



Управление образования города Пензы  
МБОУ лицей №73 г. Пензы  
«Лицей информационных систем и технологий»

# **Анализ и расчет бактерицидных ре- циркуляторов-облучателей воздуха**

Работу выполнили:  
Кравчук Анна Дмитриевна, ученик 10А класса  
Аляев Александр Олегович, ученик 11А класса

Научный руководитель:  
учитель технологии  
высшей квалификационной категории  
Пеганов Станислав Юрьевич

## Оглавление

|  |                              |
|--|------------------------------|
| <i>Введение</i> .....  | 2                            |
| <i>Актуальность</i> .....  | 3                            |
| <i>I Теоретическая часть</i> .....   | 4                            |
| <i>Медицинские и физические аспекты различных способов очистки воздуха</i> .....                       | 4                            |
| <i>Категории безопасности</i> .....  | 8                            |
| <i>Требования, предъявляемые к рециркуляторам воздуха, устанавливаемым в учебных учреждениях</i> ..... | 8                            |
| <i>Анализ и расчет эффективности работы бактерицидного рециркулятора</i> .....                         | 9                            |
| <i>Характеристик устройств</i> .....   | 13                           |
| <i>II Практическая часть</i> .....   | 14                           |
| <i>Назначение</i> .....  | 14                           |
| <i>Режимы работы</i> .....   | 15                           |
| <i>Итоги исследования</i> .....  | Ошибка! Залка не определена. |
| <i>Список литературы</i> .....   | 15                           |
| <i>Приложение №1</i> .....   | 17                           |
| <i>Приложение №2</i> .....   | 19                           |
| <i>Приложение №3</i> .....   | 21                           |
| <i>Приложение №4</i> .....   | 23                           |

## Введение

От чистоты воздуха, которым мы дышим, зависит эмоциональное состояние человека, а также работоспособность иммунной системы организма, которая стоит на страже нашего здоровья. Постоянные атаки вредоносных микроорганизмов со временем могут оказать пагубное воздействие на систему защиты нашего тела, после чего мы становимся уязвимыми перед любыми осложнениями. Обеззараживание воздуха отличается от обычного очищения воздушного пространства. Дело в том, что при обеззараживании главной целью для устранения являются бактерии и микробы, которые вызывают проблемы со здоровьем, чего при обычной очистке воздуха не предполагается. При этом в ход идут специальные приспособления, фильтры и антисептические свойства оборудования. Разумеется, аэрозоли и прочие химические составы также могут успешно справляться с данной задачей, но их воздействие кратковременно и потому менее эффективно.

Статистика констатирует, что инфекционными заболеваниями ежегодно в мире инфицируются более 7 млн. человек, даже проведение вакцинации не спасает от эпидемиологической опасности, т. к. новые штаммы вируса гриппа на нее не обращают внимание.

Дезинфекция воздуха бактерицидными рециркуляторами рекомендована Роспотребнадзором для профилактики коронавируса. Без сомнения, дополнительно обезопасить себя и других людей не повредит, ведь вряд ли кому-то захочется остановить работу из-за вспышки эпидемии еще на месяц-другой.

#### **Цель исследования:**

Изучить принцип работы бактерицидного рециркулятора воздуха, рассмотреть порядок расчета его эффективности работы и дать рекомендации по изготовлению данного устройства собственной конструкции.

#### **Задачи:**

1. Изучить принцип работы бактерицидных рециркуляторов-облучателей воздуха.
2. Произвести расчет эффективности данных устройств.
3. Разработать на основе проведенного расчета экспериментальный образец устройства для применения в нуждах лица.

#### **Основными методами исследования являются:**

- работа с научной литературой;
- поиски анализ информации в сети Интернет;
- практическая работа по созданию прибора ультрафиолетовой очистки воздуха.

#### **Актуальность**

Обеззараживание воздуха в замкнутых помещениях с интенсивным потоком людей ультрафиолетовыми бактерицидными рециркуляторами является одним из самых действенных методов профилактики заражения инфекционными заболеваниями распространяющихся воздушным путем.

В связи с масштабным распространением COVID-19 и широким применением ультрафиолетовых бактерицидных рециркуляторов, мы проанализировали рынок данных устройств и выявили следующие негативные моменты в условиях их применения в учебных заведениях:

1. Высокая стоимость, средняя стоимость ~ (стоимость более 5000 руб) - 93%
2. Наличие только одной функции пользователя "Включить-выключить" - 68%
3. Напольное размещение - 72%

Рассмотрим почему указанные моменты являются негативными в условиях учебного заведения (на примере МБОУ "Лицей №73", г.Пенза):

1. Высокая стоимость. В лицее для занятий используется 43 учебных кабинета, в которых необходима установка рециркуляторов, не считая мест общего пользования, таким образом с учетом средней стоимости ~ 12000 рублей, затраты на закупку данного оборудования составят примерно 520 000 рублей.

2. "Включить-выключить". Наличие только данной функции ведет к необоснованному перерасходу электрической энергии, в результате постоянной работы и случаям работы во внеучебное время ("Забыли выключить").

3. Напольное размещение. Такое размещение в учебных классах и других помещениях учебных заведений, таит в себе огромную опасность поражения учащихся электрическим током и возникновения пожара.

Но главной причиной проведения данной исследовательской работы являются возникающие сомнения в эффективности работы отдельных образцов рециркуляторов, в связи с использованием маломощных вентиляторов и ультрафиолетовых ламп, а также особенностей их конструкции.

Таким образом, мы пришли к идее создания собственной модели интеллектуального бактерицидного очистителя воздуха, который назвали **"Smart Bactericidal Air Cleaner (SBAC) - Умный Бактерицидный Чистильщик Воздуха"**

Созданный прибор является аналогом бактерицидного очистителя воздуха, но при этом не требует больших финансовых затрат (стоимость составляет менее 5000 руб), что делает его выгодным по сравнению с заводскими приборами, но при этом по своим функциональным возможностям значительно превосходит их.

## **I Теоретическая часть.**

### **Медицинские и физические аспекты различных способов очистки воздуха**

Обеззараживание воздуха — профилактическое мероприятие, которое помогает предотвратить распространение инфекционных заболеваний с аэрозольным механизмом передачи (туберкулез, корь, дифтерия, ветряная оспа, краснуха, ОРВИ, включая грипп, и т. п.).

