

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)



На правах рукописи

ПОЛУНИН ГЕОРГИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

УЛУЧШЕНИЕ УСЛОВИЙ И ОХРАНЫ ТРУДА  
ПЕРСОНАЛА ОПЕРАТИВНЫХ ВЫЕЗДНЫХ БРИГАД  
ПРИМЕНЕНИЕМ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЯ  
ДЛЯ СНИЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКСИДА УГЛЕРОДА  
В КАБИНАХ И КУЗОВАХ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

05.26.01 – ОХРАНА ТРУДА (электроэнергетика)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель  
кандидат технических наук,  
доцент А.В. Зайнишев

Челябинск – 2016

## Оглавление

|                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                                                                                                                                                         | 4  |
| 1 Состояние вопроса и задачи исследования по созданию комфортных условий труда в салонах колесных машин в процессе транспортировки персонала оперативно-выездных бригад.....                                          | 8  |
| 1.1 Влияние параметров микроклимата салонов мобильных машин, используемых персоналом ОВБ, на условия труда людей.....                                                                                                 | 8  |
| 1.2 Физико-химические свойства угарного газа и особенности его воздействия на организм человека.....                                                                                                                  | 12 |
| 1.3 Проблема и задачи исследований.....                                                                                                                                                                               | 17 |
| 2 Теоретическое обоснование очищающего и вентиляционного режимов в салонах мобильных машин в процессе транспортировки персонала ОВБ на основе фотокаталитического воздухоочистителя с использованием светодиодов..... | 19 |
| 2.1 Способы очистки воздуха от угарного газа.....                                                                                                                                                                     | 19 |
| 2.2 Принцип действия фотокаталитических воздухоочистителей.....                                                                                                                                                       | 24 |
| 2.3 Недостатки современных фотокаталитических воздухоочистителей.....                                                                                                                                                 | 29 |
| 2.4 Особенности применения ультрафиолетовых светодиодных лент в фотокаталитических воздухоочистителях.....                                                                                                            | 33 |
| 2.5 Обоснование устройства для очистки воздуха от угарного газа – спирального фотокаталитического воздухоочистителя.....                                                                                              | 38 |
| 2.5.1 Конструктивное исполнение фотокаталитического воздухоочистителя.....                                                                                                                                            | 38 |
| 2.5.2 Выбор кристаллической формы диоксида титана для фотокаталитического воздухоочистителя.....                                                                                                                      | 46 |
| 2.5.3 Выбор и обоснование рациональных параметров воздухоочистителя.....                                                                                                                                              | 47 |
| 2.5.4 Схема управления фотокаталитическим воздухоочистителем.....                                                                                                                                                     | 56 |
| 2.6 Выводы.....                                                                                                                                                                                                       | 62 |

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3 Методика экспериментальных исследований фотокаталитического воздухоочистителя со светодиодной лентой.....                     | 63  |
| 3.1 Задачи экспериментальных исследований.                                                                                      |     |
| Описание экспериментальной установки.....                                                                                       | 63  |
| 3.2 Общая методика экспериментальных исследований.....                                                                          | 68  |
| 3.3 Методика измерения исследуемых параметров.....                                                                              | 69  |
| 3.4 Подготовка и проведение экспериментальных исследований.....                                                                 | 71  |
| 3.5 Методика обработки результатов экспериментов.....                                                                           | 73  |
| 3.6 Выводы.....                                                                                                                 | 75  |
| 4 Анализ результатов экспериментальных исследований фотокаталитического воздухоочистителя со светодиодной лентой.....           | 76  |
| 4.1 Результаты экспериментальных исследований по определению рациональных параметров фотокаталитического воздухоочистителя..... | 76  |
| 4.2 Проверка воспроизводимости опытов.....                                                                                      | 85  |
| 4.3 Оценка экономической эффективности использования фотокаталитического воздухоочистителя.....                                 | 86  |
| 4.4 Выводы.....                                                                                                                 | 93  |
| Общие выводы и рекомендации.....                                                                                                | 94  |
| Литература.....                                                                                                                 | 96  |
| Приложения.....                                                                                                                 | 111 |

