



Костюченко С.В.<sup>1</sup>, Васильев А.И.<sup>1</sup>, Ткачев А.А.<sup>1</sup>, Загайнова А.В.<sup>2</sup>, Курбатова И.В.<sup>2</sup>,  
Абрамов И.А.<sup>2</sup>, Юдин С.М.<sup>2</sup>, Грицюк О.В.<sup>2</sup>

## Изучение эффективности применения ультрафиолетовых бактерицидных установок (УФ-рециркуляторов) закрытого типа для обеззараживания воздушной среды помещений

<sup>1</sup>ООО «Производственная компания "Лаборатория импульсной техники"», 107076, Москва, Россия;

<sup>2</sup>ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»  
Федерального медико-биологического агентства, 119991, Москва, Россия

**Введение.** Работа посвящена оценке результатов собственных исследований воздуха закрытых помещений в отношении микробного загрязнения при работе ультрафиолетовых бактерицидных установок (УФ-рециркуляторов) закрытого типа с различными режимами (различными УФ-дозами). Также проведён теоретический расчёт влияния отношения производительности УФ-рециркулятора к объёму воздуха обрабатываемого помещения на эффективность обеззараживания воздуха.

**Материалы и методы.** Проводили исследования воздуха закрытых помещений по показателям ОМЧ (включая кокковую микрофлору) и дрожжевые и плесневые грибы. Отбор и оценку проб воздуха проводили в соответствии с требованиями МУК 4.2.2942-11 «Методы санитарно-бактериологических исследований объектов окружающей среды, воздуха и контроля стерильности в лечебных организациях». Оценку результатов проводили в соответствии с Р 3.5.1904-04 «Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях». В ходе исследования использовали агаризованные питательные среды: агар Сабуро, желточно-солевой агар (ЖСА), мясо-пептонный агар (МПА), питательный агар с добавлением 5% бараньей крови (кровяной агар), висмут-сульфит агар, XLD-агар, цетримид-агар, среда «Блеск», среда Эндо.

**Результаты.** В результате проведённых исследований показано, что доза УФ-облучения порядка 12–15 мДж/см<sup>2</sup> приводит к незначительному изменению концентрации бактерий (ОМЧ) и грибов в воздухе (эффективность составила 58 и 69% соответственно). УФ-дозы порядка 25–30 мДж/см<sup>2</sup> значительно снижают концентрацию бактерий (ОМЧ) и грибов в воздухе (эффективность составила 99,99 и 99,4% соответственно). Теоретический расчёт показал, что эффективно использование УФ-рециркулятора такой производительности, которая обеспечивает кратность воздухообмена в помещении не менее 4 (при работающей вентиляции с кратностью не ниже 2).

**Заключение.** Для эффективного применения УФ-рециркуляторов в закрытых помещениях в отношении бактерий и грибов необходимо использовать модели, обеспечивающие УФ-дозу не менее 25–30 мДж/см<sup>2</sup>, при этом их производительность по расходу воздуха должна обеспечивать кратность воздухообмена не менее 4.

**Ключевые слова:** обеззараживание воздуха; ультрафиолет (УФ); УФ-доза; рециркуляция воздуха; УФ-рециркулятор; бактерии; грибы

**Для цитирования:** Костюченко С.В., Васильев А.И., Ткачев А.А., Загайнова А.В., Курбатова И.В., Абрамов И.А., Юдин С.М., Грицюк О.В. Изучение эффективности применения ультрафиолетовых бактерицидных установок (УФ-рециркуляторов) закрытого типа для обеззараживания воздушной среды помещений. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(11): 1229-1235. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1229-1235>

**Для корреспонденции:** Загайнова Анжелика Владимировна, канд. биол. наук, зав. лаб. микробиологии и паразитологии ФГБУ ЦСП Минздрава России, 119121, Москва. E-mail: angelikaangel@mail.ru

**Участие авторов:** Васильев А.И. — концепция и дизайн исследования; Загайнова А.В. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста; Грицюк О.В. — сбор и обработка материала; Курбатова И.В., Абрамов И.А. — сбор и обработка материала, написание текста; Ткачев А.А. — статистическая обработка, написание текста; Костюченко С.В., Юдин С.М. — редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

**Конфликт интересов.** Финансовый интерес в отношении маркетинга описываемого медицинского оборудования (сотрудник компании-производителя) у части авторов.

**Финансирование.** Публикуется на правах рекламы.

Поступила: 31.08.2021 / Принята к печати: 28.09.2021 / Опубликовано: 30.11.2021

Sergey V. Kostyuchenko<sup>1</sup>, Alexander I. Vasilev<sup>1</sup>, Andrey A. Tkachev<sup>1</sup>, Anzhelika V. Zagainova<sup>2</sup>,  
Irina V. Kurbatova<sup>2</sup>, Ivan A. Abramov<sup>2</sup>, Sergey M. Yudin<sup>2</sup>, Olga V. Gritsyuk<sup>2</sup>

## Study of the effectiveness of the use of closed-type UV-recirculators for air disinfection in enclosed space

<sup>1</sup>Scientific Production Association LIT, Moscow, 107076, Russian Federation;

<sup>2</sup>Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Medical Biological Agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation

**Introduction.** The research is devoted to assessing the results of our studies of indoor air concerning microbial contamination during the operation of a UV recirculator with different modes (different UV doses). Also, a theoretical calculation of the influence of the ratio of the capacity of the UV recirculator to the air volume of the treated room on the efficiency of air disinfection has been made.

**Materials and methods.** The study of indoor air in terms of total bacterial count (TBC), including coccal microflora and yeast and mould fungi, were carried out. Air sampling and evaluation were carried out under the requirements of Methodical guidelines MUK 4.2.2942-11 "Methods of sanitary and bacteriological studies of environmental objects, air and sterility control in medical institutions". The evaluation of the results was carried out following R 3.5.1904-04, "The use of ultraviolet bactericidal radiation for disinfection of indoor air". During the study, agar culture media were used: Sabouraud agar, yolk-salt agar (YSA), meat-peptone agar (MPA), nutrient agar with the addition of 5% sheep blood (blood agar), bismuth sulfite agar, XLD-agar, cetrinide-agar, "Shine" agar, Endo agar.

