

## Фотокаталитические рециркуляторы для очистки и обеззараживания воздуха в помещениях медицинских учреждений

### Аннотация

Представлены результаты исследований по очистке и обеззараживанию воздуха в различных помещениях, включая больничные, с помощью опытных образцов фотокаталитических очистителей воздуха «ТЮКРАФТ». Показана возможность эффективной очистки воздуха от летучих органических загрязнителей, аэрозолей, грибковой и бактериальной микрофлоры. Применение фотокаталитических устройств помогает снизить микробиологическую загрязненность воздуха в больничных помещениях более чем на порядок, что позволяет рассматривать их как перспективное средство борьбы с внутрибольничными инфекциями.

### Введение

Внутрибольничные инфекции являются одной из существенных причин возникновения вторичных заболеваний и осложнений при оказании медицинской помощи в лечебно-профилактических учреждениях во всем мире. По данным исследований «Экспертной рабочей группы по изучению нозокомиальных инфекций» (ЭРГИНИ), представленным на XVI Российской конференции «Современные проблемы и перспективы антимикробной терапии», в 2013 году в лечебных учреждениях России частота возникновения внутрибольничных инфекций составила 7,61 %. Одним из основных путей заражения является передача инфекции воздушно-капельным и воздушно-пылевым способом. В связи с этим важное место в профилактике вторичных заражений занимают меры, направленные на снижение микробиологической загрязненности воздуха в больницах.

Традиционным способом обеззараживания воздуха, давно применяемым в медицине, является облучение кварцевыми бактерицидными лампами коротковолнового ультрафиолетового диапазона (254 нм). Эффективность кварцевания недостаточно высока и, кроме того, сопряжена с образованием вредного для здоровья озона.

В последнее время все большее распространение для обеззараживания воздуха получают системы фильтрации на основе НЕРА-фильтров. Помимо высокой стоимости сменных фильтрующих картриджей, к недостаткам таких систем следует отнести невысокую эффективность улавливания аэрозолей с размером частиц менее 300 нм и накопление отфильтрованной микрофлоры на фильтре и в каналах вентиляции с возможностью произвольного сброса при включениях-выключениях системы.

Решением проблемы глубокого обеззараживания воздуха с полной инактивацией всех видов микроорганизмов может стать фотокаталитический метод, интенсивно развиваемый в последние годы во многих странах. Сущность этого метода состоит в том, что под действием мягкого УФ-излучения диапазона «А» (400...315 нм) на поверхности фотокатализатора – полупроводникового диоксида титана – образуются активные кислородсодержащие частицы, которые окисляют все контактирующие с фотокатализатором органические соединения. Отличительной особенностью этого метода по сравнению с механическими фильтрами является то, что молекулярные и аэрозольные органические загрязнители, включая патогенные микроорганизмы, не только улавливаются, но и разлагаются на безвредные компоненты – углекислый газ и воду.

Авторы работы [1] выполнили исследование эффективности снижения уровня концентрации широко известных патогенных бактериальных и грибковых культур в различных больничных помещениях при использовании фотокаталитического реактора системы «AiroCide». Основным элементом этой системы является реакционная камера, сформированная из множества мелких стеклянных колец, покрытых диоксидом

титана, внутри которой помещается лампа мощностью 60 Вт с жестким ультрафиолетовым излучением диапазона «В» (средняя длина волны – 254 нм), не исключая генерацию озона. Показано, что в помещениях типового хирургического отделения больницы концентрация микробов, распространяющихся по воздуху, при установке прибора «AiroCide» может быть снижена в среднем на 60 %.

В литературе недостаточно информации о применении фотокаталитических рециркуляторов на основе УФ-излучения диапазона «А» для обеззараживания воздуха в помещениях лечебных учреждений, особенно в хирургических помещениях и помещениях интенсивной терапии.

### Цель работы

Целью рассматриваемой работы являлось исследование эффективности использования фотокаталитических устройств, работающих на основе безопасного УФ-излучения диапазона «А», при очистке и обеззараживании воздуха внутри больничных помещений.

