

## Эффективность обеззараживания воздуха рабочей зоны фотокаталитическим рециркулятором

Н.И. Миклис, И.И. Бурак

УО «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет», пр. Фрунзе, д. 27, г. Витебск, 210023, Республика Беларусь

### Резюме

**Введение.** Фотокаталитические рециркуляторы, расположенные по ходу естественного движения воздуха, обеззараживают и обезвреживают всасываемый воздух, придают ему подвижность и заполняют помещение очищенным воздухом по «общей» или «разбавляющей» схеме, чем сводят к минимуму содержание загрязнителей в воздушной среде, но не обеспечивают надлежащей защиты от интенсивных загрязнений вблизи их источников.

**Цель исследования:** изучить эффективность обеззараживания воздуха рабочей зоны разработанным приточно-вытяжным фотокаталитическим рециркулятором.

**Материалы и методы.** Исследования проводили на рабочем месте лаборанта в зоне дыхания при отключении естественной и искусственной вентиляции в боксе кафедры клинической микробиологии. Об эффективности обеззараживания воздуха судили по снижению общего микробного числа после ультрафиолетовой и фотокаталитической обработки приточно-вытяжным фотокаталитическим рециркулятором.

**Результаты.** В камере разработанного приточно-вытяжного фотокаталитического рециркулятора создаются высокие энергетическая освещенность и экспозиция ультрафиолетового излучения спектра С, а также высокие поверхностная и объемная плотности бактерицидного потока и бактерицидной энергии, соответствующие экспериментальным значениям антимикробной поверхностной и объемной доз при 95 % бактериальной эффективности для золотистого стафилококка. Приточно-вытяжной фотокаталитический рециркулятор эффективно обеззараживал воздух на 90,19 % за один цикл и подавал в зону дыхания лаборанта на рабочее место на расстоянии 1 и 2 м обеззараженный на 94,99 и 95,53 % воздух с допустимой скоростью движения, а также обеззараживал загрязненный воздух на 96,55 и 95,97 % на рабочем месте на расстоянии 1 и 2 м путем его удаления с допустимой скоростью движения по сравнению с серийным фотокаталитическим рециркулятором.

**Заключение.** Для эффективного обеззараживания воздуха на рабочем месте целесообразно применять разработанный приточно-вытяжной фотокаталитический рециркулятор с дополнительными воздуховодами, обеспечивающий на рабочем месте приток обеззараженного на 95 % воздуха и вытяжку 96 % загрязненного воздуха с допустимой скоростью.

**Ключевые слова:** рециркулятор, фотокатализ, вентиляция, рабочая зона, обеззараживание.

**Для цитирования:** Миклис Н.И., Бурак И.И. Эффективность обеззараживания воздуха рабочей зоны фотокаталитическим рециркулятором // Здоровье населения и среда обитания. 2022. Т. 30. № 12. С. 53-58 doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-12-53-58>

### Сведения об авторах:

✉ **Миклис** Наталья Ивановна – к.м.н., доцент, заведующий кафедрой экологической и профилактической медицины; e-mail: [miklisnatalia@gmail.com](mailto:miklisnatalia@gmail.com); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7707-5882>.

**Бурак** Иван Иванович – д.м.н., профессор, профессор кафедры экологической и профилактической медицины; e-mail: [bii2009@mail.ru](mailto:bii2009@mail.ru); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7204-3056>.

**Информация о вкладе авторов:** концепция и дизайн исследования, сбор данных, обзор литературы: Миклис Н.И.; анализ и интерпретация результатов: Миклис Н.И., Бурак И.И.; подготовка проекта рукописи: Бурак И.И. Авторы рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

**Соблюдение этических стандартов:** данное исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

**Финансирование:** работа выполнена в рамках НИР «Разработка и совершенствование методов диагностики, лечения и профилактики инфекционных болезней человека» № ГР 20191502.

**Конфликт интересов:** авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность заведующему кафедрой клинической микробиологии УО «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет» Генералову Игорю Ивановичу за предоставление рабочего места и притоговление расходных материалов.

Статья получена: 03.11.22 / Принята к публикации: 05.12.22 / Опубликована: 20.12.22

## Efficiency of Workplace Air Disinfection Using a Photocatalytic Recirculator

Natalia I. Miklis, Ivan I. Burak

Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University, 27 Frunze Avenue, Vitebsk, 210023, Republic of Belarus

### Summary

**Introduction:** Photocatalytic recirculators located along the natural movement of air disinfect and neutralize indoor air, promote its circulation, and fill the interior volume with purified air according to the "general" or "dispersing" scheme, thus reducing the levels of air pollutants. Yet, they are unable to provide adequate protection against severe pollution close to its source.

**Objective:** To study the efficiency of disinfection of the workplace air using a specially developed forced and exhaust photocatalytic recirculator.

**Materials and methods:** Testing was carried out in the breathing zone of a laboratory assistant at the workplace without natural and artificial ventilation in the box of the Department of Clinical Microbiology. The efficiency of air disinfection was judged by a decrease in the total microbial count after ultraviolet and photocatalytic treatment using the recirculator.