Согласно СанПиН 2.1.3.2630-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям, осуществляющим медицинскую деятельность» (далее — СанПиН 2.1.3.2630-10) для снижения обсемененности воздуха до безопасного уровня в медицинских организациях применяются технологии воздействия ультрафиолетовым излучением, аэрозолями дезинфицирующих средств, а в ряде случаев и озоном, используются бактериальные фильтры.

#### *Технология 1. Воздействие ультрафиолетовым излучением*

Ультрафиолетовое (УФ) бактерицидное облучение воздушной среды помещений — традиционное и наиболее распространенное санитарно-противоэпидемическое (профилактическое)

мероприятие, направленное на снижение количества микроорганизмов в воздухе медицинских организаций и профилактику инфекционных заболеваний. УФ-лучи являются частью спектра электромагнитных волн оптического диапазона. Они оказывают повреждающее действие на ДНК микроорганизмов, что приводит к гибели микробной клетки в первом или последующих поколениях.

Выделяют, как наиболее важные, следующие диапазоны ультрафиолетового излучения: Ближний ультрафиолет, УФ-А лучи (UVA, 315—400 нм) УФ-В лучи (UVB, 280—315 нм) Дальний ультрафиолет, УФ-С лучи (UVC, 100—280 нм).

Спектральный состав УФ-излучения, вызывающего бактерицидное действие, лежит в интервале длин волн 205—315 нм. Вирусы и бактерии в вегетативной форме более чувствительны к воздействию УФ-излучения, чем плесневые и дрожжевые грибы, споровые формы бактерий.

Эффективность бактерицидного обеззараживания воздуха помещений с помощью УФ-излучения зависит:

- ✓ от видовой принадлежности микроорганизмов, находящихся в воздухе;
- ✓ спектрального состава УФ-излучения;
- ✓ интенсивности импульса, выдаваемого источником УФ-лучей;
- ✓ экспозиции;
- ✓ объема обрабатываемого помещения;
- ✓ расстояния от источника, угла падения УФ-лучей («не работают» в затененных местах помещения);
- ✓ состояния воздушной среды помещения: температуры, влажности, уровня запыленности, скорости потоков воздуха.

3 способа применения УФ-излучения:

**Прямое** облучение проводится в отсутствие людей (перед началом работы, в перерывах между выполнением определенных манипуляций, приема пациентов) с помощью бактерицидных ламп, закрепленных на стенах или потолке либо на специальных штативах, стоящих на полу;

**Непрямое** облучение (отраженными лучами) осуществляется с использованием облучателей, подвешенных на высоте 1,8–2 м от пола с рефлектором, обращенным вверх таким образом, чтобы поток лучей попадал в верхнюю зону помещения; при этом нижняя зона помещения защищена от прямых лучей рефлектором лампы. Воздух, проходящий через верхнюю зону помещения, фактически подвергается прямому облучению;

**Закрытое** облучение применяется в системах вентиляции и автономных рециркуляционных устройствах, допустимо в присутствии людей. Воздух, проходящий через бактерицидные лампы, находящиеся внутри корпуса рециркулятора, подвергается прямому облучению и попадает вновь в помещение уже обеззараженным.

В качестве источников УФ-излучения используются разрядные лампы. Физическая основа их функционирования — электрический разряд в парах металлов, при котором в этих лампах генерируется излучение с диапазоном длин волн 205–315 нм (остальная область спектра излучения играет второстепенную роль).

Ртутные лампы низкого давления конструктивно и по электрическим параметрам практически не отличаются от обычных осветительных люминесцентных ламп, за исключением того, что их колба выполнена из специального кварцевого или увиолевого стекла с высоким коэффициентом пропускания УФ-излучения, на ее внутреннюю поверхность не нанесен слой люминофора. Основное достоинство ртутных ламп низкого давления состоит в том, что более 60 % излучения приходится на длину волны 254 нм, обеспечивающую наибольшее бактерицидное действие. Они имеют большой срок службы (5000–10 000 ч) и мгновенную способность к работе после зажигания.

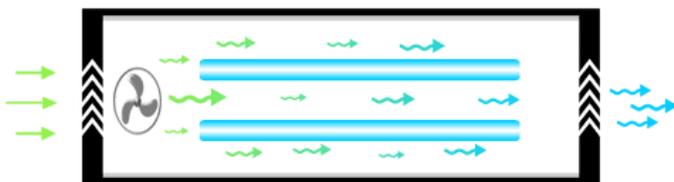
Существенным недостатком ртутных ламп является опасность загрязнения парами ртути помещений и окружающей среды в случае разрушения и необходимости проведения демеркуризации. Поэтому после истечения сроков службы лампы подлежат централизованной утилизации в условиях, обеспечивающих экологическую безопасность.

Бактерицидный облучатель — это электротехническое устройство, в состав которого входят: бактерицидная лампа, отражатель и другие вспомогательные элементы, а также приспособления для крепления. Бактерицидные облучатели перераспределяют поток излучения, сгенерированного лампой, в окружающее пространство в заданном направлении.

Обеззараживание происходит в процессе принудительной рециркуляции воздуха с помощью вентилятора через корпус облучателя, внутри которого размещены ультрафиолетовые лампы с длиной волны 230–300 нм, при этой длине волны ультрафиолет наиболее эффективно уничтожает РНК и ДНК вирусов и бактерий. Стандартом для УФ-ламп стали длины волн с максимумом около 254 нм, обладающие широким спектром действия на микроорганизмы, включая бактерии, вирусы, грибы и споры. Отсутствие прямых ультрафиолетовых лучей делает рециркуляторы-облучатели безопасными для использования в присутствии людей.

Все бактерицидные облучатели подразделяются на две группы — открытые и закрытые. В открытых облучателях используется прямой бактерицидный поток от лампы и отражателя (или без него), который охватывает определенное пространство вокруг них. Такие облучатели устанавливаются на потолке, стене или в дверных проемах, возможны мобильные (передвижные) варианты облучателей.

У закрытых облучателей (рециркуляторов) бактерицидный поток распределяется в ограниченном замкнутом пространстве и не имеет выхода наружу, при этом обеззараживание воздуха осуществляется в процессе его прокачки через вентиляционные отверстия рециркулятора.