**Results.** As a result of the studies carried out, it was shown that a dose of UV irradiation of the order of 12–15 mJ/cm<sup>2</sup> leads to an insignificant change in the concentration of bacteria (TBC) and fungi in the air (the efficiency was 58% and 69%, respectively). UV doses of the order of 25–30 mJ/cm<sup>2</sup> significantly reduce the concentration of bacteria (TBC) and fungi in the air (efficiency was 99.99% and 99.4%, respectively). A theoretical calculation showed that it is practical to use a UV recirculator of such a capacity that provides an air exchange rate in the room of at least 4 (with ventilation operating at a rate of at least 2).

**Conclusion.** To effectively use UV recirculators in enclosed spaces against bacteria and fungi, it is necessary to use models that provide a UV dose of at least 25–30 mJ/cm<sup>2</sup>. In contrast, their air capacity should provide an air exchange rate of at least 4.

**Keywords:** air disinfection; ultraviolet; UV; UV dose; air recirculation; UV recirculator; bacteria; fungi

**For citation:** Kostyuchenko S.V., Vasil'ev A.I., Tkachev A.A., Zagainova A.V., Kurbatova I.V., Abramov I.A., Yudin S.M., Gritsyuk O.V. Study of the effectiveness of the use of closed-type UV recirculators for air disinfection in enclosed space. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(11): 1229–1235. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-11-1229-1235> (In Russ.)

**For correspondence:** Anzhelika V. Zagainova, MD, PhD, head. lab. microbiology and parasitology of the Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of the Federal Medical Biological Agency of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: [angelikaangel@mail.ru](mailto:angelikaangel@mail.ru)

**Information about the authors:**

Zagainova A.V., <https://orcid.org/0000-0003-4772-9686> Abramov I.A., <https://orcid.org/0000-0002-7433-7728> Yudin S.M., <https://orcid.org/0000-0002-7942-8004>  
Gritsyuk O.V., <https://orcid.org/0000-0001-9728-3075> Kurbatova I.V., <https://orcid.org/0000-0003-3152-4862>

**Contribution:** Vasilev A.I. – the concept and design of the study; Zagainova A.V. – the concept and design of the study, collection and processing of material, statistical processing, writing a text; Gritsyuk O.V. – collection and processing of material; Kurbatova I.V., Abramov I.A. – collection and processing of material, writing a text; Tkachev A.A. – statistical processing, writing a text; Kostyuchenko S.V., Yudin S.M. – editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

**Conflict of interest.** Financial interest in the marketing of the described medical equipment (employee of the manufacturing company) from some authors.

**Acknowledgement.** Published as an advertisement

Received: August 31, 2021 / Accepted: September 28, 2021 / Published: November 30, 2021

## Введение

Микробное загрязнение воздуха закрытых помещений представляет большую опасность для жизнедеятельности человека [1–5] в связи с тем, что санитарно-гигиеническое качество среды жилых и рабочих помещений, в которых современный человек проводит более 80% своей жизни, является фактором риска возникновения заболеваний различного генеза, в том числе передающихся воздушно-капельным путём [6, 7].

В настоящее время к числу биологических факторов риска, связанных с воздухом закрытых помещений, относят не только бактериальное, но и вирусное (в том числе SARS-CoV-2, возбудитель COVID-19), а также грибковое загрязнение, вызывающее у населения не только серьёзные патологии. Установлено, что грибы, входящие в состав домашней пыли, могут быть этиологическим фактором многих аллергических заболеваний. По данным ряда авторов, от 6 до 15% всего населения чувствительны к загрязнению воздушной среды грибами; от 2 до 30% населения имеет аллергопатологию [8–18].

Известно, что если в помещении присутствуют источники инфекций, передающихся воздушно-капельным путём, то увеличение кратности воздухообмена (увеличение подачи чистого воздуха за единицу времени) приводит к уменьшению вероятности передачи инфекции.

Таким образом, для обычного помещения с кратностью вентиляции не больше двух в эпидемически неблагоприятные периоды помещение необходимо либо более интенсивно проветривать путём увеличения естественной вентиляции (что недопустимо для помещений лечебно-профилактических учреждений в соответствии с действующим санитарным законодательством), либо иметь возможность увеличить мощность вентиляционной системы. Надо понимать, что реализовать это не всегда возможно: дополнительные мощности вентиляционной системы должны быть заложены ещё при строительстве, а подача холодного воздуха в зимние периоды года в помещении может приводить к нежелательным последствиям. Следует заметить, что качественное проветривание помещения для обеспечения высокой кратности воздухообмена и в тёплые периоды года увеличивает скорость потока воздуха с образованием сквозняков, что также является неблагоприятным фактором для здоровья человека.

В качестве альтернативы увеличению кратности воздухообмена в помещении для обеззараживания воздуха и профилактики различных заболеваний, передающихся воздушно-капельным путём, применяются локальные системы обеззараживания воздуха – ультрафиолетовые бактерицид-

ные установки (УФ-рециркуляторы). Обеззараживание ультрафиолетовым излучением (УФИ) является экологически безопасным, экономичным и удобным в эксплуатации физическим методом, обладающим универсальным механизмом обеззараживания для всех микроорганизмов и, как следствие, универсальным спектром действия, а также возможностью сочетания с любым химическим методом обеззараживания.

УФИ обладает эффективным действием на все микроорганизмы, включая бактерии, вирусы, споры и грибы, связанным с необратимым повреждением ДНК и РНК микроорганизмов, приводящим к их инактивации. Спектральный состав УФИ, вызывающего бактерицидное действие, лежит в интервале длин волн 205–315 нм [19].

В качестве источников УФИ в рециркуляторах благодаря высокоэффективному преобразованию электрической энергии наибольшее распространение получили разрядные ртутные лампы низкого давления, у которых в процессе электрического разряда значительная часть энергии переходит в излучение длиной волны 253,7 нм. Всё большее распространение получает современное поколение таких ламп – амальгамные лампы низкого давления. В них ртуть находится в связанном безопасном состоянии, и такие лампы обладают более мощным выходом УФИ, нежели традиционные лампы низкого давления.

Наряду с длиной волны 253,7 нм, обладающей бактерицидным действием, в спектре излучения ртутного разряда низкого давления содержится длина волны 185 нм, которая в результате взаимодействия с молекулами кислорода образует озон в воздушной среде. Наличие высоких концентраций озона в воздушной среде может привести к опасным последствиям для здоровья человека вплоть до отравления со смертельным исходом [20]. В связи с этим были разработаны и широко выпускаются бактерицидные безозоновые лампы, у которых за счёт применения специального внутреннего покрытия колбы исключается выход излучения с длиной волны 185 нм, а следовательно, и генерация озона в воздушной среде.