**Results:** In the chamber of the developed forced and exhaust photocatalytic recirculator, high energy illumination and exposure to ultraviolet radiation of the C spectrum are created, as well as high surface and volume density of bactericidal flux and bactericidal energy, corresponding to the experimental values of antimicrobial surface and volume doses at 95 % bacterial efficiency for *Staphylococcus aureus*. We established that the recirculator provided a 90.19 % air disinfection per cycle and supplied the air with 94.99 % and 95.53 % of microbes killed to the breathing zone of the laboratory assistant at distances of 1 m and 2 m at an acceptable velocity. It also disinfected the contaminated air by 96.55 % and 95.97 % at the workplace at distances of 1 m and 2 m by exhausting the air at an acceptable velocity compared to a serial photocatalytic recirculator.

**Conclusion:** For effective air purification in the working space, it is advisable to use the developed photocatalytic recirculator equipped with additional air ducts, which ensures the exhaust of 96 % of contaminated air and the disinfection rate of 95 % at an acceptable speed.

**Keywords:** recirculator, photocatalysis, ventilation, workplace air, disinfection.

**For citation:** Miklis NI, Burak II. Efficiency of workplace air disinfection using a photocatalytic recirculator. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obshchiny*. 2022;30(12):53–58. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-12-53-58>

**Author information:**

✉ Natalia I. Miklis, Cand. Sci. (Med.), Assoc. Prof., Head of the Department of Environmental and Preventive Medicine; e-mail: [miklisnatalia@gmail.com](mailto:miklisnatalia@gmail.com); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7707-5882>.

Ivan I. Burak, Dr. Sci. (Med.), Prof.; Professor of the Department of Environmental and Preventive Medicine; e-mail: [bii2009@mail.ru](mailto:bii2009@mail.ru); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7204-3056>.

**Author contributions:** study conception and design, data collection, literature review: *Miklis N.I.*; analysis and interpretation of results: *Miklis N.I.*; *Burak I.I.*; draft manuscript preparation: *Burak I.I.* Both authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

**Compliance with ethical standards:** Ethics approval was not required for this study.

**Funding:** The work was carried out as part of the research work “Development and improvement of methods for the diagnosis, treatment and prevention of human infectious diseases”, No. GR 20191502.

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest.

**Acknowledgement:** The authors express their gratitude to Igor I. Generalov, Head of the Department of Clinical Microbiology, Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University for providing a workplace and preparing consumables.

Received: November 3, 2022 / Accepted: December 5, 2022 / Published: December 20, 2022

**Введение.** В соответствии с гигиеническими требованиями в помещениях организаций здравоохранения должны обеспечиваться нормируемые значения санитарно-микробиологических показателей воздушной среды, микроклиматических параметров воздуха<sup>1</sup>, а также физических и химических факторов [1, 2]. В создании оптимальных микроклиматических, химических и микробиологических показателей воздушной среды важную роль играет вентиляция помещений. Общеобменная и местная вентиляции способствуют обеззараживанию и обезвреживанию воздушной среды помещений путем удаления и разбавления химических и биологических загрязнителей и увеличения подвижности воздуха [3, 4]. Для обезвреживания и обеззараживания воздуха используются также воздухоочистители, кондиционеры и бактерицидные облучатели [1, 5–7].

Для обеззараживания воздуха широко применяется электромагнитное излучение ультрафиолетового диапазона с длиной волн от 205 до 315 нм в открытых и закрытых бактерицидных облучателях [8, 9]. Рециркуляторы закрытого типа с безозоновыми лампами не загрязняют воздушную среду ультрафиолетовым светом и озоном и приводят к снижению количества бактерий и грибов в воздухе за счет достаточных бактерицидных доз более 25 мДж/см<sup>2</sup> и кратности воздухообмена не менее 4 [10, 11]. Для очистки воздуха от биологических и химических загрязнителей разрабатываются наноматериалы, обезвреживающее и обеззараживающее действие которых обусловлено фотокаталитическим и гидролитическим эффектами [12–14]. В создании наноматериалов широко используется титана диоксид, обладающий уникальной смачиваемостью, оптическими свойствами, высокой окисляемостью и биологической совместимостью. Практически любые органические загрязнители, адсорбированные на диоксидтитановых поверхностях, окисляются под действием ультрафиолетового света до углекислого газа и воды, а вода, осевшая на такое стекло, растекается по поверхности и испаряется [15, 16]. Активированные ультрафиолетом нанопокртия из диоксида титана эффективно очищают воду от колиформных бактерий и воздух от органических растворителей и микроорганизмов [17–21].

На основе закрытого рециркулятора бактерицидного ультрафиолетового нами разработано инновационное устройство, которое кроме безозоновых ультрафиолетовых бактерицидных ламп и вентилятора содержит фотокаталитический фильтр с нанослоем диоксида титана<sup>2</sup>. За счет дополнительного фотокатализа устройство более эффективно обеззараживает воздух, а также разлагает вредные химические вещества. За 6 ч работы устройство в режиме рециркуляции в помещении снижает в 4 раза общую микробную обсемененность воздуха, в 7 раз — количество плесневых грибов, в 10 раз — золотистых стафилококков и оптимизирует микроклимат [22]. На основе разработанного устройства ОАО «Витязь» осуществляет серийное промышленное производство зарегистрированных в качестве медицинских изделий в Республике Беларусь фотокаталитических рециркуляторов воздуха закрытого типа «Витязь 01 ФК», «Витязь P1522 ФК», «Витязь P3622 ФК», «Витязь P9511 ФК»<sup>3</sup>.