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Особенностью оперативного обслуживания электроустановок потребителей является то, что оно протекает в условиях постоянно изменяющихся параметров производственной среды, технического состояния машин и работоспособности персонала оперативно-выездных бригад (ОВБ). Только за 2015 год в ПАО «Россети» подготовлено 9320 ОВБ в составе 42276 человек, имеющих в своем распоряжении 19744 ед. спецтехники, в том числе автомобилей. Для поддержания работоспособности электромонтеров ОВБ параметры микроклимата в кабинах автомобилей и унифицированных герметизированных кузовах (КУНГах) для перевозки персонала нормированы. Однако при работе двигателей внутреннего сгорания, либо при обогреве с помощью органического топлива через неплотные соединения возможно проникновение в кабины и КУНГи отработанных газов, содержащих значительное количество оксида углерода (угарного газа). В малых количествах газ приводит к хроническому отравлению, что снижает внимание оператора и может привести к происшествиям, авариям и техническим сбоям. В Российской Федерации количество только дорожно-транспортных происшествий, происшедших по данной причине, колеблется от 1,7 до 2,4% в зависимости от времени года. Кроме того, длительное действие малых доз оксида углерода значительно снижает электрическое сопротивление тела человека. В больших количествах газ опасен для жизни – человек гибнет через несколько минут вследствие кислородного голодания. Замеры в кабинах и КУНГах показали, что в летнее время концентрация СО колеблется в пределах 0,7...1,5 ПДК (14...30 мг/м<sup>3</sup>), а в зимнее – 2...2,5 ПДК (40...50 мг/м<sup>3</sup>). Отсюда следует, что улучшение условий и охраны труда персонала ОВБ путем снижения концентрации оксида углерода в воздухе кабин и КУНГов является актуальной **научно-технической задачей**, решение которой имеет важное экономическое значение.

**Цель работы.** Обоснование и разработка устройства, обеспечивающего улучшение условий и охраны труда персонала ОВБ путем снижения концентрации оксида углерода в воздухе кабин и КУНГов мобильных машин, предназначенных для транспортировки персонала.

**Объект исследования.** Воздушная среда кабин и КУНГов мобильных машин персонала оперативно-выездных бригад.

Предмет исследования. Установление взаимосвязи процесса фотокатализа со снижением концентрации угарного газа в воздухе кабин и КУНГах мобильных машин персонала ОББ.

Методологическая и теоретическая основа исследования: в основу данной работы В.Ф. Бухтоярова, А.Г. Возмилова, П.А. Долина, А.П. Киселева, А.И. Кузнецова, Б.А. Князевского, В.Е. Манойлова, А.И. Ревякина, Н.В. Шипунова, В.Д. Черчинцева и др. ученых, внесших большой вклад в разработку нормативов, а также способов и средств защиты электротехнического персонала от вредных и опасных факторов производственной среды, в том числе угарного газа.

В качестве основных методик исследования применялись: логика научных исследований, методы математического анализа, методы оптимизации, математического и физического моделирования, элементы эргономических исследований, хронометражные работы, а также методы лабораторных исследований аэродинамических характеристик потоков, стендовые испытания фотокаталитического воздухоочистителя. Все расчеты выполнены с использованием компьютерных технологий.

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивается методологической обоснованностью и непротиворечивостью его исходных теоретических положений, внутренней логикой исследования, использованием фундаментальных трудов отечественных и зарубежных авторов по рассматриваемой проблематике, применением надежных и апробированных методов, адекватных сущности изучаемого явления, а также поставленной цели и задачам исследования, сочетанием теоретических исследований с большим объемом экспериментальных исследований, корректным проведением экспериментальных исследований и обработкой полученных данных, качественной интерпретацией и количественным анализом полученных данных с использованием методов математической статистики.

Научная новизна, основные положения и результаты, выносимые на защиту:

1. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность снижения концентрации оксида углерода в кабинах и КУНГах мобильных машин в результате фотокаталитического окисления.