Обеззараживание происходит в процессе принудительной рециркуляции воздуха с помощью вентилятора через корпус облучателя, внутри которого размещены ультрафиолетовые лампы с длиной волны 230-300 нм.

Облучатели закрытого типа (рециркуляторы) должны размещаться в помещении на стенах по ходу основных потоков воздуха (в частности, вблизи отопительных приборов) на высоте не менее 2 м от пола.

Отсутствие прямых ультрафиолетовых лучей делает рециркуляторы-облучатели безопасными для использования в присутствии людей.

В помещении предпочтительней установка облучателей вблизи вентиляционных каналов (не под вытяжкой) и окон. Сравнительная характеристика различных технических средств обеззараживания воздуха представлена в таблице.

#### *Технология 2. Применение бактериальных фильтров, механические фильтры*

Фильтры используют такой способ очистки, при котором загрязненный воздух проходит через волокнистые материалы и осаждается на них.

СанПиН 2.1.3.2630-10 регламентируют необходимость очистки воздуха, подаваемого приточными установками, фильтрами грубой и тонкой очистки.

#### *Технология 3. Воздействие аэрозолями дезинфицирующих средств*

Согласно МР 3.5.1.0103-15 «Методические рекомендации по применению метода аэрозольной дезинфекции в медицинских организациях» антимикробное действие аэрозолей основано на двух процессах:

- испарение частиц аэрозоля и конденсация его паров на бактериальном субстрате;
- выпадение неиспарившихся частиц на поверхности и образование бактерицидной пленки.

Данная технология обработки воздуха и поверхностей рекомендуется в качестве основного/вспомогательного или альтернативного метода для обеззараживания воздуха и поверхностей при проведении заключительной дезинфекции, генеральных уборок, перед сносом и перепрофилированием медицинских организаций; при различных типах уборки; для обеззараживания систем вентиляции и кондиционирования воздуха при проведении профилактической дезинфекции, дезинфекции по эпидемиологическим показаниям и очаговой заключительной дезинфекции.

#### *Технология 4. Воздействие озоном*

Озон — это химическое вещество, молекула которого состоит из трех атомов кислорода. Молекула озона нестабильна. При взаимодействии с другими веществами озон легко теряет атомы кислорода и поэтому озон является одним из наиболее сильных окислителей, намного превосходя двухатомный кислород воздуха (уступает только фтору и нестабильным радикалам). Он окисляет почти все элементы, за исключением золота и платины. Озон энергично вступает в химические реакции со многими органическими соединениями. Этим объясняется его выраженное бактерицидное действие. Озон активно реагирует со всеми структурами клетки, чаще вызывая нарушение проницаемости или разрушение клеточной мембраны. Также озон обладает дезодорирующим действием. В то же время озон является газом, негативное воздействие которого на организм человека превышает воздействие угарного газа. (Приложение №1)

### **Категории безопасности**

Министерство здравоохранения разработало перечень помещений, которые необходимо обязательно оборудовать установками для обеззараживания с определенным уровнем эффективности воздействия на воздушные массы:

90,0% — это комнаты для активных детских игр, различные помещения общеобразовательных заведений, где проводятся занятия, раздевалки промышленных зон и зданий общественного пользования, где в течение длительного времени находится большое скопление людей.

95,0% — больничные палаты, кабинеты врачебного осмотра и для проведения оздоровительных мероприятий, коридоры реанимационных блоков.

99,0% — специализированные комнаты в больницах и поликлиниках, больничные палаты, где находятся пациенты, имеющие проблемы с иммунной системой; реанимационные отделения, а также различные лаборатории по обработке анализов, помещения, где проводится переливание крови, цеха фармацевтического производства стерильных лекарств.

99,9% — блоки для проведения операций, родильные отделения, стерильные зоны, детские палаты и отсеки для недоношенных детей родильного отделения.

Все приборы позволяют достигнуть необходимых параметров стерильности за довольно короткие сроки после их установки. Применение таких изделий разрешено во всех местах общественного пользования.

### **Требования, предъявляемые к рециркуляторам воздуха, устанавливаемым в учебных учреждениях**

На основе большого числа нормативно-правовых документов, мы постарались систематизировать требования, предъявляемые к рециркуляторам воздуха, их размещению и эксплуатации:

1. Рециркуляторы воздуха, устанавливаемые в учебных учреждениях, должны относиться к закрытому типу, иметь прочный пластиковый или металлический корпуса.

2. Должны крепиться на стену или потолок, или в крайних случаях допускается напольная установка в местах отсутствия прохода учащихся.
3. Должны иметь низкий уровень шума. Именно благодаря ему рециркуляторы могут устанавливаться в помещении, где проводятся учебные занятия.
4. Должны иметь продолжительный срок службы. Срок службы УФ ламп от 8000 до 9000 часов в зависимости от модели.
5. У них должна быть высокая эффективность. Во время функционирования оборудования уничтожается до 99,9% вирусов, бактерий и микроорганизмов.
6. Должна быть возможность стационарного и мобильного использования устройства. Для удобства перемещения прибор устанавливается на специальную стойку.
7. Должны уничтожать практически всех видов вирусов. Благодаря этому оборудование идеально подходит для снижения риска заражения гриппом, ОРВИ и иными заболеваниями подобного типа. Более того, обеспечивается уничтожение грибов, спор, бактерий, а также возбудителей внутрибольничных инфекций, пневмонии и туберкулеза.
8. Должны иметь в наличии таймера наработки ламп. Благодаря ему появляется возможность наглядно видеть, когда стоит произвести замену УФ ламп.

### **Анализ и расчет эффективности работы бактерицидного рециркулятора**

На основании всего вышеизложенного основными ключевыми факторами для расчета работы такого рода устройств являются:

1. Достаточность и полнота дезинфекции.
2. Безопасность эксплуатации.
3. Комфорт.
3. Энергоэффективность.

Эффективность работы рециркулятора по обеззараживанию воздуха в помещении, складывается из двух основных величин:

1. Производительность обмена воздуха ( $\text{м}^3/\text{ч}$ )
2. Бактерицидная производительность (ПрБК,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ).