Фотокаталитические рециркуляторы, расположенные в помещении по ходу естественного движения воздуха, обеззараживают и обезвреживают всасываемый воздух, придают ему подвижность и заполняют весь объем очищенным воздухом по «общей» или «разбавляющей» схеме, чем сводят к минимуму содержание загрязнителей в воздушной среде. Но указанный способ вентиляции не обеспечивает надлежащей защиты от интенсивных загрязнений вблизи их источников. В таких случаях требуется наличие местной системы вентиляции, которая позволяет эффективно удалять загрязнители с места их образования или подавать чистый воздух на рабочее место. Для местной приточно-вытяжной вентиляции нами разработан фотокаталитический рециркулятор с дополнительными воздуховодами. Однако применение указанного приточно-вытяжного фотокаталитического рециркулятора для обеззараживания воздушной среды на рабочем месте окончательно не изучено.

**Цель исследования:** изучить эффективность обеззараживания воздуха рабочей зоны разработанным приточно-вытяжным фотокаталитическим рециркулятором.

<sup>1</sup> СанНиП утв. пост. М-ва здравоохран. Респ. Беларусь 05.07.2017 № 73 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям здравоохранения, оказывающим медицинскую помощь, в том числе к организации и проведению санитарно-противоэпидемиологических мероприятий по профилактике инфекционных заболеваний в этих организациях». Минск, 2017. 49 с.

<sup>2</sup> Устройство фотокаталитическое для обеззараживания и очистки воздуха: пат. 6169 U Респ. Беларусь, МПК (2009) А 61 L 9/00, 9/18 / И.И. Бурак, И.С. Алексеев, Н.И. Миклис, С.И. Корикова, С.В. Григорьева; заявитель УО «Вит. гос. мед. ун-т». № 020090653; заявл. 27.07.2009; опублик. 16.12.2009 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці, 2010. № 2 (73). С. 165.

<sup>3</sup> Рециркуляторы воздуха бактерицидные ультрафиолетовые «Витязь»: руководство по эксплуатации СКЖИ.942819.005РЭ. Витебск. <https://workaut.by/image/data/PASPORTA/vityaz/recirkulyator.pdf>

**Материалы и методы.** Исследования выполнены в рамках НИР «Разработка и совершенствование методов диагностики, лечения и профилактики инфекционных болезней человека» № ГР 20191502 на базе кафедры клинической микробиологии учреждения образования «Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет» в боксе объемом 33,9 м<sup>3</sup> в теплый период года при атмосферном давлении 745 мм рт. ст. на рабочем месте лаборанта в зоне дыхания на высоте 110 см на расстоянии 1 и 2 м от рециркулятора при отключении естественной и искусственной вентиляции во время микробиологических исследований со стандартными штаммами *S. aureus* АТСС 25923.

Обеззараживание воздуха осуществляли разработанным приточно-вытяжным фотокаталитическим рециркулятором, содержащим металлическую камеру объемом 0,04284 м<sup>3</sup> полуцилиндрической формы с фотокаталитическим фильтром в виде горизонтальной и вертикальной металлических пластин площадью 0,11525 м<sup>2</sup>, покрытых нанослоем фотокатализатора диоксида титана, и двух беззоновых бактерицидных ультрафиолетовых ламп Philips типа TUV 25W. Указанные лампы производят коротковолновое ультрафиолетовое излучение с пиковым значением на длине волны 253,7 нм и бактерицидным потоком 7 Вт и отфильтровывают озonoобразующую спектральную линию с длиной волны 185 нм. Входное площадью 0,0104 м<sup>2</sup> и выходное площадью 0,0090 м<sup>2</sup> отверстия камеры закрыты вентиляционными решетками, у входного отверстия встроен электрический вентилятор. Через вентиляционную решетку входного отверстия вентилятором в камеру устройства подается воздух со скоростью 1,2 ± 0,09 м/с, органические соединения и микроорганизмы которого фотоокисляются на нанофильтре, дополнительно облучаются ультрафиолетовым светом и очищенный воздух выводится из камеры через вентиляционную решетку выходного отверстия. Для целенаправленной подачи очищенного воздуха на рабочее место применяли дополнительные воздуховоды длиной 2 м диаметром 125 мм, которые крепили снаружи вентиляционной решетки выходного отверстия, удаления загрязненного воздуха – снаружи входного отверстия устройства. В контроле использовали серийный фотокаталитический рециркулятор закрытого типа «Витязь 01 ФК» производства ОАО «Витязь».

Выполнено 3 серии опытов.

В 1-й серии опытов рассчитывали поверхностную и объемную плотности бактерицидного потока, поверхностную и объемную плотности бактерицидной энергии у приточно-вытяжного и серийного фотокаталитических рециркуляторов, а в камере разработанного устройства – дополнительно энергетическую освещенность и энергетическую экспозицию ультрафиолетового излучения спектра С.

Во 2-й серии опытов микробиологические исследования проводили у вентиляционной решетки входного отверстия приточно-вытяжного фотока-

талитического рециркулятора с дополнительными воздуховодами и у решетки выходного отверстия, а также у выходного отверстия дополнительных воздуховодов на рабочем месте на расстоянии 1 и 2 м определяли общее микробное число (ОМЧ) и скорость движения воздуха. В контроле микробиологические исследования выполняли у вентиляционной решетки входного отверстия серийного фотокаталитического рециркулятора без дополнительных воздуховодов и у решетки выходного отверстия, а также на расстоянии 1 и 2 м от нее определяли ОМЧ и скорость движения воздуха.