2. Обоснована возможность и определены условия применения в фотокаталитическом воздухоочистителе светодиодных лент в качестве источника ультрафиолетового излучения.

3. Разработан и испытан в лабораторных и производственных условиях экспериментальный образец фотокаталитического воздухоочистителя, позволяющий снизить концентрацию оксида углерода в кабинах и КУНГах мобильных машин, выполненный в виде закрученной в спираль полый трубки, внутренняя поверхность которой покрыта слоем диоксида титана, отличающийся от существующих аналогов тем, что в качестве источника ультрафиолетового излучения используется светодиодная лента с ультрафиолетовыми светодиодами.

4. Обоснованы рациональные параметры фотокаталитического воздухоочистителя, в частности длина и внутренний диаметр трубки-воздуховода.

#### Практическая значимость и реализация ее результатов:

1. Результаты исследования могут быть использованы научно-исследовательскими и конструкторскими организациями при разработке и совершенствовании коллективных средств защиты персонала ОББ при обслуживании линий электропередачи и электрооборудования.

2. Разработанный фотокаталитический воздухоочиститель позволяет снизить концентрацию оксида углерода в воздухе кабин и КУНГов мобильных машин, предназначенных для транспортировки персонала, до ПДК. Данное устройство, а также рекомендации по очистке воздуха внедрены на предприятиях: ОАО «МРСК Урала – Челябинэнерго», ФГУП «РосРАО – РОСАТОМ», ФГКУ «Войсковая часть 2357», НП «Сертификационный центр автотракторной техники», ЧОТШ ДОСААФ России и других.

3. Полученные автором результаты исследования используются в процессе изучения студентами ФГБОУ ВПО Южно-Уральский Государственный университет (национальный исследовательский университет), студентами ФГБОУ ВО Южно-Уральский Государственный Аграрный университет, слушателями Южно-Уральского филиала ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охраны и экономики труда» дисциплин «Безопасность жизнедеятельности» и «Основы электробезопасности».

Соответствие диссертации паспорту научной специальности: Научные положения, приведенные в диссертации, соответствуют области исследований специальности 05.26.01 – Охрана труда, в частности, п. 7 «Научное обоснование, конструирование, установление области рационального применения и оптимизации параметров способов, систем и средств коллективной и индивидуальной защиты работников от воздействия вредных и опасных факторов».

Апробация работы. Диссертационная работа и ее основные положения докладывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях ЧГАА (Челябинск, 2011–2014), ЮУрГУ (Челябинск, 2009–2015), СПбГАУ (Санкт-Петербург-Пушкин, 2015), на семинарах аспирантов и докторантов кафедры БЖД ЮУрГУ (НИУ) (Челябинск, 2014–2015).

Публикация результатов исследований: Основное содержание диссертации опубликовано в 16 печатных работах, в том числе 4 работы – в периодических изданиях, рекомендуемых ВАК РФ; получен 1 патент РФ на изобретение и 1 патент РФ на полезную модель.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и общих выводов, изложенных на 139 страницах машинописного текста, содержит 59 рисунков, 13 таблиц, список литературы из 145 наименований и 4 приложения.

# 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СОЗДАНИЮ КОМФОРТНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА В САЛОНАХ МОБИЛЬНЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН В ПРОЦЕССЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПЕРСОНАЛА ОПЕРАТИВНО-ВЫЕЗДНЫХ БРИГАД

Оперативно-выездные бригады входят в состав районных электросетей (РЭС) и являются командами быстрого реагирования. Работают электромонтеры (члены ОВБ) по сменам – при этом в любой момент в течение суток может поступить сигнал об аварийной ситуации, и сотрудники ОВБ выезжают на подстанцию, распределительный пункт или на линию электропередач. Благодаря оперативности и профессионализму персонала аварийные ситуации удается ликвидировать в кратчайшие сроки. Кроме высокой профессиональной квалификации, электромонтеров ОВБ отличает повышенная ответственность и дисциплинированность. Им приходится работать в любое время суток при любых погодных условиях. При этом персонал, ликвидируя аварийные ситуации, отвечает не только за свою безопасность, но и за безопасность абонентов.