*Расчет времени полного обмена воздуха в помещении, рециркуляторами.*

Объем воздуха, проходящий через камеру обработки, напрямую зависит от производительности применяемого вентилятора.

*Расчет для заводского рециркулятора*

Производительность вентилятора в примененного в разработанном нами устройстве составляет  $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Применяя заводское устройство в фойе лица, получаем следующее время полной рециркуляции:

| Кол-во рециркуляторов | Объём фойе лица    | Производительность тангенциального вентилятора в устройстве | Кол-во времени для полной очистки воздуха в фойе<br>(Объём помещения/ Производительность вентилятора) |
|-----------------------|--------------------|---|---|
| 1                     | 586 м <sup>3</sup> | 60 м <sup>3</sup> /ч  | $586/60 = 9,7 \text{ часа} = 582 \text{ мин}$   |
| 2                     |                    |   | $586/60 * 2 = 4,9 \text{ часа} = 294 \text{ мин}$   |
| 4                     |                    |   | $586/60 * 4 = 2,5 \text{ часа} = 150 \text{ мин}$   |
| 6                     |                    |   | $586/60 * 6 = 1,6 \text{ часа} = 96 \text{ мин}$  |
| 8                     |                    |   | $586/60 * 8 = 1,2 \text{ часа} = 72 \text{ мин}$  |
| 10                    |                    |   | $586/60 * 10 = 1 \text{ часа} = 60 \text{ мин}$   |
| 16                    |                    |   | $586/60 * 16 = 0,6 \text{ часа} = 36 \text{ мин}$   |

Производительность тангенциального вентилятора примененного в разработанном нами устройстве составляет 250 м<sup>3</sup>/ч.

Таким образом, применяя наше устройство в фойе лица, мы получаем следующее время полной рециркуляции:

| Кол-во рециркуляторов | Объём фойе лица    | Производительность тангенциального вентилятора в устройстве | Кол-во времени для полной очистки воздуха в фойе<br>(Объём помещения/ Производительность вентилятора) |
|-----------------------|--------------------|---|---|
| 1                     | 586 м <sup>3</sup> | 250 м <sup>3</sup> /ч                                       | $586/250 = 2,3 \text{ часа} = 138 \text{ мин}$  |
| 2                     |                    |   | $586/250 * 2 = 1,8 \text{ часа} = 70 \text{ мин}$   |
| 3                     |                    |   | $586/250 * 3 = 0,8 \text{ часа} = 47 \text{ мин}$   |
| 4                     |                    |   | $586/250 * 4 = 0,8 \text{ часа} = 35 \text{ мин}$   |

Также, одним из факторов влияющим на время работы устройства в фойе лица является полная прокачка воздуха через него в течении урока, чтобы к началу следующей перемены воздух в фойе был полностью рециркулирован.

Таким образом, из приведенных расчетов следует, что в фойе лица должно быть установлено 16 заводских рециркуляторов или 4 рециркулятора нашей разработки.

*Расчет величины бактерицидной производительности устройства*

Один из важнейших параметров бактерицидного облучателя – его бактерицидная производительность (Прбк, м<sup>3</sup>/ч), под которой понимается количественная результативность использования облучателя как средства снижения микробной обсеменённости в воздухе, прокачиваемом через него.

Другой важнейший параметр этого облучателя – бактерицидная эффективность (Жбк) – выражается как

$$J_{\text{бк}} = \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{о}}} * 100 = \frac{(N_{\text{о}} - N_{\text{в}})}{N_{\text{о}} * 100} = \left(1 - \frac{N_{\text{в}}}{N_{\text{о}}}\right) * 100\% \quad (1)$$

где:

$N_{\text{о}}$  – число микроорганизмов в воздушном потоке на входе облучателя;

$N_{\text{п}}$  – число погибших микроорганизмов на выходе облучателя;

$N_{\text{в}}$  – число выживших микроорганизмов на выходе облучателя.

Итак, для подсчета данной величины были приняты следующие допущения:

- камера имеет форму прямоугольного параллелепипеда, объём которого равен фактическому объёму камеры ( $V_{\text{к}}$ , м<sup>3</sup>), независимо от её конструктивного исполнения;
- время облучения воздушного потока воздуха в камере выражается как

$$t_{\text{к}} = \frac{V_{\text{к}} * 3600}{\text{Прбк}} \quad (2)$$

Средняя объёмная плотность энергии бактерицидного излучения (объёмная экспозиция или доза) в облучаемой зоне ( $H_{\text{v}}$ ) выражается как:

$$H_{\text{v}} = \frac{N_{\text{л}} F_{\text{л}} K_{\text{ф}} K_{\text{о}} K_{\text{с}} t_{\text{к}}}{V_{\text{к}}} \quad (3)$$

где:

$N_{\text{л}}$  – число ламп в облучателе;

$F_{\text{л}}$  – бактерицидный поток лампы, Вт;

$K_{\text{ф}}$  – коэффициент использования бактерицидного потока ламп, учитывающий их взаимное экранирование (при расположении ламп в воздушном потоке он лежит в пределах 0,4 – 0,5, а если не в потоке, то – 0,7-0,8);

$K_{\text{о}} = 1 / (1 - 0,6 \text{ рк})$  – коэффициент многократных отражений бактерицидного потока от внутренних стенок камеры с коэффициентом отражения рк на длине волны 253,7 нм. (Эта формула основана на экспериментальных данных для незамкнутой поверхности, взятых из различных источников);

$K_{\text{с}}$  – коэффициент, учитывающий спад бактерицидного потока к концу срока службы ламп, (берётся равным 0,7-0,8);

$J_{\text{бк}}$  принимается равной 99,9%.

Процесс отмирания микроорганизмов в результате облучения воздушного потока в камере описывается уравнением

$$\frac{N_B}{N_0} = \exp(-\sigma_v H_v) \quad (4)$$

где:

$\sigma_v = -\ln(1 - J_{бк} \cdot 10^{-2}) / H_T = 0,0179 \text{ м}^3/\text{Дж}$  – константа фоточувствительности санитарно-показательного микроорганизма (*S. aureus*) для бактерицидного излучения;

$H_T = 385 \text{ Дж}/\text{м}^3$  – табличное значение объемной экспозиции для *S. aureus* при  $J_{бк} = 99,9\%$ , которое берётся для различных видов микроорганизмов из различных нормативных документов.