В 3-й серии опытов микробиологические исследования проводили на рабочем месте у дополнительных воздуховодов на расстоянии 1 и 2 м от приточно-вытяжного фотокаталитического рециркулятора и у входного отверстия дополнительных воздуховодов в зоне дыхания лаборанта определяли ОМЧ и скорость движения воздуха. В контроле микробиологические исследования проводили на рабочем месте на расстоянии 1 м и 2 м от серийного фотокаталитического рециркулятора без дополнительных воздуховодов и в зоне дыхания лаборанта определяли ОМЧ и скорость движения воздуха.

ОМЧ определяли аспирационным методом [23] с помощью аппарата Кротова<sup>4</sup>, скорость движения воздуха – измерителем скорости движения воздуха, температуры и влажности «ТКА-ПКМ» (60)<sup>5</sup>, энергетическую освещенность ( $E_e$ ) и энергетическую экспозицию ( $H_e$ ) ультрафиолетовым светом спектра С – УФ-радиометром с ослабляющим фильтром «ТКА-ПКМ» (13)<sup>6</sup>.

Полученные результаты исследования обрабатывали статистически с помощью пакета прикладных программ Statistica, Excel, достоверность сдвигов учитывали при  $p < 0,05$ . Данные представлены в виде  $M \pm m$ , где  $M$  – среднее значение,  $m$  – стандартная ошибка среднего значения [24].

**Результаты.** Результаты исследования 1-й серии опытов показали, что всасываемый в камеру разработанного приточно-вытяжного и серийного фотокаталитических рециркуляторов воздух подвергался воздействию ультрафиолетового излучения с объемной плотностью бактерицидного потока 326,78 Вт/м<sup>3</sup> и объемной плотностью бактерицидной энергии 326,78 Дж/м<sup>3</sup>, а также фотоокислению на нанофильтре с поверхностной плотностью бактерицидного потока 52,06 Вт/м<sup>2</sup> и поверхностной плотностью бактерицидной энергии 52,06 Дж/м<sup>2</sup>. У разработанного приточно-вытяжного фотокаталитического рециркулятора энергетическая освещенность ( $E_e$ ) ультрафиолетовым светом спектра С внутри камеры под каждой лампой на расстоянии 0,5 см была 44,9 ± 4,7 с максимумом ( $E_{max}$ ) 62, 5,5 см на поверхности нанофильтра – 15,7 ± 1,7 с максимумом 21, на расстоянии 8 см над лампой на внутренней поверхности камеры – 12,9 ± 0,9 с максимумом 16 Вт/м<sup>2</sup>, а энергетическая экспозиция ( $H_e$ ) 46,1 ± 1,9, 16,1 ± 1,2, 14,3 ± 1,2 Дж/м<sup>2</sup> соответственно.

<sup>4</sup> Количество микроорганизмов в воздухе помещений организаций здравоохранения: методика измерений методом подсчета колоний АМИ.МН 0022-2021.

<sup>5</sup> Прибор комбинированный «ТКА-ПКМ(60)»: руководство по эксплуатации ЮСУК.60.0001РЭ. Санкт-Петербург, 2019. 14 с.

<sup>6</sup> УФ-радиометр с ослабляющим фильтром «ТКА-ПКМ» (13): руководство по эксплуатации ЮСУК.13.0002РЭ. Санкт-Петербург, 2019. 12 с.

На середине нанофильтра на высоте 2,5 см от поверхности между двумя лампами энергетическая освещенность была  $2,3 \pm 0,3$  с максимумом  $3 \text{ Вт/м}^2$ , энергетическая экспозиция –  $2,6 \pm 0,6 \text{ Дж/м}^2$ .

Во 2-й серии у вентиляционной решетки входного отверстия приточно-вытяжного фотокаталитического рециркулятора с дополнительными воздуховодами было  $779,2 \pm 39,3 \text{ КОЕ/м}^3$ , в подаваемом устройством по дополнительным воздуховодам на рабочее место в зону дыхания лаборанта воздухе на расстоянии 1 и 2 м –  $38,4 \pm 2,04$  и  $35,2 \pm 1,5 \text{ КОЕ/м}^3$ , скорость движения воздуха –  $0,2 \pm 0,02$  и  $0,16 \pm 0,02 \text{ м/с}$  соответственно.

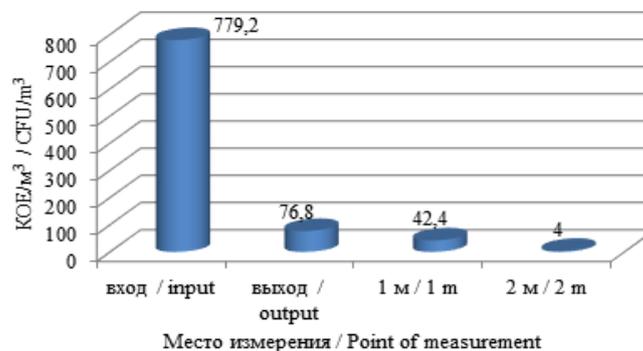
В контроле при выполнении микробиологических исследований у вентиляционной решетки входного отверстия серийного изделия без дополнительных воздуховодов ОМЧ составило  $779,2 \pm 39,3 \text{ КОЕ/м}^3$ . У вентиляционной решетки выходного отверстия ОМЧ было снижено в 10,15 раза, на рабочем месте в зоне дыхания лаборанта в подаваемом воздухе на расстоянии 1 м – в 18,38 раза, 2 м – 194,2 раза по сравнению с ОМЧ у решетки входного отверстия ( $p < 0,001$ ) (рисунок). Скорость движения воздуха у выходного отверстия серийного фотокаталитического рециркулятора была  $2,11 \pm 0,1 \text{ м/с}$ , на расстоянии 1 м –  $0,76 \pm 0,04 \text{ м/с}$ , 2 м –  $0,41 \pm 0,04 \text{ м/с}$ .