### Материалы и методы

#### Рециркуляторы «ТЮКРАФТ»

Исследования проведены с применением двух типов опытных [2], [3] фотокаталитических рециркуляторов «ТЮКРАФТ VL-40» и «ТЮКРАФТ VR-400А». Основной особенностью приборов «ТЮКРАФТ» является применение в них фотокаталитических элементов на основе носителей из пористого стекла трубчатой или пластинчатой формы, разработанных авторским коллективом [4]. Носители химически устойчивы к окисляющему действию фотокатализа, обеспечивают надежное



Рис. 1. Фотокаталитический элемент

удержание порошка фотокатализатора, легко продуваемы и имеют достаточную конструкционную прочность.

На *рис. 1* представлена схема устройства отдельного фотокаталитического элемента.

Воздух продувается через пористую стеклянную стенку, покрытую каталитически активным диоксидом титана. Внутри элемента расположена ультрафиолетовая лампа, освещающая поверхность фотокатализатора. Благодаря сильной окислительной среде, возникающей в результате фотокатализа, происходят инактивация микроорганизмов и окисление молекулярных органических загрязнителей.

Испытанные приборы «ТЮКРАФТ» отличаются между собой способом организации движения воздуха внутри прибора, производительностью и наличием или отсутствием дополнительных блоков очистки. Конвекционный фотокаталитический рециркулятор «ТЮКРАФТ VL-40» имеет производительность по очищаемому воздуху до 40 м<sup>3</sup>/ч. Мощность УФ-ламп, выделяемая в каталитически активном диапазоне спектра, составляет 36 Вт. Формирование стационарного потока воздуха через прибор осуществляется за счет его конвективного движения под действием тепла, выделяемого УФ-лампами, в вертикальном канале с фотокаталитическими элементами. Канал сформирован 32 пластинами с катализатором размером 400 x 60 x 6 мм. Геометрические размеры прибора (Ш x Г x В) составляют 290 x 96 x 1860 мм.

Другой участвующий в исследовании прибор «ТЮКРАФТ VR-400А» представляет собой устройство для комплексной очистки больших объемов воздуха. Помимо фотокаталитической ступени очистки, он включает в себя пылевой фильтр и блок электроосаждения аэрозолей. Наличие предварительной механической фильтрации и блока электроосаждения аэрозолей, сопряженного с фотокаталитическим элементом, обеспечивает устройству высокую степень очистки воздуха и значительный ресурс работы без замены фотокаталитических элементов. Проток воздуха через прибор осуществляется с помощью вентилятора с регулируемой скоростью подачи от 120 до 400 м<sup>3</sup>/ч. Фотокаталитический блок состоит из четырех трубчатых элементов с наружным диаметром 86 мм и длиной 400 мм. Мощность каталитически активного УФ-излучения ламп составляет 36 Вт. Габариты прибора (Ш x Г x В) – 520 x 300 x 1060 мм.

#### Методики исследований

Эксперименты по удалению из воздуха летучих органических соединений (ЛОС) проводились с использованием прибора «ТЮКРАФТ VL-40» в герметичном боксе объемом 10 м<sup>3</sup>, в котором создавалась заданная начальная концентрация модельного загрязнителя (ацетона, формальдегида), затем включался прибор и отслеживалось изменение концентрации загрязнителя во времени. Одновременно отслеживали динамику нарастания в воздухе углекислого газа как продукта окисления органики.

Эксперименты по удалению аэрозолей проводились на приборе «ТЮКРАФТ VR-400А». В качестве модельного аэрозоля использовался табачный дым. Концентрация аэрозольных частиц с построением распределения их по размеру регистрировалась прибором SMPS 3936 («TSI Inc.») в воздушном потоке на входе и выходе очистителя.