Далее, из (1) и (4) следует:

$$H_v = -\frac{\ln(1 - J_{бк} \cdot 10^{-2})}{\sigma_v} \quad (5)$$

а из (2), (3) и (5) – уравнение

$$\text{Пр}_{бк} = \frac{N_l F_l K_\phi K_o K_c \sigma_v \cdot 3600}{(-\ln(1 - J_{бк} \cdot 10^{-2}))} \quad (6)$$

из которого, в свою очередь, следует:

$$\text{Пр}_{бк} = \left(1 - \exp\left(-\frac{N_l F_l K_\phi K_o K_c \sigma_v \cdot 3600}{\text{Пр}_{бк}}\right)\right) \cdot 100\% \quad (7)$$

Из выражения (7) следует, что при постоянстве  $\text{Пр}_{бк}$  и остальных параметров облучателя, оно соответствует уравнению непрерывности воздушного потока в камере:

$$\text{Пр}_{бк} = \text{const} = vS \cdot 3600 = \frac{LS \cdot 3600}{t_k} \quad (8)$$

где:

$S$  – площадь живого сечения камеры,  $\text{м}^2$ ;

$v$  – скорость воздушного потока в камере,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$L$  – длина камеры,  $\text{м}$ .

Согласно (8), через сечение воздуховода меньшей площади воздушный поток движется с большей скоростью и наоборот, причём  $J_{бк}$  остается неизменной, и с помощью (8) можно выбирать размеры камеры.

Из сказанного следует, что (6) удовлетворяет основному требованию к модели – способности предсказывать варианты конструктивных решений с заданными параметрами.

Конструктивные внутренние элементы закрытого облучателя оказывают определенное сопротивление воздушному потоку, в том числе и фильтр, устанавливаемый на выходном окне. В задачу фильтра входит оказывать малое гидравлическое сопротивление воздушному потоку, но при этом не пропускать наружу УФ излучение ламп. Степень гидравлического сопротивления фильтра в основном зависит от конфигурации его элементов. Наибольшее сопротивление оказывает плоская пластина, расположенная поперёк потока, наименьшее – элементы обтекаемой

формы. Это учитывается суммарным коэффициентом местного сопротивления ( $\mu$ ), оценочное значение которого вычисляется по эмпирической формуле

$$\mu = 2,07 \exp(-0,767S^{0,5}) \quad (9)$$

При этом соотношение между производительностью вентилятора или производительность приточно-вытяжной вентиляции ( $Pr_v$ ) и  $Pr_{бк}$  определяется выражением:

$$Pr_v = \mu Pr_{бк} \quad (10)$$

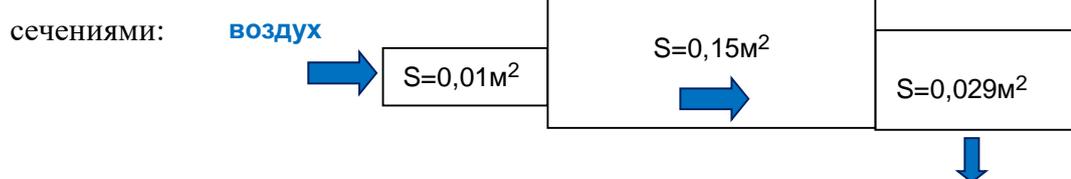
В НИИ Дезинфектологии (ныне ФГУН НИИД Роспотребнадзора) в течение многих лет проводились испытания различных типов закрытых облучателей и расчёты их бактерицидной производительности, которые подтверждают, что расхождения между результатами эксперимента и расчёта не превышают 20%.

### Характеристика устройств

Результаты расчета бактерицидной эффективности, указанной в таблице (Приложение №3) приведены в Приложении №2, они указывают на то, что данная величина значительно ниже рекомендуемой величины, что приведет к недостаточно эффективной работе данного заводского устройства.

В результате полученных значений (см. Приложение №2) можно сделать вывод, что хотя одна из основных величин влияющая на эффективность работы созданного нами бактерицидного рециркулятора несколько ниже 99,9%, но она выше чем заводского устройства Solar-60, кроме того имеются следующие конструктивные особенности нашего устройства, которые не были учтены при расчетах и должны повысить данную величину:

1. Конструкция камеры обработки, которая представляет прямоугольный канал с тремя



Таким образом, “живое сечение” камеры уменьшится, что соответственно приведет к уменьшению скорости потока, что соответственно повысит величину бактерицидной эффективности обеззараживания воздушного потока.

1. Внутренние поверхности камеры обклеены алюминиевой фольгой, и имеют больший коэффициент отражения УФ-излучения, чем тот который был использован при расчетах.
2. Производительность использованного в устройстве вентилятора ниже, чем рассчитанная, что также повлияет на эффективность обеззараживания в положительную сторону.

Также следует отметить, что согласно нормативных документов Министерства здравоохранения для помещений учебных заведений уровень эффективности воздействия на воздушные массы должен составлять -90%.

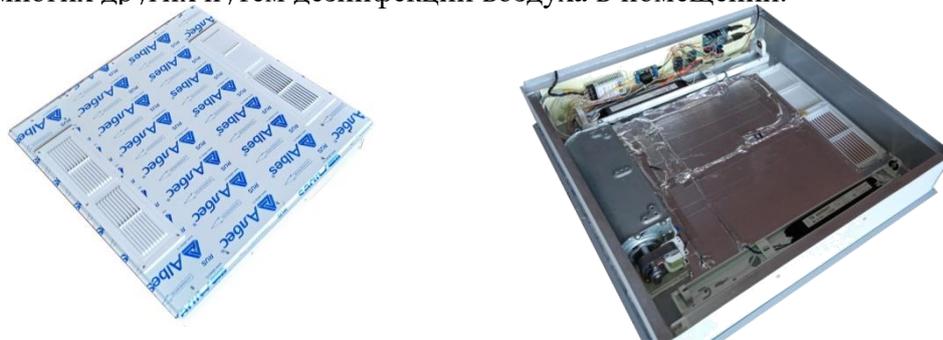
Исходя из приведенных расчетов и сравнения, следует что, разработанное нами устройство превышает по производительности, работает при минимальном количестве времени, лёгко в эксплуатации, прост в применении и в сборке, при этом не теряя в технических показателях.