В 3-й серии опытов при выключенном приточно-вытяжном фотокаталитическом рециркуляторе с дополнительными воздуховодами на рабочем месте лаборанта в зоне дыхания на расстоянии 1 и 2 м было  $779,2 \pm 39,3$  и  $792,8 \pm 32,9 \text{ КОЕ/м}^3$ , скорость

движения воздуха –  $0,02 \pm 0,006$  и  $0,012 \pm 0,002 \text{ м/с}$  соответственно. После включения устройства в удаляемом через дополнительные воздуховоды с зоны дыхания лаборанта воздухе на расстоянии 1 и 2 м количество микроорганизмов было снижено в 27,8 и 23,6 раза, скорость движения воздуха – повышена в 8 и 8,3 раза соответственно (таблица). У выходного отверстия разработанного устройства ОМЧ была  $17,6 \pm 2,04 \text{ КОЕ/м}^3$ .

В контроле при выключенном серийном фотокаталитическом рециркуляторе без дополнительных воздуховодов на рабочем месте лаборанта в зоне дыхания на расстоянии 1 м было  $779,2 \pm 39,3 \text{ КОЕ/м}^3$ , 2 м –  $792,8 \pm 32,9 \text{ КОЕ/м}^3$ , скорость движения воздуха –  $0,02 \pm 0,006$  и  $0,012 \pm 0,002 \text{ м/с}$  соответственно. После включения рециркулятора ОМЧ и подвижность воздуха на рабочем месте оставались на том же уровне.

**Обсуждение.** Результаты исследования позволяют заключить, что в камере разработанного приточно-вытяжного фотокаталитического рециркулятора создаются высокие энергетическая освещенность и экспозиция ультрафиолетового излучения спектра С. Создаваемые высокие поверхностная и объемная плотность бактерицидного потока и бактерицидной энергии у фотокаталитических рециркуляторов соответствуют экспериментальным значениям антимикробной поверхностной и объемной доз при 95 % бактериальной эффективности для золотистого стафилококка<sup>7</sup>. Ультрафиолетовый спектр С, как доказано в некоторых исследованиях, разрушает биопленки бактериальных патогенов [25].



**Рисунок.** Эффективность обеззараживания воздуха серийным фотокаталитическим рециркулятором без дополнительных воздуховодов у выходного отверстия и на рабочем месте (КОЕ/м³) за один цикл работы  
**Figure.** The efficiency of air disinfection using a serial photocatalytic recirculator without additional air ducts at the outlet and at distance of 1 m and 2 m (CFU/m³) per cycle

**Таблица.** Общее микробное число (ОМЧ) и скорость движения воздуха (V) при удалении загрязненного воздуха с рабочего места лаборанта приточно-вытяжным фотокаталитическим рециркулятором через дополнительные воздуховоды ( $M \pm m$ )

**Table.** Total microbial count (TMC) and velocity (V) of contaminated air exhausted from the working space of a microbiology laboratory assistant using a photocatalytic recirculator equipped with additional air ducts ( $M \pm m$ )

Время / Time	Расстояние от прибора, м / Distance from the device, m	Показатель / Indicator	
		ОМЧ, КОЕ/м³ / TMC, CFU/m³	V, м/с / m/s
До включения / Before switching on	1	$779,2 \pm 39,3$	$0,02 \pm 0,006$
	2	$792,8 \pm 32,9$	$0,012 \pm 0,002$
После включения / After switching on	1	$28 \pm 3,8^*$	$0,16 \pm 0,02^*$
	2	$33,6 \pm 3,7^*$	$0,1 \pm 0,02^*$

Примечание: \*  $p < 0,05$ .

Notes: \*  $p < 0,05$ .

<sup>7</sup> Применение ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха и поверхностей в лечебно-профилактических учреждениях: методические рекомендации, утв. Гл. госуд. врачом Респ. Беларусь, 1.06.2001, № 26-0101. Минск, 2001. 42 с.

Приточно-вытяжной фотокаталитический рециркулятор эффективно обеззараживал воздух на 90,19 % за один цикл по сравнению с исходным уровнем ( $p < 0,001$ ). Снижение количества *S. aureus* на 92 % в помещении объемом 50 м<sup>3</sup> отмечено нами при непрерывной работе фотокаталитического рециркулятора в течение 6–8 часов [22]. Приточно-вытяжной фотокаталитический рециркулятор с дополнительными воздуховодами подавал в зону дыхания лаборанта на рабочее место на расстоянии 1 и 2 м обеззараженный на 94,99 % и 95,53 % воздух через дополнительные воздуховоды с допустимой скоростью движения<sup>8</sup>. Данные результаты свидетельствуют об эффективности обеззараживания и подачи очищенного воздуха на рабочее место разработанным приточно-вытяжным фотокаталитическим рециркулятором с дополнительными воздуховодами. В контроле в подаваемом серийным фотокаталитическим рециркулятором без дополнительных воздухопроводов воздухе на рабочем месте на расстоянии 1 м ОМЧ было снижено на 94,59 %, на расстоянии 2 м – на 99,49 % ( $p < 0,001$ ). Скорость движения воздуха на рабочем месте была выше в 3,85 и 2 раза ( $p < 0,001$ ) соответственно по сравнению с допустимым уровнем 0,2 м/с, что, вероятно, и обусловило рассеивание микробов в воздухе и снижение их количества на рабочем месте. Необходимо подчеркнуть, что высокая скорость подачи воздуха на рабочее место серийным изделием препятствует его применению для местной вентиляции.