В экспериментах по очистке воздуха от микробиологических загрязнений участвовали оба испытываемых прибора – «ТЮКРАФТ VL-40» и «ТЮКРАФТ VR-400А». Испытания проводились в реальных помещениях: операционной вивария Института проблем химической физики РАН, лаборатории микологии Всероссийского центра карантина растений, отделения кардиореанимации Московской городской клинической больницы № 70. Определялось количество колониеобразующих единиц в воздухе в зависимости от времени работы очистителя. Отбор проб осуществляли прокачкой заданного объема воздуха через импактор «FLORA-100», в который устанавливали чашки Петри со стерильной питательной средой. После отбора проб чашки Петри помещали в инкубатор, где

выдерживали их при температуре +37 °С в течение 48 ч. Точки отбора проб были равномерно расположены по всей площади помещений на высоте 1 м от пола. После подсчета количества выросших колоний осуществлялось контурное картирование в проекции XYZ с построением пространственной интерполяционной сетки по методу Шепарда [5], [6].

#### Результаты

##### Очистка воздуха от ЛОС

В *табл. 1* приведены результаты очистки воздуха от модельных органических загрязнителей в испытательном боксе объемом 10 м<sup>3</sup> устройством «ТЮКРАФТ VL-40». Начальная концентрация ацетона в воздухе соответствовала 8 ПДК для рабочей зоны, формальдегида – 3,4 ПДК. При уничтожении ацетона измерялось также содержание в воздухе углекислого газа, в экспериментах с формальдегидом такие замеры не проводились ввиду недостаточной чувствительности прибора для измерения малых концентраций CO<sub>2</sub>.

Таблица 1

Результаты очистки воздуха от модельных загрязнителей

Время работы, мин	Окисление ацетона		Окисление формальдегида
	Концентрация, мг/м <sup>3</sup>		Концентрация, мг/м <sup>3</sup>
	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub> O
0	1657	0	1,71
10	1075	1099	1,38
20	840	1670	1,18
30	630	2325	0,89
40	322	3035	0,56
50	98	3572	0,26
60	3	3730	0,19
70	2	3735	0,14
80	0	3739	0,11
90	–	–	0,09
100	–	–	0,06
110	–	–	0,04

Из *табл. 1* видно, что через 50 мин работы прибора концентрация паров ацетона и формальдегида в воздухе испытательного бокса падает ниже ПДК. Уменьшение содержания органики (ацетона) сопровождается ростом концентрации углекислого газа, что соответствует окислительному механизму фотокаталитической очистки.

##### Очистка воздуха от аэрозолей

На *рис. 2* представлено распределение по размеру частиц аэрозоля табачного дыма, используемого в качестве модельного загрязнителя при испытании прибора «ТЮКРАФТ VR-400А». Видно, что основную долю в аэрозоле составляют частицы размером около 90 нм. Верхняя кривая на графике отражает степень очистки проходящего через прибор воздуха в зависимости от размера аэрозольных частиц.

Эксперимент показал, что за один проход через прибор из воздуха полностью удаляются частицы размером более 20 нм. В области меньших размеров наблюдается некоторое снижение эффективности очистки, но учитывая малую долю таких частиц в составе исходного аэрозоля, можно говорить о практически 100%-й эффективности прибора «ТЮКРАФТ VR-400А» при очистке воздуха от аэрозолей типа табачного дыма.

##### Очистка воздуха от микробиологических загрязнений

Конвекционный фотокаталитический рециркулятор «ТЮКРАФТ VL-40» был испытан в лаборатории молекулярной биологии Института проблем химической физики РАН

площадью 35 м<sup>2</sup>. Работа прибора в течение 42 ч позволила снизить содержание в воздухе микроорганизмов (в основном кишечной палочки и стафилококка) более чем в 10 раз от начальной концентрации 375 КОЕ/м<sup>3</sup>. Этот прибор показал также хорошие результаты при очистке воздуха от грибов в помещении лаборатории микологии Всероссийского центра карантина растений площадью 6 м<sup>2</sup>. На *рис. 3а* представлена карта распределения концентрации грибковых образований в воздухе помещения в начальный момент испытаний и после 48 ч непрерывной работы воздухоочистителя. В результате работы прибора наблюдается более чем десятикратное снижение концентрации КОЕ в воздухе.