## 1.1 Влияние параметров микроклимата салонов мобильных машин, используемых персоналом ОВБ, на условия труда людей

Основными задачами ОВБ являются: оперативное обслуживание электрических сетей 0,4...10 кВ с правом выполнения эксплуатационных и ремонтных работ в закрепленной за бригадой зоне; обеспечение бесперебойного электроснабжения потребителей; производство плановых переключений для изменения схемы сети и др. [98]. При этом одной из основных функций ОВБ является оперативное обслуживание, выявление поврежденного оборудования и производство необходимых оперативных переключений для восстановления электроснабжения потребителей в электросетях (линиях электропередач) 6-10 кВ.

Линии электропередач (воздушные ВЛ и кабельные КЛ) проложены по пересеченной местности, поэтому для перевозки членов бригад используются автомобили высокой проходимости.

Управление автотранспортом осуществляет водитель автомобиля оперативно-выездной бригады, который также является исполнителем

оперативных и ремонтных работ в составе данной бригады [98]. Поскольку данный работник призван выполнять две функции, в дальнейшем будем именовать его водитель-электромонтер.

В кабине автотранспорта, кроме водителя-электромонтера, в процессе перемещения к месту проведения работ находится еще один работник – обычно это производитель работ [98, 116]. Остальные члены бригады находятся в кузове автомобиля, именуемом КУНГ.

КУНГ – это Кузов Унифицированный Герметизированный, на шасси колесного автомобиля. Данный кузов имеет нулевой (нормальный) габарит. Появился КУНГ в Советской Армии и использовался для ракетных войск, для радиосвязи, в радиолокационных станциях. В их оснащение входили дизельные и генераторные установки, станции служащие для наведения ракет, они так же могли эксплуатироваться как автобусы [127].

Грузовики с КУНГом имеют различные виды комплектации. В зависимости от условий, для которых они предназначены, КУНГи снабжаются фильтрующими установками, принудительной вентиляцией и обогревом (используются либо электропечи, либо печи на органическом топливе, либо обогрев происходит с использованием выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания (ДВС) автомобиля, которые направляются по трубам, расположенным под полом кузова).

На базе автомобиля ГАЗ-66 был создан КУНГ К-66, оснащенный отопительной и фильтрующей системами – ОВ-65Б и ФВУА-100, соответственно. Данная модификация состоит из металлического каркаса. Наружная облицовка и пол из стального листа, утепленные пенопластом. Небольшое количество данных автомобилей попало в гражданские учреждения, в том числе к энергетикам. Современные отечественные модели ставятся на базу ЗИЛ-131/131Н, 433420, 433430, 433450 и имеют обозначения: К-131, К-131Н, К-433, КМ-131, КМ-131Н, соответственно. Так же КУНГи устанавливаются на Уралы и Камазы [127].

Тем не менее, на сегодняшний день количество находящихся в эксплуатации КУНГов стало уменьшаться, поскольку перевозку гражданских грузов проще осуществлять обычными фургонами. Однако в электроэнергетике

грузовики высокой проходимости с КУНГом по-прежнему незаменимы и пользуются высоким спросом. Например, в г. Саранске выпускают кузова-мастерские с отопительной системой ОР-305А. Такие же кузова делает и Шумерлинский завод. Волжский завод выпускает кабину, в которой размещается подъемник для манипуляций с грузом, здесь расположены вентиляционные установки и средства для тушения пожара. В конце 90-х годов КУНГи начали устанавливаться на ЗИЛовские вездеходы и вахтовки.

На предприятиях энергетики в полевых условиях для перевозки оперативно-выездных бригад в настоящее время применяются стандартные каркасно-металлические кузов-фургоны КМ131 или кузов-фургоны К131, имеющие стальной каркас, сваренный из стандартных уголков. Каркас обшит внутри фанерой, пропитанной лаком, а снаружи – алюминиевыми листами. При этом пространство между внутренней и внешней обшивкой заполняется утеплителем (пенопластом). Кузова оснащаются системами отопления и вентиляции, а также светильниками.