При использовании для удаления загрязненного воздуха с рабочего места лаборанта приточно-вытяжного фотокаталитического рециркулятора с дополнительными воздуховодами на расстоянии 1 и 2 м ОМЧ на рабочем месте было ниже на 96,55 % и 95,97 % соответственно по сравнению с исходным уровнем при допустимой скорости движения воздуха. Это указывает на высокую эффективность разработанного приточно-вытяжного фотокаталитического рециркулятора с дополнительными воздуховодами для удаления загрязненного воздуха с рабочего места. Удаляемый через дополнительные воздуховоды воздух также эффективно обеззараживался устройством в среднем на 97,76 %. Следует отметить, что в контроле при применении серийного фотокаталитического рециркулятора без дополнительных воздухопроводов для удаления загрязненного воздуха с рабочего места лаборанта на расстоянии 1 и 2 м ОМЧ достоверно не отличалось от исходного уровня, подвижность воздуха практически отсутствовала, что свидетельствует о неэффективности серийного изделия для удаления загрязненного воздуха с рабочего места.

#### Заключение

1. В камере разработанного приточно-вытяжного фотокаталитического рециркулятора создаются высокие энергетическая освещенность и экспозиция ультрафиолетового излучения спектра С, а также поверхностная и объемная плотность бактерицидного потока и бактерицидной энергии, обуславливающие эффективное обеззараживание воздуха на 90,19 % за один цикл по сравнению с исходным уровнем ( $p < 0,001$ ).

2. Для эффективного обеззараживания воздуха на рабочем месте целесообразно применять разработанный приточно-вытяжной фотокаталитический

рециркулятор с дополнительными воздуховодами, обеспечивающий на рабочем месте приток обеззараженного на 95 % воздуха и вытяжку 96 % загрязненного воздуха с допустимой скоростью.

3. Серийный фотокаталитический рециркулятор без дополнительных воздухопроводов непригоден для обеззараживания воздуха на рабочем месте вследствие высокой скорости воздуха при подаче и отсутствия подвижности воздуха при удалении.

#### Список литературы

1. World Health Organization. Minimum Requirements for Infection Prevention and Control Programmes. Geneva: World Health Organization; 2019. Accessed December 7, 2022. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/330080>
2. Choi N, Yamanaka T, Sagara K, Momoi Y, Suzuki T. Displacement ventilation with radiant panel for hospital wards: Measurement and prediction of the temperature and contaminant concentration profiles. *Build Environ*. 2019;160:106197. doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106197
3. Allison JR, Dowson C, Pickering K, et al. Local exhaust ventilation to control dental aerosols and droplets. *J Dent Res*. 2022;101(4):384–391. doi: 10.1177/00220345211056287
4. Lee T, Soo JC, LeBouf RF, et al. Surgical smoke control with local exhaust ventilation: Experimental study. *J Occup Environ Hyg*. 2018;15(4):341–350. doi: 10.1080/15459624.2017.1422082
5. Вассерман А.Л. Обеззараживание воздушной среды УФ бактерицидным излучением // Светотехника. 2020. № 2. С. 6–15.
6. Юферев Л.Ю., Селезнева Д.М. Совершенствование процессов обеззараживания и обеспыливания воздушной среды сельскохозяйственных помещений на основе электрофильтрации воздуха // Международный технико-экономический журнал. 2019. № 5. С. 42–48. doi: 10.34286/1995-4646-2019-68-5-42-48
7. Загайнова А.В., Сухина М.А., Артемова Т.З. и др. Оценка эффективности использования УФ-облучателей рециркуляторного типа для обеззараживания воздушной среды в закрытых помещениях // Бактериология. 2019. Т. 4. № 1. С. 21–27. doi: 10.20953/2500-1027-2019-1-21-27
8. Клебанов Р.Д., Дудчик Н. В., Коноплянко В. А., Гиндюк А.В., Грузин А.А. Гигиенические показатели бактерицидной эффективности при ультрафиолетовом обеззараживании помещений // Здоровье и окружающая среда. 2017. № 27. С. 30–33.
9. Дюкин А.А., Микаева С.А. Анализ установок по обеззараживанию воздуха // Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике (РНТК ФТИ-2018): сборник трудов конференции. Москва: Московский технологический университет (МИРЭА), 2018. С. 613–618.
10. Костюченко С.В., Васильев А.И., Ткачев А.А., и др. Изучение эффективности применения ультрафиолетовых бактерицидных установок (УФ-рециркуляторов) закрытого типа для обеззараживания воздушной среды помещений // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 11. С. 1229–1235. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-11-1224-1228
11. Рахманин Ю.А., Калинин 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. Т. 98. № 8. С. 804–810. doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-8-804-810
12. Nasrollahzadeh M, Sajadi SM, Sajjadi M, Issaabadi Z. Chapter 1 – An Introduction to Nanotechnology. *Interface Sci Technol*. 2019;28:1–27. doi: 10.1016/B978-0-12-813586-0.00001-8
13. Kargozar S, Mozafari M. Nanotechnology and nanomedicine: Start small, think big. *Materials Today: Proceedings*. 2018;5(7(Pt 3)):15492–15500. doi: 10.1016/j.matpr.2018.04.155
14. Мамчиц Л.П., Чайковская М.А., Бортновский В.Н. Развитие нанотехнологий в профилактической медицине в Республике Беларусь // Проблемы здоровья и экологии. 2014. № 1 (39). С. 131–136.