Аналогичные результаты показали испытания воздухоочистителя «ТЮКРАФТ VR-400А» в помещениях большей площади. Так, в операционной вивария Института проблем химической физики РАН площадью 50 м<sup>2</sup> уровень микробиологической загрязненности воздуха уже в первые 24 ч работы прибора снизился примерно в 10 раз (*рис. 3б*).

Положительные результаты обеззараживания воздуха в помещениях, требующих особой стерильности воздуха, получены в Московской городской клинической больнице № 70. На *рис. 4* показаны результаты очистки воздуха в отделении реанимации площадью 160 м<sup>2</sup> воздухоочистителем «ТЮКРАФТ VR-400А», отработавшем 5 суток в режиме

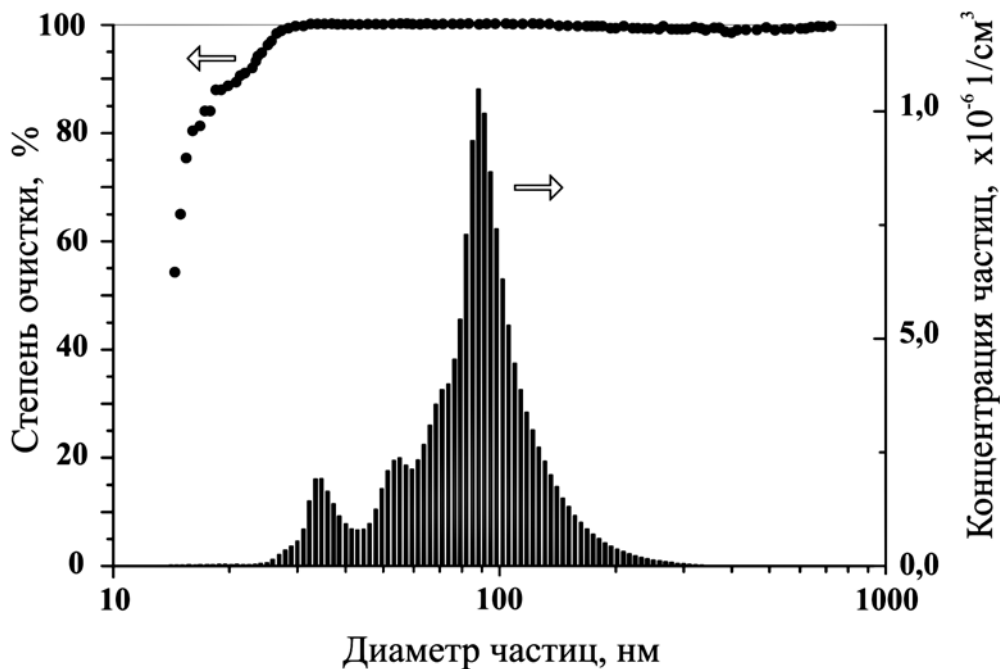


Рис. 2. Эффективность удаления из воздуха табачного дыма

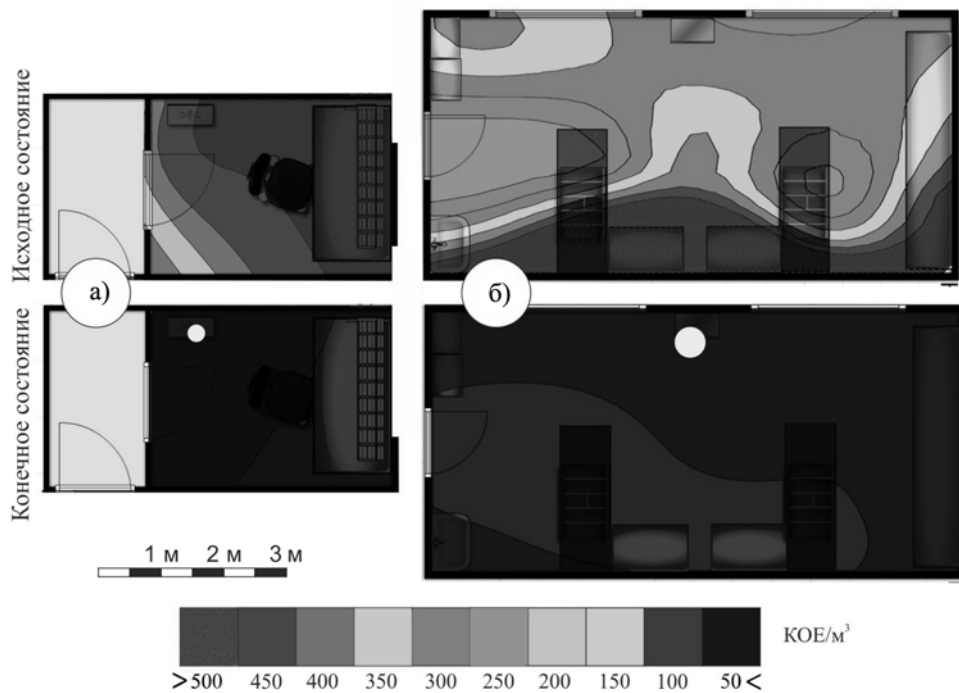


Рис. 3. Сравнительная картина распределения микрофлоры в воздухе лаборатории микологии (а) и операционной вивария (б) до и после обработки фотокаталитическими очистителями

120 м<sup>3</sup>/ч [7]. Расположение прибора обозначено на плане помещения белой точкой.

Проведенные испытания демонстрируют снижение концентрации микроорганизмов в воздухе в результате фотокаталитической очистки на порядок и более.

### Заключение

Проведенные испытания новых приборов для очистки и обеззараживания воздуха «ТЮКРАФТ» на основе оригинального фотокаталитического элемента из пористого спеченного стекла с нанокристаллическим диоксидом титана в качестве фотокатализатора и безозоновой ультрафиолетовой лампой показали высокую эффективность очистки воздуха от молекулярных органических загрязнителей, аэрозольных наночастиц, типичных бактерий и грибов, распространяющихся по воздуху внутри помещений.

