной плотности потока от расстояния h (разработан авторами)

Из рисунка 2 следует, что спектральная характеристика выбранного светодиода обеспечивает наиболее эффективное бактерицидное воздействие в силу следующих причин:

- максимум спектральной характеристики светодиода совпадает с центром области бактерицидной эффективности УФ-излучения;
- локализация оптической энергии в узкой спектральной области ($\Delta\lambda = 13$ нм);
- область спектра ($271,5\pm 6,5$) нм совпадает со спектром поглощения нуклеиновых кислот ДНК и РНК и спектром поглощения белков и основная роль в действии УФ-излучения на клетки принадлежит химическим изменениям ДНК: входящие в ее состав пиримидиновые основания (тимин) при поглощении квантов УФ-излучения образуют димеры, которые препятствуют нормальному удвоению ДНК при подготовке клетки к делению, что приводит к гибели клеток; имеет место также повреждение биологических мембран под действием УФ-излучения [2].

С учетом того, что характерный размер светодиодного кристалла составляет 2 мм, диаметр пластикового цилиндра составлял 33 мм, т. е. был более чем на порядок больше размера изучающей поверхности и в первом приближении источник излучения можно считать точечным.

Угловая апертура излучения такого точечного источника составляет 50° , при этом ход лучей внутри цилиндрического элемента представлен на рисунке 4.

Малое значение угловой апертуры является причиной появления «мертвой» зоны, т. е. области, в которой отсутствует УФ-облучение и, следовательно, не имеет места бактерицидный эффект.

Для устранения появления «мертвой» зоны боковая поверхность цилиндра покрывалась тонким слоем отражающей фольги, что создавало эффект наличия виртуальных источников на боковой поверхности. Виртуальные источники излучения обеспечивали равномерную засветку всей поверхности дна цилиндра, на которой располагались бактерии.

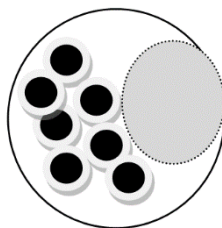
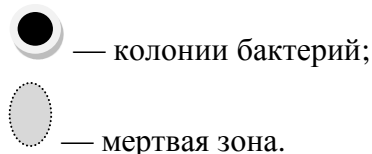


Рисунок 4. Формирование мертвой зоны при облучении бактерий (разработан авторами)



Обсуждение полученных результатов

Результаты бактерицидного воздействия для случая отсутствия фольги и для случая с фольгой на боковой поверхности оценивали при различных временных экспозициях: 5 мин., 10 мин., 20 мин., 30 мин.

Для оценки бактерицидного действия УФ излучения светодиодного источника рассматривался коэффициент бактерицидной эффективности $K_{эфф}$, который определялся как отношение числа уничтоженных бактерий N_1 к числу оставшихся жизнеспособными N_2 .

При этом пренебрегая разбросом линейных размеров бактерий и считая, что они распределены в чашки Петри равномерным слоем, величины N_1 и N_2 можно считать пропорциональным площадям S_1 и S_2 , соответствующим областям уничтоженных и жизнеспособных бактерий.

Коэффициент бактерицидной эффективности излучения светодиодного источника определялся следующим образом:

$$K_{эфф} = S_1/S_2. \quad (1)$$

На рисунке 5 и рисунке 6 представлены результаты проведенных экспериментальных исследований.