<sup>8</sup> Микроклиматические показатели безопасности и безвредности на рабочих местах: ГН, утв. Пост. Совета министров Респ. Беларусь 25.01.2021 № 37. Минск, 2021. 10 с.

15. Verma R, Gangwar J, Srivastava AK. Multiphase TiO<sub>2</sub> nanostructures: a review of efficient synthesis, growth mechanism, probing capabilities, and applications in bio-safety and health. *RSC Adv.* 2017;(70):44199–44224. doi: 10.1039/c7ra06925a
16. Rahmati Ali AM, Shayesteh SF, Shayesteh HF. Effect of synthesis conditions on the structural, photocatalytic, and self-cleaning properties of TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Fizika Tvyordogo Tela.* 2020;62(1):92.
17. Касьянов В.В., Кича Е.И., Кича М.А., Маловик Д.С., Михайленко В.С., Зайцева В.В. Фотокатализ на страже народного хозяйства // Вестник МАНЭБ. 2021. Т. 26. № 4. С. 42–49.
18. Бажанов В.М., Трифонова А.А., Кузнецов О.Ю., Пророкова Н.П. Полиэфирная ткань с покрытием на основе диоксида титана, сформированным различными методами: антибактериальные и фунгицидные свойства // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). 2021. № 1. С. 173–176. doi: 10.47367/2413-6514\_2020\_1\_173
19. Пророкова Н.П., Кумеева Т.Ю., Кузнецов О.Ю. Антимикробные свойства полиэфирных тканей, модифицированных наноразмерным диоксидом титана // Перспективные материалы. 2017. № 11. С. 34–44.
20. Миклис Н.И., Алексеев И.С., Бурак И.И. Гигиеническая оценка фотокаталитических нанопокровов диоксида титана // Здоровье и окружающая среда. 2013. № 22. С. 179–184.
21. Mousavi T, Golbabaee F, Kohneshahri MH, et al. Efficacy of photocatalytic HEPA filter on reducing bacteria and fungi spores in the presence of UVC and UVA lights. *Pollution.* 2021;7(2):309-319. doi: 10.22059/poll.2021.311399.916
22. Миклис Н.И., Бурак И.И., Алексеев И.С. Эффективность санитарной обработки воздуха универсальным фотокаталитическим устройством // Здоровье и окружающая среда. 2012. № 21. С. 108–118.
23. Лудчик Н.В., Клебанов Р.Д., Емельянова О.А., Нежвинская О.Е., Жабровская А.И. Количественная оценка антимикробной активности ультрафиолетового излучения с использованием субпопуляционной тест-модели // Здоровье и окружающая среда. 2017. № 27. С. 14–17.
24. Жильцов И.В., Семенов В.М., Зенькова С.К. Основы медицинской статистики. Дизайн биомедицинских исследований: практическое руководство. 2-е издание, переработанное и дополненное. Витебск: Витебский государственный медицинский университет, 2014. 153 с.
25. El-Azizi M, Khardori N. Efficacy of ultraviolet C light at sublethal dose in combination with antistaphylococcal antibiotics to disinfect catheter biofilms of methicillin-susceptible and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus epidermidis* in vitro. *Infect Drug Resist.* 2016;9:181-189. doi: 10.2147/IDR.S109343
8. Klebanov RD, Dudchik NV, Konoplyanko VA, Hindziuk AV, Hruzin AA Hygienic indicators of bacteric efficiency in ultraviolet disinfection of premises. *Zdorov'e i Okruzhayushchaya Sreda.* 2017;(27):30-33. (In Russ.)
9. Diukhin AA, Mikaeva SA. Analysis of air disinfection installations. In: *Informatics and Technology. Innovative Technologies in Industry and Informatics: Proceedings of the Russian Scientific and Technical Conference with International Participation, Moscow, April 12–13, 2018.* Moscow: Moscow Technological University Publ.; 2018:613-618. (In Russ.)
10. Kostyuchenko SV, Vasil'ev AI, Tkachev AA, et al. Study of the effectiveness of the use of closed-type UV-recirculators for air disinfection in enclosed space. *Gigiya i Sanitariya.* 2021;100(11):1229-1235. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-11-1224-1228
11. Rakhmanin YuA, Kalinina NV, Gaponova EB, Zagainova AV, Nedachin AE, Doskina TV. 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. *Gigiya i Sanitariya.* 2019;98(8):804-810. (In Russ.) doi: 10.18821/0016-9900-2019-98-8-804-810
12. Nasrollahzadeh M, Sajadi SM, Sajjadi M, Issaabadi Z. Chapter 1 – An Introduction to Nanotechnology. *Interface Sci Technol.* 2019;28:1-27. doi: 10.1016/B978-0-12-813586-0.00001-8
13. Kargozar S, Mozafari M. Nanotechnology and nanomedicine: Start small, think big. *Materials Today: Proceedings.* 2018;5(7(Pt 3)):15492-15500. doi: 10.1016/j.matpr.2018.04.155
14. Mamchits LP, Chaykovskaya MA, Bortnovsky VN. Nanotechnologies in preventive medicine in the Republic of Belarus. *Problemy Zdorov'ya i Ekologii.* 2014;(1(39)):131-136. (In Russ.)
15. Verma R, Gangwar J, Srivastava AK. Multiphase TiO<sub>2</sub> nanostructures: a review of efficient synthesis, growth mechanism, probing capabilities, and applications in bio-safety and health. *RSC Adv.* 2017;(70):44199–44224. doi: 10.1039/c7ra06925a
16. Rahmati Ali AM, Shayesteh SF, Shayesteh HF. Effect of synthesis conditions on the structural, photocatalytic, and self-cleaning properties of TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Fizika Tvyordogo Tela.* 2020;62(1):92.
17. Kas'yanov VV, Kicha EI, Kicha MA, Malovik DS, Mikhailenko VS, Zaitseva VV. Photocatalysis on guard of the national economy. *Vestnik MANEB.* 2021;26(4):42-49. (In Russ.)
18. Bazhanov VM, Trifonova AA, Kuznetsov OYu, Prorokova NP. Polyester fabric with coating on the base of titanium dioxide, formed by various methods: antibacterial and fungicidal properties. *Physics of Fibrous Materials: Structure, Properties, Science-Intensive Technologies and Materials (SMARTEX).* 2021;(1):173-176. (In Russ.) doi: 10.47367/2413-6514\_2020\_1\_173
19. Prorokova NP, Kumeeva TYu, Kuznetsov OYu. Antimicrobial properties of polyester fabric modified by nano-sized titanium dioxide. *Perspektivnye Materialy.* 2017;(11):34-44. (In Russ.)
20. Miklis NI, Alekseev IS, Burak II. Hygienic estimation of photocatalytic nanocoating of titanium dioxide. *Zdorov'e i Okruzhayushchaya Sreda.* 2013;(22):179-184. (In Russ.)
21. Mousavi T, Golbabaee F, Kohneshahri MH, et al. Efficacy of photocatalytic HEPA filter on reducing bacteria and fungi spores in the presence of UVC and UVA lights. *Pollution.* 2021;7(2):309-319. doi: 10.22059/poll.2021.311399.916
22. Miklis NI, Burak II, Alekseev IS. Effectiveness of air sanitary processing by universal photocatalytic device. *Zdorov'e i Okruzhayushchaya Sreda.* 2012;(21):108-118. (In Russ.)
23. Dudchik NV, Klebanov RD, Emeljanova OA, Nezhvinskaya OE, Zhabrouskaya AI. Quantitative evaluation of antimicrobial activity of ultraviolet radiation using the subpopulation test-model. *Zdorov'e i Okruzhayushchaya Sreda.* 2017;(27):14-17. (In Russ.)
24. Zhil'tsov IV, Semenov VM, Zen'kova SK. [Fundamentals of Medical Statistics. Biomedical Research Design: A Practical Guide.] 2<sup>nd</sup> ed. Vitebsk: Vitebsk State Medical University Publ.; 2014. (In Russ.)
25. El-Azizi M, Khardori N. Efficacy of ultraviolet C light at sublethal dose in combination with antistaphylococcal antibiotics to disinfect catheter biofilms of methicillin-susceptible and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus epidermidis* in vitro. *Infect Drug Resist.* 2016;9:181-189. doi: 10.2147/IDR.S109343