С помощью таких воздухоочистителей степень бактериальной обсемененности воздуха может быть снижена более чем на порядок, что дает основание рекомендовать их для обеззараживания воздуха в медицинских учреждениях, в первую очередь с целью снижения уровня внутрибольничных инфекций.

*Авторы выражают глубокую признательность всем участникам подготовки и проведения микробиологических испытаний воздухоочистителей в реально действующих рабочих помещениях различного функционального назначения.*

#### Список литературы:

1. *Cram N., Shipman N., Quarles J.* Reducing airborne microbes in the surgical operating theater and other clinical settings. A study utilizing a unique photocatalytic Reactor Biocide Unit // *J. Clin. Eng.* 2004 April/June. PP. 79-88.
2. *Балихин И.Л., Берестенко В.И., Домашнев И.А., Куркин Е.Н., Першин А.Н., Савинов Е.Н., Троицкий В.Н.* Фотокаталитический элемент и способ его получения / Патент России № 2151632. Бюл. № 18. 2000. С. 310.
3. *Балихин И.Л., Кабачков Е.Н., Першин А.Н.* Фотокаталитический очиститель воздуха конвективного типа / Патент России № 100189. Бюл. № 34. 2010. С. 1278.
4. *Балихин И.Л., Кабачков Е.Н., Першин А.Н.* Очиститель воздуха с фотокаталитическим фильтром / Патент России № 104460. Бюл. № 14. 2011. С. 981.

5. *Shepard D.* A two dimensional interpolation function for irregularly-spaced data / *ASM Nat. Conf.* 1968. PP. 517-524.
6. *Franke R., Nielson G.* Smooth interpolation of large sets of scattered data // *Int. J. Numer. Methods Eng.* 1980. Vol. 15. PP. 1691-1704.
7. *Нахаев В.И., Балихин И.Л., Кабачков Е.Н., Мартынов А.А., Предтеченская А.В.* Чистота воздуха в специализированных помещениях больницы и возможность ее коррекции / Тезисы докл. VII заключительной совместной научно-практической конференции, посвященной 58-й годовщине образования городской клинической больницы № 54 (Москва, 15 сент. 2013 г.). – М.: МИКЛОШ, 2013. С. 209.