Важно отметить, что в соответствии с Руководством Минздрава Р 3.5.1904-04 «Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях» УФ-установки закрытого типа не должны быть источниками попадания УФ-излучения с длиной волны 200–280 нм в окружающую среду. В работе [21] отмечалось, что зачастую среди рециркуляторов, представленных на рынке на момент исследования, присутствуют модели, допускающие выход УФ-излучения за пределы корпуса и поэтому не обеспечивающие защиту людей в помещении от вредоносного УФ-излучения.

УФ-рециркуляторы бывают различных конструкций, но всегда оснащены источниками УФ-излучения и вентиляторами, осуществляющими прогон воздуха через зону облучения УФ-ламп. Основными техническими характеристиками УФ-рециркуляторов являются производительность (выраженная в м<sup>3</sup>/ч) и эффективность обеззараживания (выраженная в % снижения концентрации микроорганизма). Эффективность обеззараживания определяется УФ-дозой (выраженной в мДж/см<sup>2</sup> или Дж/м<sup>2</sup>), обеспечиваемой рециркулятором.

Следует разделять эффективность рециркулятора и эффективность его применения в конкретном помещении. На последнюю влияет множество переменных факторов: объём и конфигурация помещения, место установки прибора, количество людей в помещении и др., тогда как первая является характеристикой самого прибора и не зависит от внешних условий.

Максимально достоверным способом определения эффективности обеззараживания воздуха УФ-рециркулятором является сравнительное исследование концентраций микроорганизма в воздухе на входе в прибор и на выходе из него. Непосредственно для каждого вида либо штамма микроорганизма или группы микроорганизмов должна определяться своя собственная эффективность обеззараживания данным прибором.

Цель исследования – сравнительная оценка эффективности обеззараживания воздуха закрытых помещений УФ-рециркулятором в отношении микробного загрязнения при различных дозах УФ-облучения и кратностях воздухообмена в помещении.

## Материалы и методы

В рамках данной работы для оценки эффективности рециркуляторов выбраны следующие показатели: ОМЧ (включая кокковую микрофлору), а также дрожжевые и плесневые грибы – как наиболее обобщённые группы микроорганизмов.

Эксперимент проводили в рабочем помещении офисного здания в условиях естественного микробного загрязнения воздуха (рис. 1). Офисные помещения для проведения экспериментальных работ выбраны с таким условием, чтобы в течение 5 лет в них не проводились ремонтно-строительные работы, не было протечек воды, стены были окрашены масляной краской, потолок покрыт плитой потолочной из минерального непористого волокна.

В ходе проведения исследований использовалось УФ-оборудование, зарегистрированное в РФ как медицинское изделие и имеющее регистрационное удостоверение Минздрава.

Воздух из «грязного» помещения (коридор офисного здания с естественным микробиологическим фоном) подавался в отдельное изолированное «чистое» экспериментальное помещение объёмом 28 м<sup>3</sup> посредством вентиляторов, входящих в состав УФ-рециркулятора «АЭРОЛИТ-550». Такая схема позволяет обеспечить только однократный проход воздуха через УФ-рециркулятор. Воздух из экспериментального помещения отводился на улицу через обратный клапан, предотвращающий обратный ток воздуха.

Разделение помещений необходимо для возможности проведения оценки эффективности обеззараживания при однократном проходе воздуха через УФ-рециркулятор с заданной УФ-дозой. Перед началом проведения исследования экспериментальное помещение качественно обеззараживалось открытым УФ-облучателем «СВЕТОЛИТ-600» с последующим контрольным отбором проб воздуха. Эксперимент проводили при условии отсутствия роста на питательных средах общего количества микроорганизмов, дрожжевых и плесневых грибов (КОЕ/100 дм<sup>3</sup>), стафилококков (250 дм<sup>3</sup>). Таким образом, рост микроорганизмов на питательных средах, отобранных во время эксперимента, может быть обусловлен только микроорганизмами, попавшими из

«грязного» помещения в «чистое», при прохождении через работающий УФ-рециркулятор.

Полученную концентрацию микроорганизмов в «чистом» помещении во время работы УФ-рециркулятора можно рассматривать как концентрацию микроорганизмов на выходе из УФ-рециркулятора. Непосредственный отбор проб из потока воздуха, выходящего из УФ-рециркулятора, представляется неинформативным вследствие высоких скоростей выдуваемого воздуха, исключающих использование пробоотборного устройства ПУ-1Б. Фоновую концентрацию микроорганизмов в «грязном» помещении можно рассматривать в качестве концентрации микроорганизмов на входе в УФ-рециркулятор. В коридоре после 15-минутного пребывания пятерых человек (работников офисных помещений) без признаков ОРВИ осуществляли контроль воздуха по показателям кокковой микрофлоры и дрожжевых и плесневых грибов. Контроль воздуха осуществляли на всех этапах эксперимента (до начала, во время и после окончания эксперимента). В экспериментальном помещении отбор проб воздуха осуществляли через заданный промежуток времени, соответствующий не менее чем 10-кратному превышению производительности рециркулятора над объёмом экспериментального помещения, для гарантированного вытеснения исходного воздуха воздухом, прошедшим УФ-облучение в УФ-рециркуляторе.

Для обеззараживания воздуха использовали рециркулятор типа «АЭРОЛИТ» производительностью 500 м<sup>3</sup>/ч, работающий в двух режимах: с обеспечением доз  $28 \pm 4,2$  и  $14 \pm 2,1$  мДж/см<sup>2</sup>.

УФ-дозу определяли путём измерения интенсивности УФ-излучения в различных точках камеры облучения рециркулятора специальными УФ-датчиками с учётом расхода воздуха через рециркулятор. Также УФ-дозу рассчитывали с использованием гидроаэродинамического моделирования, а именно, рассчитывалось поле скоростей течения воздуха и световое поле УФ излучения в установке. Используя полученные данные, моделировалась траектория движения элементарных струй воздуха от входа к выходу и с учётом светового поля рассчитывалась УФ доза и относительное снижение количества микроорганизмов  $N/N_0$  для каждой элементарной струи ( $N_0$  количество микроорганизмов в струе на входе,  $N$  количество микроорганизмов в струе на выходе). Затем данные по струям обобщались и рассчитывалась эффективная доза (RED – Reduction Equivalent Dose [22]) для всего потока проходящего через УФ-рециркулятор воздуха. Сходимость результатов измерения и расчёта была полной в пределах ошибки измерения ( $\pm 15\%$ ).