Анализируя полученные данные, мы предлагаем примерный режим работы данного устройства, согласно сетке уроков и секций лица (Приложение №4)

## II Практическая часть

### Назначение

**Smart Bactericidal AirC leaner(SBAC)**предотвращает распространение различного рода инфекций распространяющихся воздушным путем, таких как грипп, ОРЗ, дифтерия, туберкулез, COVID-19 и многих других путем дезинфекции воздуха в помещении.



**SBAC**обеспечивает:

1. Бактерицидную обработку воздуха путем многократного его прогона через пространство, облучаемое ультрафиолетовыми лампами.
2. Автоматический подсчёт ресурса работы УФ-ламп и визуальную индикацию срока эксплуатации, и предупреждение о необходимости их замены.
3. Контроль интенсивности ультрафиолетового излучения и сигнализацию снижения эффективности работы УФ-ламп.
4. Контроль вращения тангенциального вентилятора.
5. Контроль температуры и наличия очагов возгорания внутри корпуса.
6. Работу по расписанию, установленного пользователем в зависимости от условий и места эксплуатации, для обеспечения оптимального режима обеззараживания и экономии электроэнергии.
7. Установку в систему подвесных потолков помещения или самостоятельное размещение на стене или потолке.

8. Дистанционное управление при помощи ИК-пульта или Android- устройства.

Данное устройство в первую очередь было разработано для обеспечения безопасности жизнедеятельности в учебных заведениях различного рода.

### **Режимы работы**

1. Непрерывный режим работы.
2. Автоматический режим работы по расписанию.
3. Автоматический контроль интенсивности ультрафиолетового излучения и сигнализация снижения эффективности работы УФ-ламп.
4. Автоматический контроль вращения тангенциального вентилятора.

### **Итоги исследования**

На фоне распространения вирусной инфекции в определенные периоды (осень-весна) очень актуально усиление профилактических мер и на фоне распространения коронавируса в целях профилактики нами разработан бактерицидный рециркулятор воздуха. Его можно использовать в любых помещениях для обеззараживания воздуха. Это устройство стало альтернативной заменой дорогостоящим рециркуляторам воздуха, уже предложенным многим школам нашего города.

Проведенные теоретические расчеты показывают эффективность его работы, а низкая себестоимость и высокие потребительские качества, могут обеспечить заинтересованность в организации его промышленного производства.

Нашими устройствами мы планируем оснастить фойе нашего лицея, где постоянно скапливается большое количество людей.

Мы также предполагаем, провести ряд работ по усовершенствованию нашего устройства для возможности применения его во многих областях: общественный транспорт, лифты, общие коридоры жилых зданий многое другое.

### **Список литературы**

#### **Нормативные документы:**

1. «СанПиН 2.4.5.2409-08. Санитарно-эпидемиологические требования к организации питания обучающихся в общеобразовательных учреждениях, учреждениях начального и среднего профессионального образования. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы».
2. ГОСТ Р 15.013-94 "Система разработки продукции. Медицинские изделия".

3. ГОСТ Р 50444-92 "Приборы, аппараты и оборудование медицинские. Общие технические условия".
4. ГОСТ Р 50267.0-92 "Изделия медицинские электрические. Общие требования безопасности"
5. ГОСТ 12.2.025-76 "Изделия медицинской техники. Электробезопасность", а также Приказом Минздрава РФ от 15.08.01 N 325 с изменениями от 18.03.02 "Порядок проведения санитарно-эпидемиологической экспертизы продукции".

**Книги:**

1. Росляков Е.М., Сударь Ю.М., Тупицин Ю.Е. Справочник «Насосы. Вентиляторы. Кондиционеры, Вентеляторы». Политехника, 2011 г.
2. Надеждин Н. «Томас Эдисон. "Человек изобретающий", 2010г.
3. Крох Л. «Всё о рециркуляторах воздуха», 2018г.
4. М.Г. Ковтунович «Домашний эксперимент по физике 7-11 классы». Москва. Владос. 2017г.
5. Майоров А.Н. Физика для любознательных, или о чём не узнаешь уроке. Ярославль. Академия развития, 2010.
6. Перельман Я.И. Занимательная физика. М.: Наука, 1976.
7. Перельман Я.И. Физическая смекалка. М.: Омега, 1994.

**Ресурсы Интернет:**

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki>
2. <http://sovet-ingenera.com/vent/cond/bezlopastnoj-ventilyator.html>
3. <https://aqua-rmnt.com/ventilyaciya/kak-mozhno-sdelat-kondicioner-svoimi-rukami-v-domashnix-usloviyax.html>

## Приложение №1

Сравнительная характеристика различных технических средств обеззараживания воздуха.

| Параметры  | Фотокаталитические воздухоочистители  | Ионные электростатические воздухоочистители                          | УФ-облучатели рециркуляторного типа   | УФ-лампы (без рециркуляции)  | Импульсивные ксеноновые УФ-облучатели   | Аэрозольные генераторы  | Озоновые генераторы  |
|------------|---|--|---|--|---|---|--|
| Назначение | Очистка и обеззараживание воздуха   | Очистка и обеззараживание воздуха                                    | Обеззараживание воздуха   | Обеззараживание воздуха и поверхностей   | Обеззараживание воздуха и поверхностей  | Обеззараживание воздуха и поверхностей                                  | Обеззараживание воздуха и поверхностей   |
| Технология | Уничтожение бактерий, вирусов и спор плесневых грибов за счёт разрушения клеточных стенок. Разлагает органические соединения до простых веществ | Притяжение частиц аэрозоля при прохождении через пластины ионизатора | Уничтожение микроорганизмов (бактерии и вирусы) за счёт повреждения ДНК клеточного ядра микробной клетки УФ излучением с длиной волны 230-300нм | Уничтожение микроорганизмов (бактерии и вирусы) за счёт повреждения ДНК клеточного ядра микробной клетки УФ излучением с длиной волны 230-300 нм | Широкополосное по спектру УФ-излучения (длина волны: 200-700 нм) вызывает деструктивное воздействие на нуклеиновые кислоты, белки, мембраны и пр. | Взаимодействие с микроорганизмами в зависимости от группы дезинfectants | Уничтожение бактерий, вирусов и спор плесневых грибов за счёт разрушения клеточных стенок. Разлагает органические соединения до простых веществ. |