*Игорь Львович Балихин,*  
канд. техн. наук, ст. научный сотрудник,  
*Виктор Иванович Берестенко,*  
канд. техн. наук, ст. научный сотрудник,  
*Игорь Анатольевич Домашнев,*  
канд. физ.-мат. наук, руководитель аналитического  
центра коллективного пользования,  
*Евгений Николаевич Кабачков,*  
инженер-исследователь,  
*Институт проблем химической физики РАН,*  
*Евгений Николаевич Куркин,*  
канд. хим. наук,  
руководитель инновационного отдела,  
*Владимир Николаевич Троицкий,*  
д-р техн. наук, гл. специалист,  
*Научный центр РАН в Черноголовке,*  
г. Черноголовка,  
*Виктор Иванович Нахаев,*  
д-р мед. наук, профессор,  
*кафедра медицины катастроф,*  
*Московский государственный*  
*медико-стоматологический университет,*  
г. Москва,  
e-mail: balihinigor@mail.ru

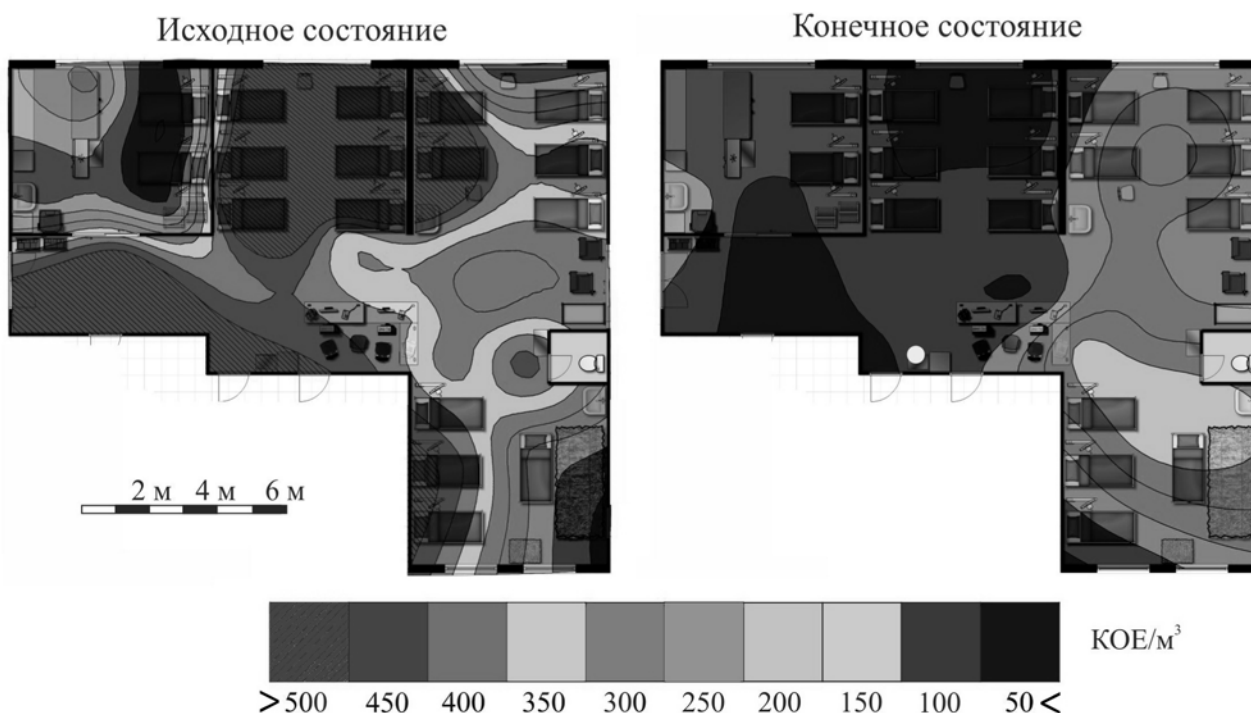


Рис. 4. Результаты обеззараживания воздуха в отделении реанимации