При отборе воздуха для микробиологических исследований использовали поверенное пробоотборное устройство ПУ-1Б. Отбор и оценку проб воздуха проводили в соответствии с требованиями МУК 4.2.2942-11 «Методы санитарно-бактериологических исследований объектов окружающей среды, воздуха и контроля стерильности в лечебных организациях». Оценку результатов проводили в соответствии с Р.3.1.683-98 «Использование ультрафиолетового излучения для обеззараживания воздуха и поверхностей в помещениях».

Для осуществления контроля использовали агаризованные питательные среды, обеспечивающие рост широкого спектра микроорганизмов, включая дрожжевые и плесневые грибы: агар Сабуро, желточно-солевой агар (ЖСА), мясо-пептонный агар (МПА), питательный агар с добавлением 5% бараньей крови (кровяной агар), висмут-сульфит агар, XLD-агар, цетримид-агар, среда «Блеск», среда Эндо.

## Результаты

Применение УФ-рециркуляторов для обеззараживания воздуха считается эффективным, если уровень микробной обсеменённости после проведения обеззараживания воздуха не превышает допустимых пределов – пророст на чашке не выше 500 КОЕ/м<sup>3</sup> при использовании аспирационного метода. По результатам отобранных проб воздуха

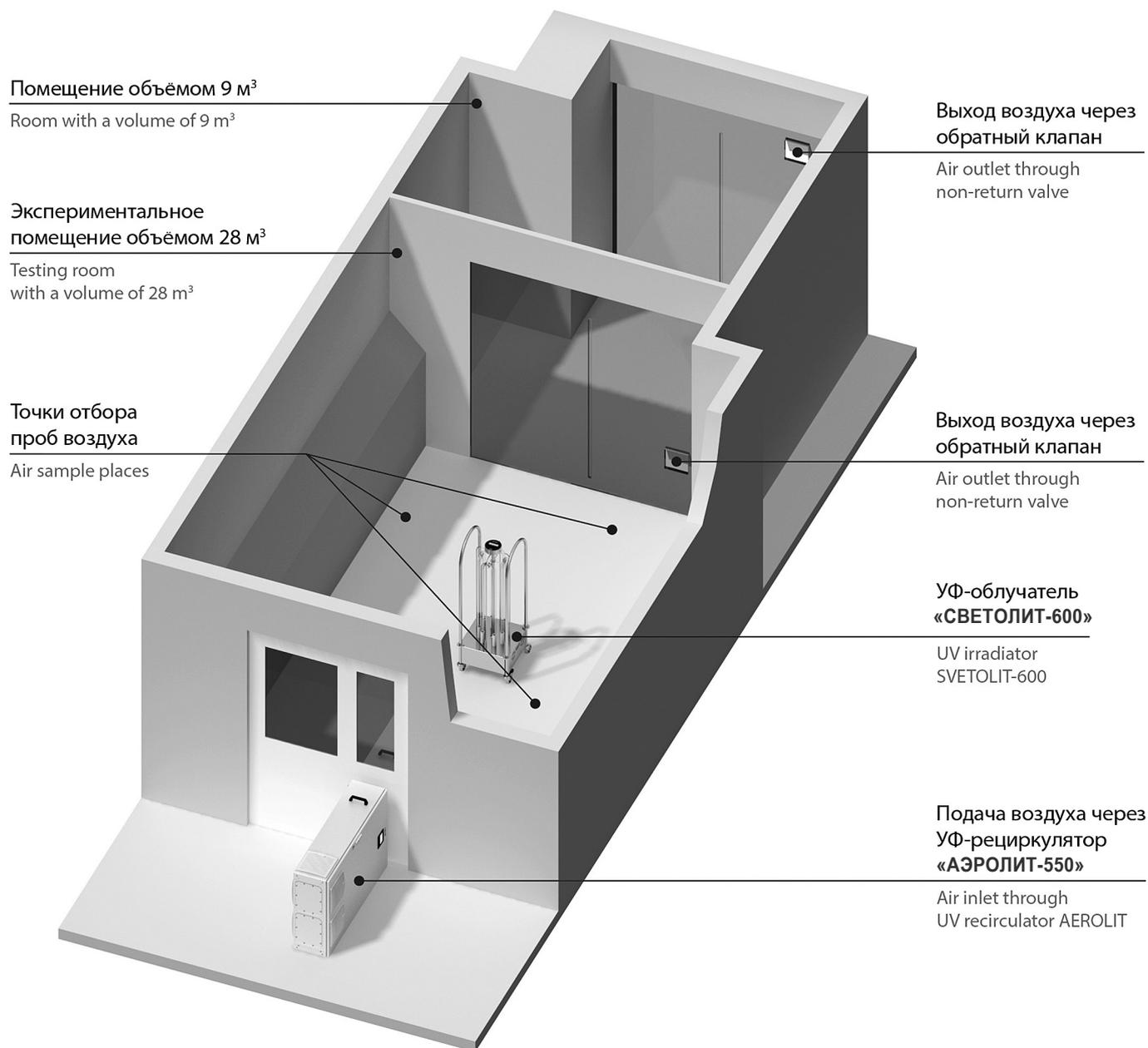


Рис. 1. Схема эксперимента с УФ-рециркулятором.

Fig. 1. A scheme of the test with UV recirculator.

в «грязном» и «чистом» помещениях рассчитывали эффективность работы рециркулятора по формуле:

$$\alpha = 100\% - \frac{N_{\text{ч}}}{N_{\text{г}}} \cdot 100,$$

где  $\alpha$  – бактерицидная эффективность работы прибора, %;  $N_{\text{ч}}$  – число микроорганизмов в «чистом» помещении;  $N_{\text{г}}$  – число микроорганизмов в «грязном» помещении.

Результаты исследований представлены в таблице. Исходная концентрация сапрофитной микрофлоры (ОМЧ, в том числе стафилококков) в коридоре составила от 390 до 440 КОЕ/м<sup>3</sup> (среднее значение  $418 \pm 1,45$  КОЕ/м<sup>3</sup>). После работы рециркулятора в режиме 28 мДж/см<sup>2</sup> в экспериментальном помещении сапрофитных микроорганизмов и стафилококков в воздухе не обнаружено – эффективность обеззараживания составила 99,99 %; при работе в режиме 14 мДж/см<sup>2</sup> концентрация сапрофитной микрофлоры и

стафилококков в экспериментальном помещении составила 40–190 КОЕ/м<sup>3</sup> (среднее значение  $115 \pm 1,45$  КОЕ/м<sup>3</sup>), эффективность обеззараживания составила 58,63%.