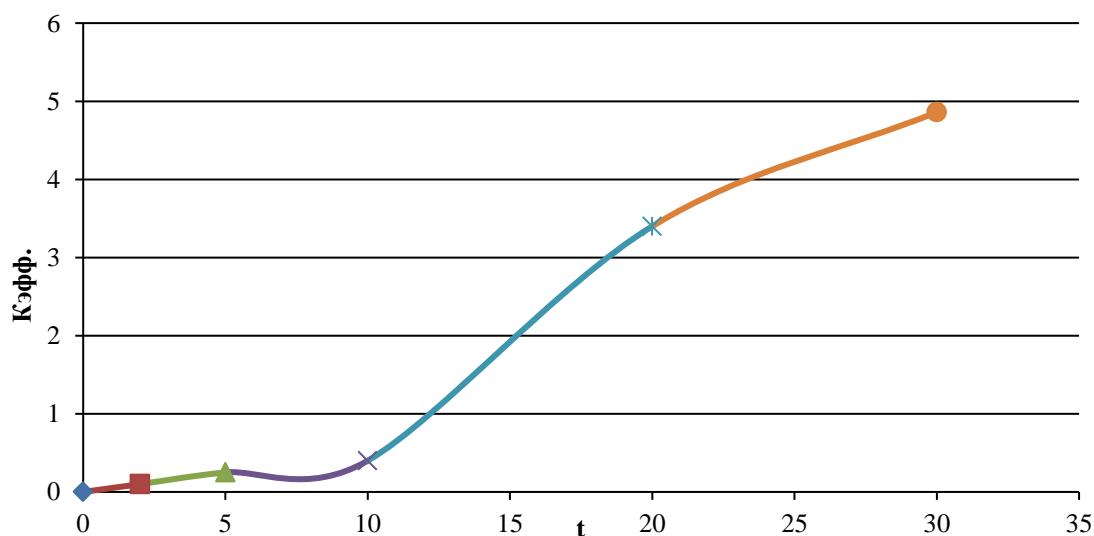


Рисунок 5. Результаты УФ-облучения без фольги (разработан авторами)

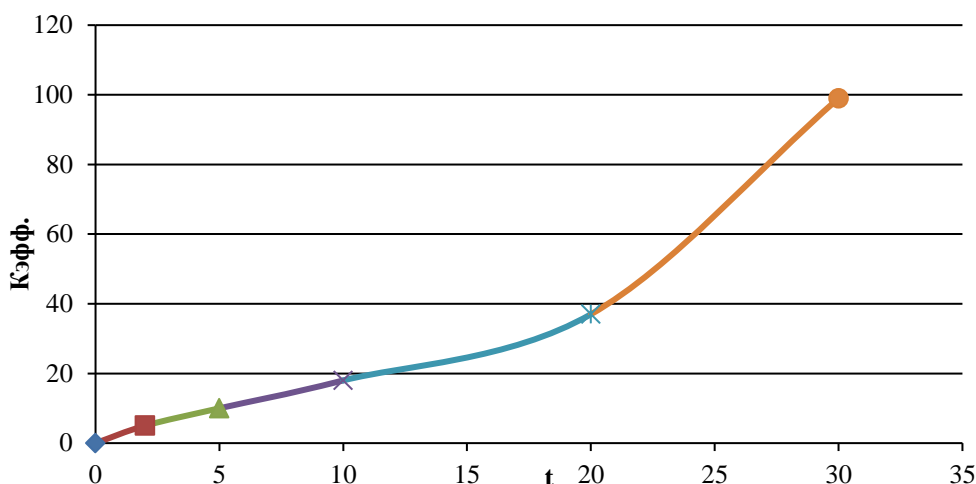


Рисунок 6. Результаты УФ-облучения с фольгой (разработан авторами)

Следует отметить, что практическую значимость имеет вариант использования системы виртуальных источников излучения за счет отражающей пленки на боковой поверхности цилиндрического объема.

В этом случае зависимость $K_{эфф}(t)$ можно аппроксимировать полиномом третьей степени следующего вида:

$$K_{эфф}(t) = 0,0061t^3 - 0,598t^2 + 2,6448t - 0,235,$$

причем коэффициент корреляции составляет 0,99.

Теоретические предпосылки получения положительных результатов исследований

Живой организм и составляющие его системы находятся не только под постоянным действием разнообразных электромагнитных полей, но и сами являются источниками излучения в широком диапазоне электромагнитного спектра, при этом белки, липиды и их совокупности являются структурами, по которым происходит миграция энергии. Так белковые оболочки и мембраны могут рассматриваться как аккумуляторы и трансформаторы энергии фотонов. Кроме того, на основе экспериментальных данных и теоретических концепций, имеющихся на сегодняшний день, обосновывается возможность индуцирования резонансных эффектов с помощью монохроматического оптического излучения.

На основе схематического рассмотрения структурной организации бактерий, на примере стафилококка, имеющего сферическую форму клетки, можно обосновать бактерицидное действие УФ-излучения выбранной длины волны.