|  |                                   |                                 |                                      |                                      |                           |  |                                   |
|--|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--|-----------------------------------|
| <b>Эффективность в отношении отдельных составляющих биоаэрозоля: бактерии и вирусы</b> | все                               | все                             | все                                  | В зоне действия излучения            | В зоне действия излучения | все  | все                               |
| <b>Плесневые и дрожжевые грибы</b>   | Уничтожает                        | Не действует                    | Эффективность низкая или отсутствует | Эффективность низкая или отсутствует | Уничтожает                | Уничтожает                                   | Уничтожает                        |
| <b>Летучие органические соединения</b>   | Разлагает до безопасных продуктов | Не действует                    | Не действует                         | Не действует                         | Не действует              | Зависит от группы и концентрации дезсредства | Разлагает до безопасных продуктов |
| <b>Запахи</b>  | Устраняет                         | Не действует                    | Не действует                         | Не действует                         | Устраняет                 | Устраняет                                    | Устраняет                         |
| <b>Режим работы</b>  | Непрерывный в присутствии людей   | Непрерывный в присутствии людей | Непрерывный в присутствии людей      | В отсутствии людей                   | В отсутствии людей        | В отсутствии людей                           | В отсутствии людей                |

## Приложение №2

### Пример расчета величины бактерицидной производительности устройств

#### SOLAR-60:

1. С помощью выражения (6)

$$\text{Пр}_{\text{бк}} = \frac{N_{\text{л}} F_{\text{л}} K_{\text{ф}} K_{\text{o}} K_{\text{с}} \sigma_{\text{v}} 3600}{-\ln(1 - J_{\text{бк}} 10^{-2})}$$

и данных табл. 1 определим бактерицидную производительность облучателя:

$$\text{Пр}_{\text{бк}} = 4 * 3 * 0,4 * 1,5 * 0,8 * 0,0179 * 3600 / -\ln(1 - 99,9 * 10^{-2}) = 53,79 \text{ м}^3/\text{ч}$$

2. Из формулы (8)

$$\text{Пр}_{\text{бк}} = LS3600/t_k$$

определим время облучения воздушного потока воздуха при его прохождении длины камеры:

$$t_k = 0,07 * 0,3 * 3600 / 605 = 1,405 \text{ с}$$

3. Используя формулу (7),

$$J_{\text{бк}} = \left( 1 - \exp\left(-\frac{N_{\text{л}} F_{\text{л}} K_{\text{ф}} K_{\text{o}} K_{\text{с}} \sigma_{\text{v}} 3600}{\text{Пр}_{\text{бк}}}\right) \right) * 100\%$$

проверим, соответствует бактерицидная эффективность обеззараживания воздушного потока в камере 99,9%:

$$J_{\text{бк}} = (1 - \exp(-2 * 5 * 0,4 * 1,5 * 0,9 * 0,0179 * 3600 / 53,79)) * 100 = 88\%$$

Результаты расчета бактерицидной эффективности, показывают, что данная величина значительно ниже рекомендуемой величины, что приведет к недостаточно эффективной работе данного заводского устройства.

- С помощью формул (9) и (10)

$$\mu = 2,07 \exp(-0,767 S^{0,5})$$

$$\text{Пр}_{\text{в}} = \mu \text{Пр}_{\text{бк}}$$

определим необходимую производительность вентилятора:

$$\text{Пр}_{\text{в}} = 2,07 * \exp(-0,767 * 0,07^{0,5}) * 605 = 194,2 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Расчет показывает, производительность использованного в нашем устройстве вентиляторе, с запасом укладывается рассчитанную максимально возможную производительность.

### Smart Bactericidal Air Cleaner (SBAC)

Произведем расчеты аналогичным образом вышеуказанным:

1. С помощью выражения (6) и данных табл. 2 определим бактерицидную производительность облучателя:

$$Pr_{\text{бк}} = 2 * 5 * 0,7 * 1,5 * 0,9 * 0,0179 * 3600 / -\ln(1 - 99,9 * 10^{-2}) = 132,38 \text{ м}^3/\text{ч}$$

2. Из формулы (8) определим время облучения воздушного потока воздуха при его прохождении длины камеры:

$$t_k = 0,151875 * 0,38 * 3600 / 132,38 = 1,5 \text{ с}$$

3. Используя формулу (7), проверим, соответствует бактерицидная эффективность обеззараживания воздушного потока в камере 99,9%:

$$J_{\text{бк}} = (1 - \exp(-2 * 5 * 0,4 * 1,5 * 0,9 * 0,0179 * 3600 / 132,38)) * 100 = 98\%$$

Как мы видим имеется несколько заниженное значение, данной величины, но в отличии от предыдущей они значительно выше и ближе к рекомендуемым значениям. Окончательные выводы сделаем после расчета производительности вентилятора.

5. С помощью формул (9) и (10) определим необходимую производительность вентилятора:

$$Pr_{\text{в}} = 2,07 * \exp(-0,767 * 0,151875^{0,5}) * 132,38 = 313,56 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Как видно, из приведенного расчета, производительность использованного в нашем устройстве вентиляторе, ниже максимально допустимого значения.