Исходная концентрация дрожжевых и плесневых грибов в коридоре составила от 100 до 220 КОЕ/м<sup>3</sup> (среднее значение  $160 \pm 1,43$  КОЕ/м<sup>3</sup>). После работы рециркулятора в режиме 28 мДж/см<sup>2</sup> в экспериментальном помещении эффективность обеззараживания по дрожжевым и плесневым грибам составила 99,4–99,99%; при работе в режиме 14 мДж/см<sup>2</sup> концентрация дрожжей и плесневых грибов составила 2–90 КОЕ/м<sup>3</sup> (среднее значение  $46 \pm 1,44$  КОЕ/м<sup>3</sup>), эффективность обеззараживания составила 69,13%.

Из полученных результатов видно, что применение небольших доз УФ-облучения (порядка 12–15 мДж/см<sup>2</sup>) не приводит к значительному изменению концентраций бактерий и грибов в воздухе. Эффективность в данном случае составляет всего 58% по ОМЧ и 69% по дрожжевым и плесневым грибам.

## Результаты анализов отобранных проб воздуха

## Results of air sample tests

Точка отбора проб Sample point	ОМЧ, КОЕ/м <sup>3</sup> ( $M \pm m^*$ ) Total bacteria count (TBC), CFU/m <sup>3</sup> ( $M \pm m^*$ )	Дрожжевые и плесневые грибы, КОЕ/м <sup>3</sup> ( $M \pm m^*$ ) Yeasts and moulds, CFU/m <sup>3</sup> ( $M \pm m^*$ )
Воздух в «чистом» помещении перед экспериментом Air in clean test room before the test	Отсутствие Not detected	Отсутствие Not detected
Исходный воздух в «грязном» помещении Initial air in the dirty room	418 ± 1.45	160 ± 1.43
Воздух в «чистом» помещении при работе рециркулятора с дозой: Air in clean test room with UV recirculator operation at:		
14 мДж/см <sup>2</sup> 14 mJ/cm <sup>2</sup> UV dose	115 ± 1.45 (эффективность / efficiency 58.63%)	46 ± 1.44 (эффективность / efficiency 69.13%)
28 мДж/см <sup>2</sup> 28 mJ/cm <sup>2</sup> UV dose	Отсутствие / Not detected (эффективность / efficiency 99.99%)	1 ± 0.1** (эффективность / efficiency 99.4%)

Примечание. \* – усреднённые результаты трёхкратных измерений / average by three samples; \*\* – результат одного измерения, два других измерения показали отсутствие.

Note. \* – average by threefold measurements; \*\* – the result of one measurement, two other measurements showed no / single sample result, two other samples have not detected values.

Зато применение повышенных доз УФ-облучения (порядка 25–30 мДж/см<sup>2</sup>) позволяет кардинально снизить концентрацию микроорганизмов. Эффективность по ОМЧ составила 99,99%, а по дрожжевым и плесневым грибам – 99,4%.

Оценка эффективности УФ-рециркуляторов закрытого типа в отношении вирусного загрязнения воздуха осложнена многими факторами. Используемый в санитарной вирусологии классический культуральный метод, позволяющий определить количество вирусов, представляющих эпидемическую опасность, в данном случае не обладает достаточной чувствительностью. Результаты вирусологического анализа методом ПЦР, получаемые при санитарно-вирусологическом исследовании объектов окружающей среды, не могут оцениваться однозначно. В настоящее время нет единого подхода в трактовке значимости обнаруженной вирусной РНК или ДНК, что крайне необходимо при оценке эпидемической опасности исследуемого объекта, например, воздуха закрытых помещений после обеззараживания. В сущности, обнаружение ДНК/РНК вируса в отобранной пробе может свидетельствовать о её контаминации вирусами, представляющими эпидемическую опасность, либо вирусами, инактивированными после обеззараживания, что не представляет опасности, либо об определении свободной РНК или ДНК, изолированной из вирусной частицы на момент её гибели и поэтому также не представляющей эпидемической опасности.

В связи с этим встаёт вопрос о косвенном определении эффективности обеззараживания воздуха от вирусных частиц УФ-рециркулятором путём расчётов влияния его работы на концентрацию вирусных частиц в помещении.

Изменение концентрации микроорганизмов в помещении от времени определяется разностью скоростей их поступления и удаления и описывается достаточно простым дифференциальным уравнением, решение которого приведено как в отечественной [23], так и в зарубежной литературе [22]:

$$C(t) = De^{-[B+\alpha R/V]t} + \left[1 - e^{-[B+\alpha R/V]t}\right] \left(\frac{BH+S}{B+\alpha R}\right),$$

где:  $C$  – концентрация микроорганизмов в помещении (КОЕ/м<sup>3</sup>);  $t$  – время;  $D$  – начальная концентрация микроорганизмов в помещении (КОЕ/м<sup>3</sup>);  $V$  – объём помещения (м<sup>3</sup>);  $B$  – производительность приточной вентиляции (м<sup>3</sup>/ч);  $R$  – производительность системы для обеззараживания воздуха (м<sup>3</sup>/ч);  $\alpha$  – эффективность обеззараживания (в долях

единицы);  $H$  – концентрация микроорганизмов в приточном воздухе (КОЕ/м<sup>3</sup>);  $S$  – скорость поступления микроорганизмов от источников в помещении (КОЕ/м<sup>3</sup>).

Предположим, что имеется помещение объёмом 100 м<sup>3</sup>. В этом помещении установлена приточно-вытяжная вентиляция производительностью 200 м<sup>3</sup>/ч (часовая кратность воздухообмена для данного помещения равна 2). Вентиляция работает постоянно и подаёт чистый наружный воздух (с нулевой концентрацией микроорганизмов). Принимается, что перемешивание воздуха в помещении полное.

В это помещение (рис. 1) в нулевой момент времени заходит человек, больной ОРВИ. Через 1 ч больной выходит из помещения. Исходя из данных по выделению частиц в процессе жизнедеятельности человека [23], можно оценить, что больной человек при дыхании, разговоре и чихании выделяет около 10 000 частиц вируса в час. В работе [24] указано, что инфицирующая доза гриппа А для кур составляет от 2 до 15 ЭИД<sub>50</sub> (эмбриональная инфицирующая доза), для человека она выше, поэтому с учётом данных из работы [25] можно принимать, что оценочная 50-процентная инфицирующая доза по гриппу А для человека равна 20 ЭИД<sub>50</sub>, то есть если здоровый человек поглотит за равное время (в районе 1 ч) 20 доз вирусов, то вероятность заболевания гриппом составит 50%. Согласно работе [26], можно рассматривать одну ЭИД<sub>50</sub> как одну частицу вируса.