При помещении клеток стафилококка на основе цилиндрического объема имеет место равномерность микрогеометрического распределения падающей световой энергии, что обеспечивает однородность ее поглощения микробиологическими объектами.

Так как мембранная оболочка включает в себя фосфолипидные головки, вращающиеся с частотой 1×10^{15} Гц, то должно иметь резонансное поглощение энергии $h\nu$ оптического излучения с частотой $\nu \sim 1 \times 10^{15}$ Гц (так как каждая фосфолипидная головка представляет собой элементарный магнитный диполь) и $\lambda \sim 270$ нм (рис. 7).

Такое поглощение энергии оптического излучения мембраной может привести к ее локальному нагреву и разрушению. Более того, спектральная характеристика поглощения

нативной двухцепочечной ДНК имеет максимум в интервале длин волн 260–270 нм, что также создает условия для нормального функционирования ДНК и клетки в целом.



Рисунок 7. Структурная организация клетки бактерий (*Staphylococcus aureus* относится к грамположительным микроорганизмам), изображение взято с <http://900igr.net/prezentacija/biologija/mejz-161878/grampolozhitelnye-bakterii-5.html>

Выводы

1. Представляется, что обеззараживание воздуха в индивидуальных системах вентиляции на основе рассеянного УФ-излучения является актуальной, обладает научной новизной и практической ценностью и должна быть востребована потенциальными потребителями.
2. Полученные результаты могут быть использованы для исследования влияния воздействия УФ-излучения светодиодного источника в рамках замкнутого объема на более широкий класс болезнетворных микроорганизмов.
3. Установлено существенное повышение коэффициента бактерицидной эффективности $K_{эфф}$, который определялся как отношение числа уничтоженных бактерий N_1 к числу оставшихся жизнеспособными N_2 , для опыта с фольгой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биофизика. Под ред. Артюхова В.Г. Деловая книга. 2009. — 294 с.
2. Вассерман, А.Л. Проектирование и эксплуатация ультрафиолетовых бактерицидных установок / А.Л. Вассерман; под ред. Ю.Б. Поповского. — М., 2009 — 56 с.
3. Марьин, В.А. Исследование схем последовательности фаз роста периодической культуры бифидобактерий и лактобактерий / В.А. Марьин, Д.В. Харитонов // Техника и технология пищевых производств. — 2010 — № 4(19). — С. 24–28.

4. Continuous and Pulsed Ultraviolet Light for Nonthermal Treatment of Liquid Foods. Part 1: Effects on Quality of Fructose Solution, Apple Juice, and Milk / M. Orłowska [et al.] // *Food and Bioprocess Technology*. — 2013 — Vol. 6, Issue 6 — P. 1580–1592.
5. Akshay Kumar Anugu Microbial inactivation and allergen mitigation of food matrix by pulsed ultraviolet light [электронный ресурс]. — 2013. <http://ufdc.ufl.edu/UFE0045406/00001>.
6. Effect of pulsed-light treatment on milk proteins and lipids / Noura Elmnasser [et al.] // *J. Agric Food Chem.* — 2008 — Vol. 56(6). — P. 1984–1991.
7. Masschelein, W.J. Ultraviolet light in water and wastewater sanitation / W.J. Masschelein, R.G. Rice // Boca Raton: CRC Press., 2002. — 192 p.
8. UV dose required to achieve incremental log inactivation of bacteria, protozoa and viruses / G. Chevretil [et al.] // *IUVA News*. — 2006 — Vol. 8(1). — P. 38–45.
9. Bolton, J.R. Ultraviolet applications handbook / J.R. Bolton // Bolton Photosciences Inc., Ayr, Ontario, Canada. — 2001.
10. Guerrero-Beltrán, J.A. Reduction of *Saccharomyces cerevisiae*, *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in apple juice by ultraviolet light / J.A. Guerrero-Beltrán, G.V. Barbosa-Ganovas // *Journal of Food Process Engineering*. — 2005 — Vol. 28(5). — P. 437–452.