Приложение №3  
SOLAR-60

Таблица №1

| Наименования параметров характеристик   | Обозначение                        | Значение параметров |
|---|------------------------------------|---------------------|
| Число ламп  | $N_{л}$                            | 4                   |
| Длина лампы с цоколями  | $l, м$                             | 0,3                 |
| Мощность лампы  | $P_{л}, Вт$                        | 9                   |
| Бактерицидный поток лампы   | $F_{л}, Вт$                        | 3                   |
| Коэффициент использования бактерицидного потока лампы   | $K_{ф}$                            | 0,4                 |
| Коэффициент многократных отражений бактерицидного потока от стенок камеры   | $K_{о}$                            | 1,5                 |
| Коэффициент, учитывающий спад бактерицидного к концу срока службы лампы   | $K_{с}$                            | 0,8                 |
| Константа фоточувствительности санитарно показательного микроорганизма ( <i>S.aureus</i> ) для бактерицидного излучения | $G_{у}, м^3/Дж$                    | 0,0179              |
| Табличное значение объёмной экспозиции для <i>S, aureus</i> $J_{бк} - 99,9\%$   | $H_{т}, Дж/м^3$                    | 385                 |
| <b>Бактерицидная эффективность</b>  | <b><math>J_{бак}, \%</math></b>    | <b>88%</b>          |
| Длина камеры  | $L, м$                             | 0,3                 |
| Площадь живого сечения камеры   | $S, м^2$                           | 0,07                |
| Площадь выходного канала вентилятора  | $S, м^2$                           | 0,07                |
| Площадь выходного отверстия устройства  | $S, м^2$                           | 0,07                |
| <b>Бактерицидная производительность</b>   | <b><math>Pr_{бк}, м^3/ч</math></b> | <b>53,79</b>        |

SBAC:

Таблица №2

| Наименования параметров характеристик   | Обозначение                        | Значение параметров          |
|---|------------------------------------|------------------------------|
| Число ламп  | $N_{л}$                            | 2                            |
| Длина лампы с цоколями  | $l, м$                             | 0,3                          |
| Мощность лампы  | $P_{л}, Вт$                        | 15                           |
| Бактерицидный поток лампы   | $F_{л}, Вт$                        | 5                            |
| Коэффициент использования бактерицидного потока лампы   | $K_{ф}$                            | 0,4                          |
| Коэффициент многократных отражений бактерицидного потока от стенок камеры   | $K_{о}$                            | 2,5                          |
| Коэффициент, учитывающий спад бактерицидного к концу срока службы лампы   | $K_{с}$                            | 0,8                          |
| Константа фоточувствительности санитарно показательного микроорганизма ( <i>S.aureus</i> ) для бактерицидного излучения | $G_{у}, м^3/Дж$                    | 0,0179                       |
| Табличное значение объёмной экспозиции для <i>S, aureus</i> $J_{бк} - 99,9\%$   | $H_{г}, Дж/м^3$                    | 385                          |
| <b>Бактерицидная эффективность</b>  | <b><math>J_{бак}, \%</math></b>    | <b>98</b>                    |
| Длина камеры  | $L, м$                             | 0,38                         |
| Площадь живого сечения камеры   | $S, м^2$                           | 0,151875                     |
| Площадь выходного канала вентилятора  | $S, м^2$                           | 0,01                         |
| Площадь выходного отверстия устройства  | $S, м^2$                           | 0,02975                      |
| <b>Бактерицидная производительность</b>   | <b><math>Pr_{бк}, м^3/ч</math></b> | <b>313,56м<sup>3</sup>/ч</b> |

### Приложение №4

| День недели | Режим работы     | Обоснование использования                    | Расписание звонков                   |
|-------------|------------------|--|--------------------------------------|
| Понедельник | 1. 7:10 – 7:45   | Приход основной массы детей                  | 1) 8.00 - 8.40                       |
| Вторник     | 2. 8:00 – 8:40   | Приход детей (ко 2 уроку)                    | 2) 8.55 - 9.35                       |
| Среда       | 3. 11:45 – 12:20 | Уход детей домой (нач. школа)                | 3) 9.50 - 10.30                      |
| Четверг     | 4. 13:35 – 14:10 | Уход детей домой (ср. и ст. школа)           | 4) 10.45 - 11.25                     |
| Пятница     | 5. 15:25 – 16:00 | Приход детей в секции                        | 5) 11.40 - 12.20                     |
|             | 6. 18:25 – 19:00 | Уход детей из секций                         | 6) 12.35 - 13.15<br>7) 13.25 - 14.05 |
| 7. Суббота  | 1. 7:10 – 7:45   | Приход основной массы детей                  | 1) 8.00 - 8.40                       |
|             | 2. 10:50 – 11:25 | Уход основной массы детей                    | 2) 8.55 - 9.35                       |
|             | 3. 11:45 – 12:10 | Приход детей в ШШР                           | 3) 9.50 - 10.30                      |
|             | 4. 13:35 – 14:10 | Уход детей из ШШР                            | 4) 10.45 - 11.25                     |
|             | 5. 15:00 – 15:35 | Рециркуляция после ухода всех детей из школы | 5) 11.40 - 12.20                     |
| Воскресение | Выходной         | -  | -                                    |

## РЕЦЕНЗИЯ

на учебно-исследовательский проект учащихся

Лицея информационных систем и технологий №73

### **«Анализ и расчет бактерицидных рециркуляторов-облучателей воздуха»**

Данный учебно-исследовательский проект учащихся является одним из ярких примеров разработки инженерной задачи. Не секрет, что на сегодняшний день одной из актуальных проблем современности является проблема воспитания инженерных кадров. Созданное устройство, несмотря на то, что оно создано учащимися 10 и 11 классов, включает в себя ряд интересных идей и предложений, заслуживающих рассмотрения специалистами индустрии санитарно-медицинской техники, для дальнейшего внедрения в практическую деятельность.

Так же следует отметить низкую себестоимость данного устройства по сравнению с аналогичными приборами серийного производства.

Данная работа также демонстрирует комплексный подход к решению поставленных задач, изучение материалов из различных разделов физики, биологии и технологии.

Процесс создания устройства, разработки и испытания учащимися показал их заинтересованность в решении совокупности задач в сфере создании автоматизированных устройств и их программирования, изучении материалов не входящих в состав школьной программы.

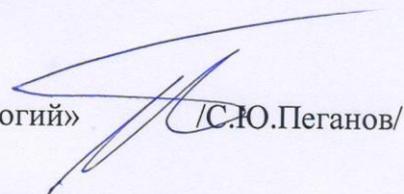
Вместе с тем следует отметить, что работа в данном направлении может и должна быть продолжена с учетом расширения возможностей данного прибора и совершенствованию алгоритмов работы.

Я, считаю, что проведенная работа заслуживает высокой оценки с точки зрения профессиональной ориентации, инженерной подготовки учащихся и освоения ими новых инновационных технологий.

Учитель технологии

МБОУ лицей №73 г. Пензы

«Лицей информационных систем и технологий»



С.Ю.Пеганов/