В помещении присутствует УФ-рециркулятор различной производительности, но его эффективность всегда составляет 99,9%. В данном случае под эффективностью понимается снижение концентраций частиц вируса в воздухе на входе и на выходе из рециркулятора. УФ-рециркулятор может быть выключен или находиться в постоянной работе.

Рассмотрим несколько примеров (рис. 2).

1. УФ-рециркулятор выключен. Тогда в помещении через 1 ч установится концентрация вирусов, равная 43 частицам вируса в 1 м<sup>3</sup>, и даже если больной человек покинет помещение, то достаточно высокая обсеменённость воздуха будет сохраняться долго (около 30 мин), и здоровые люди, находящиеся в помещении, могут получить инфицирующую дозу.

2. В помещении установлен рециркулятор с производительностью 100 м<sup>3</sup>/ч. Как видно из рис. 2, и в этом случае в помещении установится достаточно большая концентрация микроорганизмов (31 частица вируса в м<sup>3</sup>), что практически сохраняет вероятность заболевания здоровых людей, находящихся в помещении, даже после выхода больного из помещения.

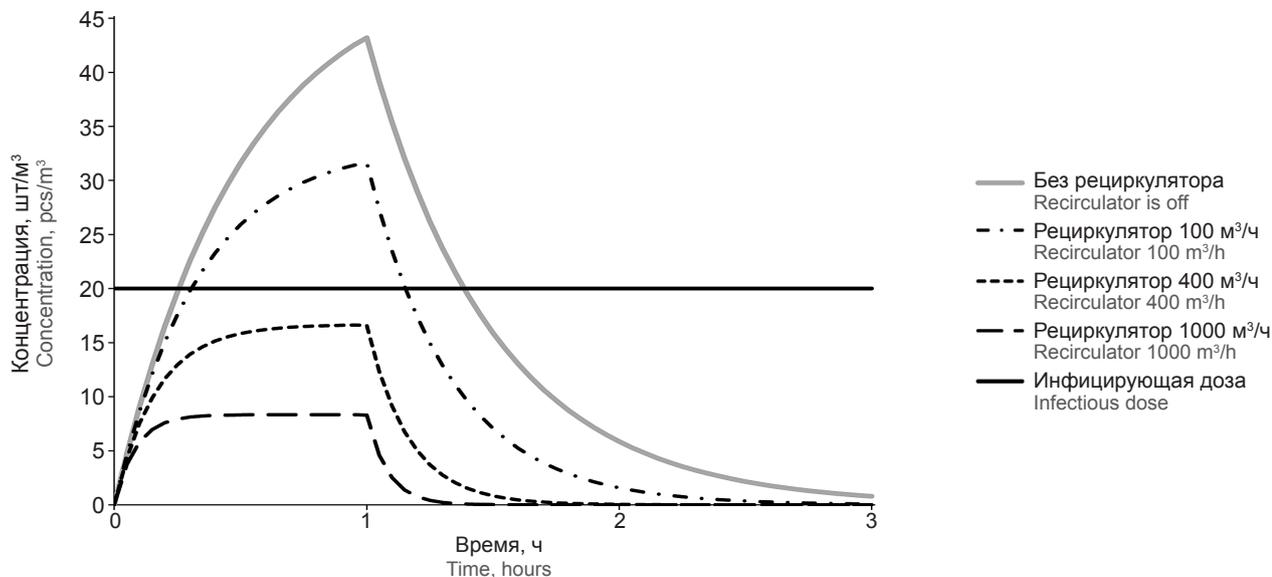


Рис. 2. Зависимость концентрации вирусов в воздухе помещения от условий обеззараживания.

Fig. 2. Correlation between virus concentration in the room air and room ventilation conditions.

3. В помещении установлен рециркулятор с производительностью 400 м<sup>3</sup>/ч. В помещении установится концентрация микроорганизмов всего 16 частиц вируса в 1 м<sup>3</sup>, которая очень быстро падает при выходе больного из помещения, и тем самым предотвращается заболевание здоровых людей, находящихся в помещении.

4. В помещении для обеззараживания установлен рециркулятор с высокой производительностью, например, 1000 м<sup>3</sup>/ч, так что совокупная кратность воздухообмена в помещении становится равной 12 (УФ-рециркулятор обеспечивает кратность 10, приточно-вытяжная вентиляция — кратность 2). В результате к тому же моменту времени концентрация микроорганизмов не превысит весьма малого уровня в 8 частиц вируса в 1 м<sup>3</sup>, который будет стремительно уменьшаться с того момента, как больной покинет помещение.

## Обсуждение

Как известно, широкая гамма выпускаемых в настоящее время УФ-рециркуляторов, ориентированных на борьбу с золотистым стафилококком и туберкулёзом, работает с дозами 7–11 мДж/см<sup>2</sup>, которых, исходя из полученных результатов, недостаточно для обеспечения эффективности хотя бы 90% по широкому спектру микроорганизмов.

Для многих микроорганизмов требуются высокие УФ-дозы для обеззараживания на 99,9%, например, для ротавируса требуется 24 мДж/см<sup>2</sup> [20], для MRSA — 12 мДж/см<sup>2</sup> [27], для клебсиеллы — 17,5 мДж/см<sup>2</sup> [28]. Соответственно, для эффективной работы по таким микроорганизмам нужны УФ-рециркуляторы, обеспечивающие УФ-дозы не менее 25 мДж/см<sup>2</sup>.

Полученные результаты подтверждают рекомендации Минздрава РФ [29], опубликованные в связи с пандемией COVID-19, в которых говорится:

- применение облучателей закрытого типа (рециркуляторов) с источником ультрафиолетового бактерицидного излучения внутри является эффективной мерой снижения риска распространения воздушных инфекций,

включая COVID-19, только при условии обеспечения достаточных УФ-доз облучения (не менее 25 мДж/см<sup>2</sup>) и необходимой кратности воздухообмена (обеспечение рециркуляции всего объёма воздуха в помещении не менее 4 раз за 1 ч);

- УФ-рециркуляторы, применяемые для обеззараживания воздуха закрытых помещений при непосредственном нахождении людей в зоне работы прибора, должны работать непрерывно в течение всего рабочего времени, быть оборудованы безозоновыми лампами и иметь конструкцию закрытого типа, предотвращающую выход УФ излучения за пределы прибора.