Kochetkov Andrey Viktorovich

Perm National Research Polytechnical University, Perm, Russia
E-mail: soni.81@mail.ru

Pavlov Alexander Nikolaevich

Scientific and Production Enterprise «Rocket», Saratov, Russia
E-mail: alexpins@yandex.ru

Solopov Pavel Alexandrovich

Scientific and Production Enterprise «Rocket», Saratov, Russia
E-mail: alexpins@yandex.ru

Belousov Gennady Yurievich

Scientific and Production Enterprise «Rocket», Saratov, Russia
E-mail: yurii.p63@mail.ru

Pryanichnikov Yuri Borisovich

Scientific and Production Enterprise «Rocket», Saratov, Russia
E-mail: yurii.p63@mail.ru

Zaur Yurievich Khaptsev

Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia
E-mail: alexpins@yandex.ru

Bessonova Maria Sergeevna

Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia
E-mail: alexpins@yandex.ru

Disinfection of air in individual ventilation systems based on scattered ultraviolet radiation

Abstract. In the conditions of a pandemic caused by various coronavirus mutations, the task of air disinfection in individual ventilation systems arises. The authors conducted experiments on the effects of UV radiation on bacteria of the genus *Staphylococcus*.

The local volume was an opaque plastic cylinder, into the side surface of which a UV-band LED was inserted.

An LED of type S3535UVCDR100-W275-P40-V6.5 was used as a UV radiation source.

It was found that the spectral region (271.5 ± 6.5) nm coincides with the absorption spectrum of DNA and RNA nucleic acids and the absorption spectrum of proteins, and the main role in the effect of ultra violet radiation on cells belongs to chemical changes in DNA: pyrimidine bases (thymine) included in its composition form dimers when absorbing UV radiation quanta, which prevent the normal doubling of DNA when preparing cells for division, which leads to cell death; there is also damage to biological membranes under the action of UV radiation.

A significant increase in the coefficient of bactericidal efficiency was found, which was defined as the ratio of the number of destroyed bacteria to the number of remaining viable, for the experiment with foil.

Keywords: pandemic; ultraviolet radiation; disinfection; antibacterial effect; ventilation; protective systems; bacteria of the genus *Staphylococcus*; bactericidal efficacy; LED; foil

REFERENCES

1. Biofizika. Pod redakciej Artyuhova V.G. Delovaya kniga. 2009. — 294 s.
2. Vasserman, A.L. Proektirovanie i ekspluatatsiya ul'trafioljetovyh baktericidnyh ustanovok / A.L. Vasserman; pod red. Yu.B. Popovskogo. — M., 2009 — 56 s.
3. Mar'in, V.A. Issledovanie skhem posledovatel'nosti faz rosta periodicheskoj kul'tury bifidobakterij i laktobakterij / V.A. Mar'in, D.V. Haritonov // Tekhnika i tekhnologiya pishchevyh proizvodstv. — 2010 — № 4(19). — S. 24–28.
4. Continuous and Pulsed Ultraviolet Light for Nonthermal Treatment of Liquid Foods. Part 1: Effects on Quality of Fructose Solution, Apple Juice, and Milk / M. Orłowska [et al.] // Food and Bioprocess Technology. — 2013 — Vol. 6, Issue 6 — P. 1580–1592.
5. Akshay Kumar Anugu Microbial inactivation and allergen mitigation of food matrix by pulsed ultraviolet light [elektronnyj resurs]. — 2013. <http://ufdc.ufl.edu/UFE0045406/00001>.
6. Effect of pulsed-light treatment on milk proteins and lipids / Noura Elmnasser [et al.] // J. Agric Food Chem. — 2008 — Vol. 56(6). — P. 1984–1991.
7. Masschelein, W.J. Ultraviolet light in water and wastewater sanitation / W.J. Masschelein, R.G. Rice // Boca Raton: CRC Press., 2002. — 192 p.
8. UV dose required to achieve incremental log inactivation of bacteria, protozoa and viruses / G. Chevretils [et al.] // IUVA News. — 2006 — Vol. 8(1). — P. 38–45.
9. Bolton, J.R. Ultraviolet applications handbook / J.R. Bolton // Bolton Photosciences Inc., Ayr, Ontario, Canada. — 2001.
10. Guerrero-Beltrán, J.A. Reduction of *Saccharomyces cerevisiae*, *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in apple juice by ultraviolet light / J.A. Guerrero-Beltrán, G.V. Barbosa-Ganovas // Journal of Food Process Engineering. — 2005 — Vol. 28(5). — P. 437–452.