#### References

1. World Health Organization. Minimum Requirements for Infection Prevention and Control Programmes. Geneva: World Health Organization; 2019. Accessed December 7, 2022. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/330080>
2. Choi N, Yamanaka T, Sagara K, Momoi Y, Suzuki T. Displacement ventilation with radiant panel for hospital wards: Measurement and prediction of the temperature and contaminant concentration profiles. *Build Environ.* 2019;160:106197. doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106197
3. Allison JR, Dowson C, Pickering K, et al. Local exhaust ventilation to control dental aerosols and droplets. *J Dent Res.* 2022;101(4):384-391. doi: 10.1177/00220345211056287
4. Lee T, Soo JC, LeBouf RF, et al. Surgical smoke control with local exhaust ventilation: Experimental study. *J Occup Environ Hyg.* 2018;15(4):341-350. doi: 10.1080/15459624.2017.1422082
5. Vasserman AL. [Air disinfection with UV bactericidal radiation.] *Svetotekhnika.* 2020;(2):6-15. (In Russ.)
6. Yuferev LYu, Selezneva DM. Improvement of processes of disinfecting and dusting of the air of the agricultural space on the basis of electric filtering of air. *Mezhdunarodnyy Tekhniko-Ekonomicheskij Zhurnal.* 2019;(5):42-48. (In Russ.) doi: 10.34286/1995-4646-2019-68-5-42-48
7. Zagainova AV, Sukhina MA, Artemova TZ, et al. Evaluation of the effectiveness of the use of recycle-type UV irradiators for disinfecting the air environment in enclosed spaces. *Bakteriologiya.* 2019;4(1):21-27. (In Russ.) doi: 10.20953/2500-1027-2019-1-21-27