Также из данных, полученных путём теоретических расчётов (рис. 2), можно сделать вывод, что только использование рециркулятора с большой производительностью (с кратностью воздухообмена рециркулятора не ниже 4 при кратности воздухообмена вентиляции не ниже 2) может существенно уменьшить риск заражения ОРВИ в случае нахождения в закрытом помещении источника инфекционного заболевания (человека, больного ОРВИ). Представляется целесообразным дальнейшее проведение экспериментальной работы, направленной на практическое подтверждение теоретического расчёта.

## Заключение

1. Для эффективной работы по широкому спектру микроорганизмов УФ-рециркулятор должен обеспечивать повышенную дозу УФ облучения в диапазоне 25–30 мДж/см<sup>2</sup>.

2. Работа УФ-рециркуляторов с УФ дозами более 25 мДж/см<sup>2</sup> обеспечивают также удаление вирусов, вызывающих ОРВИ, в том числе COVID-19 (см. Временные методические рекомендации «Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19)» Министерства здравоохранения Российской Федерации [29]).

3. Необходимая кратность воздухообмена (обеспечение рециркуляции всего объёма воздуха в помещении) через УФ-рециркулятор не менее 4-х раз за 1 ч.

## Литература

(п.п. 1, 2, 16, 17, 22, 26–29 см. References)

3. Фотина Т.И., Зон Г.А. Качественный состав микрофлоры воздуха индустриальных помещений. В кн.: *Вклад молодых учёных Украины в интенсификацию сельскохозяйственного производства*. Харьков; 1987.
4. Шакарян Г.А., Акопян М., Севян Т.К. Результаты бактериологических исследований воздуха некоторых животноводческих помещений. В кн.: *Сборник научных трудов Ереванского зооветеринарного института. Том 60*. Ереван; 1987: 103–7.
5. Шведов В. Индекс свежести воздушной среды. *Коневодство и конный спорт*. 1992; (4): 23.
6. Гушин И.С., Ильина Н.И., Польнер С.А. *Аллергический ринит. Пособие для врачей*. М.; 2002.
7. Блинов Н.П., Васильева Н.В. Микромицеты аллергены. В кн.: «*Булатовские чтения*». Тезисы докладов Научно-практической конференции «Актуальные вопросы пульмонологии и клинической аллергологии». СПб.; 1999.
8. Адо В.А., Зяблова Н.М., Ирошников Е.С. *Экология и аллергия*. Воронеж; 1992.
9. Адо А.Д. Экология и аллергология. *Клиническая медицина*. 1990; 68(9): 3–6.
10. Ильина Н.И. Эпидемиология аллергического ринита. *Российская ринология*. 1999; 1: 23–5.
11. Скепьян Н.А. *Аллергические болезни. Дифференциальный диагноз, лечение*. Минск; 2000: 43–50, 228–32.
12. Соболев А.В. *Аллергические заболевания органов дыхания, вызываемые грибами*: Автореф. дисс. ... д-ра мед. наук. СПб.; 1997.
13. Балаболкин И.И., Ефимова А.А. Влияние экологического неблагополучия на распространенность болезней органов дыхания. В кн.: *Экология и здоровье детей*. М.: Медицина; 1998: 188–205.
14. Балаболкин И.И., Клыев Б.В., Ботвиньева В.В., Ибоян А.С., Иванов В.Г. Клинические и иммунологические проявления бронхиальной астмы у детей с сенсибилизацией к плесневым грибам. *Педиатрия*. 1993; (5): 21–3.
15. Блинов Н.П. Медицинская микология. В кн.: Борисов Л.Б., Смирнова А.М., ред. *Медицинская микробиология, вирусология и иммунология*. М.: Медицина; 1994: 441–66.
18. Загайнова А.В., Сухина М.А., Артемова Т.З., Гипп Е.К., Курбатова И.В., Максимкина Т.Н. и соавт. Оценка эффективности использования УФ-облучателей рециркуляторного типа для обеззараживания воздушной среды в закрытых помещениях. *Бактериология*. 2019; 4(1): 21–7. <https://doi.org/10.20953/2500-1027-2019-1-21-27>
19. Вассерман А.Л., Шандала М.Г., Юзбашев В.Г. Применение ультрафиолетового излучения для обеззараживания воздуха в лечебных палатах в ряду мероприятий по профилактике внутрибольничных инфекций. *Поликлиника*. 2013; (6): 74–6.
20. Р 3.5.1904-04.3.5. Дезинфектология. Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях. М.; 2004.
21. Рахманин Ю.А., Калинина Н.В., Гапонова Е.Б., Загайнова А.В., Недачин А.Е., Доскина Т.В. Гигиеническая оценка безопасности и эффективности использования ультрафиолетовых установок закрытого типа для обеззараживания воздушной среды в помещениях медицинских организаций стационарного типа. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(8): 804–10. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2019-98-8-804-810>
23. Кармазинов Ф.В., Костюченко С.В., Кудрявцев Н.Н., Храменков С.В., ред. *Ультрафиолетовые технологии в современном мире*. Долгопрудный; 2012: 264.
24. Сергеев А.А., Пьянков О.В., Демина О.К., Шиков А.Н., Сергеев А.А., Шихкина Л.Н. и соавт. Изучение чувствительности кур к вирусу гриппа птиц А/Н5N1. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2012; (3): 71–3. <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2012-3-71-73>
25. Временные методические рекомендации. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Версия 10 (08.02.2021). М.; 2021: 130–1.

## References

1. Methling W. Vorkommen und qualitative Eigenschaften von Staph, Aureus, E. Coli und Enterokokken in der Luft von Schweinezuchtställen. In: *Proceedings of the 5th International Congress on Animal Hygiene*. Hannover; 1985: 247–51.
2. Pickrell J. Hazards in confinement housing gases and dusts in confined animal houses for swine, poultry, horses and humans. *Vet. Hum. Toxicol*. 1991; 33(1): 32–9.
3. Fotina T.I., Zon G.A. Quantitative composition of air microflora in turkey breeding premises. In: *The Contribution of Young Scientists of Ukraine to the Intensification of Agricultural Production [Vklad molodykh uchenykh Ukrainy v intensifikatsiyu sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva]*. Kharkov; 1987. (in Russian)
4. Shakaryan G. A., Akopyan M., Sevyan T. K. Results of bacteriological studies of the air of some livestock buildings. In: *Collection of Scientific Papers of the Yerevan Zooveterinary Institute. Volume 60 [Sbornik nauchnykh trudov Yerevanskogo zooveterinarnogo instituta. Tom 60]*. Erevan; 1987: 103–7. (in Russian)
5. Shvedov V. Index of freshness of the air environment. *Konevodstvo i konnyy sport*. 1992; (4): 23. (in Russian)
6. Gushchin I.S., Ilina N.I., Pol'ner S.A. *Allergic Rhinitis. A Guide for Doctors [Allergicheskiiy rinit. Pособie dlya vrachei]*. Moscow; 2002. (in Russian)
7. Blinov N.P., Vasil'eva N.V. Micromycetes allergens. In: «*Bulatov readings*». Abstracts of the Scientific and Practical Conference «Topical Issues of Pulmonology and Clinical Allergology» [«*Булатовские чтения*». Тезисы докладов Научно-практической конференции «Актуальные вопросы пульмонологии и клинической аллергологии»]. St. Petersburg; 1999. (in Russian)
8. Ado V.A., Zyablova N.M., Iroshnikova E.S. *Ecology and Allergy [Ekologiya i allergiya]*. Voronezh; 1992. (in Russian)
9. Ado A.D. Ecology and Allergology. *Klinicheskaya meditsina*. 1990; 68(9): 3–6. (in Russian)
10. Ilina N.I. Epidemiology of allergic rhinitis. *Rossiyskaya rinologiya*. 1999; 1: 23–5. (in Russian)
11. Skepyan N.A. *Allergic Diseases. Differential Diagnosis, Treatment [Allergicheskie bolezni. Differentsial'nuy diagnost, lechenie]*. Minsk; 2000: 43–50, 228–32. (in Russian)
12. Sobolev A.B. *Allergic respiratory diseases caused by fungi*: Diss. St. Petersburg.; 1997. (in Russian)
13. Balabolkin I.I., Efimova A.A. Influence of ecological ill-being on the prevalence of respiratory diseases. In: *Ecology and Children's Health [Ekologiya i zdorov'e detey]*. Moscow: Meditsina; 1998: 188–205. (in Russian)
14. Balabolkin I.I., Klyuev B.V., Botvin'eva V.V., Iboyan A.S., Ivanov V.G. Clinical and immunological manifestations of bronchial asthma in children with sensitization to molds. *Pediatriya*. 1993; (5): 21–3. (in Russian)
15. Blinov N.P. Medical mycology. In: Borisov L.B., Smirnova A.M., eds. *Medical Microbiology, Virology and Immunology [Meditsinskaya mikrobiologiya, virusologiya i immunologiya]*. Moscow; 1994: 441–66. (in Russian)
16. Etzel R., Rylander R. Indoor mold and children's health. *Environ. Health Perspect*. 1999; 107(Suppl. 3): 463. <https://doi.org/10.1289/ehp.107-1566224>
17. Madelin T.M., Madelin M.F. Biological analysis of fungi and associated molds. In: Cox C.S., Wathes C.M., eds. *Bioaerosol Handbook*. Boca Raton, Fla.: Lewis Publ. CRC Press, Inc.; 1995: 361–86.
18. Zagaynova A.V., Sukhina M.A., Artemova T.Z., Gipp E.K., Kurbatova I.V., Maksimkina T.N., et al. Evaluation of the efficiency of using recirculating UV irradiators for air disinfection in closed rooms. *Bakteriologiya*. 2019; 4(1): 21–7. <https://doi.org/10.20953/2500-1027-2019-1-21-27> (in Russian)
19. Vasserman A.L., Shandala M.G., Yuzbashev V.G. The use of ultraviolet radiation for air disinfection in medical wards in a series of measures for the prevention of nosocomial infections. *Poliklinika*. 2013; (6): 74–6. (in Russian)
20. R 3.5.1904-04.3.5. Disinfectology. Use of ultraviolet bactericidal radiation for indoor air disinfection. Moscow; 2004. (in Russian)
21. Rakhmanin Yu.A., Kalinina N.V., Gaponova E.B., Zagaynova A.V., Nedachin A.E., Doskina T.V. Hygienic assessment of the safety and efficiency of using ultraviolet plants of the closed type for disinfection of the air environment in the rooms of inpatients facilities. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(8): 804–10. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2019-98-8-804-810> (in Russian)
22. Kowalski W. *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook. UVGI for Air and Surface Disinfection*. Berlin: Springer-Verlag; 2009. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-01999-9>
23. Karmazinov F.V., Kostyuchenko S.V., Kudryavtsev N.N., Khramenkov S.V., eds. *Ultraviolet technologies in the modern world [Ultravioletovye tekhnologii v sovremennom mire]*. Dolgoprudnyy; 2012: 264. (in Russian)
24. Sergeev A.A., P'yankov O.V., Demina O.K., Shikov A.N., Sergeev A.A., Shishkina L.N., et al. Studies of sensitivity to avian flu virus A/H5N1 in chickens. *Problemy osobo opasnykh infektsiy*. 2012; (3): 71–3. <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2012-3-71-73> (in Russian)
25. Wells W.F. *Airborne Contagion and Air Hygiene*. Cambridge, MA: Cambridge University Press; 1955.
26. Teunis P.F., Brien N., Kretzschmar M.E. High infectivity and pathogenicity of influenza A virus via aerosol and droplet transmission. *Epidemics*. 2010; 2(4): 215–22. <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2010.10.001>
27. Masse V., Hartley M.J., Edmond M.B., Diekema D.J. Comparing and optimizing ultraviolet germicidal irradiation systems use for patient room terminal disinfection: an exploratory study using radiometry and commercial test cards. *Antimicrob. Resist. Infect. Control*. 2018; 7: 29. <https://doi.org/10.1186/s13756-018-0317-1>
28. Giese N., Darby J. Sensitivity of microorganisms to different wavelengths of UV light: implications on modeling of medium pressure UV systems. *Wat. Res*. 2000; 34(16): 4007–13. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00172-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00172-X)
29. Temporary guidelines. Prevention, diagnosis and treatment of new coronavirus infection (COVID-19). Version 10 (02/08/2021). Moscow; 2021: 130–1. (in Russian)