Внутри КУНГи оборудуются различной аппаратурой (в зависимости от целей), а также стандартным бытовым оборудованием и спальными местами.

Для обеспечения нормальных условий работы персонала, оборудования и измерительных приборов кузов-фургон снабжен отопительно-вентиляционной установкой ОВ-65 (либо ОВ-95). Данные установки работают на обычном дизельном топливе. Для предотвращения запыления салона кузов оснащается установкой ФВУА-100Н-12 [8], которая фильтрует забортный воздух и подает его очищенным в кузов, создавая тем самым избыточное давление.

Гарантийный срок службы КУНГа 15 лет с момента начала эксплуатации, однако в условиях РФ, когда во многих подразделениях электроэнергетики катастрофическая нехватка техники сохраняется уже более 25 лет, машины с кузовами типа КУНГ по-прежнему сохраняют работоспособность и продолжают применяться при выполнении оперативных работ.

Поскольку определенное время рабочей смены персонал ОВБ проводит в салоне КУНГа, рассмотрим характеристики воздушной среды данного объекта.

Основными характеристиками воздушной среды, влияющими на самочувствие, работоспособность и здоровье человека, являются:

- метеорологические условия (температура, влажность, подвижность воздушных масс, барометрическое давление);
- химический состав воздуха (концентрация кислорода, углекислого и других газов и паров, в т.ч. угарного газа);
- биологические характеристики (содержание пыли, наличие в воздухе помещений различных микроорганизмов) [22, 29, 108, 115, 117].

Микроклимат кабин и салонов КУНГов определяется сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха и температурой окружающих поверхностей в пределах рабочей зоны. Рабочей зоной считается пространство высотой 2 м от уровня пола (площадки), на котором находятся места постоянного или временного пребывания работающих [108, 117].

В рабочей зоне производственных помещений метеорологические условия устанавливают согласно «Санитарным правилам и нормам» [108].

Оптимальные метеоусловия – это условия, являющиеся наиболее благоприятными для жизнедеятельности человека и не вызывающие неприятных ощущений; допустимые – условия, не вызывающие патологических изменений в организме даже при длительном пребывании человека в помещении.

Допустимое присутствие в воздухе различных химических соединений регламентируется «Гигиеническими нормативами» (ГН 2.2.5.1313-03. «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны») [17]. Из всего широкого спектра опасных и вредных соединений, присутствующих или могущих появиться в воздухе рабочей зоны, особую опасность для человека представляет оксид углерода (угарный газ).

Угарный газ опасен для организма человека как при длительном вдыхании, так и при кратковременном, в зависимости от концентрации. Исходя из этого, оптимальным будет считаться отсутствие данного вещества в воздухе, допустимым – присутствие его в концентрации, не превышающей ПДК ( $20 \text{ мг/м}^3$ ) [17].

Что касается биологических характеристики, то данный вопрос выходит за пределы проведенных и представленных в работе исследований.

Поддержание оптимальных параметров микроклимата и химического состава воздуха позволяет, в первую очередь, повысить производительность труда персонала ОВБ за счет создания комфортных и безопасных условий на рабочем месте [110, 111, 112].

### 1.2 Физико-химические свойства угарного газа и особенности его воздействия на организм человека

Оксид углерода (синоним «угарный газ») – соединение углерода с кислородом; газ без цвета и запаха. Химическая формула: CO. Данное вещество образуется при неполном сгорании углерода и его соединений, например, углеводородного топлива. Оксид углерода попадает в атмосферу в составе выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания, а также в результате пожаров. Ежегодные выбросы угарного газа достигают 200 млн. т [3].

Оксид углерода – несолеобразующий оксид, не растворяющийся в воде и не взаимодействующий при обычных условиях с кислотами и щелочами. Многочисленными исследованиями доказано, что повышенная прочность молекулы CO (энергия диссоциации 1036 кДж/моль) и малое межъядерное расстояние (1,128Å) вызваны дополнительной донорно-акцепторной связью атомов кислорода и углерода [2].

Вещество характеризуется восстановительными свойствами и склонностью к реакциям присоединения. Так, при облучении видимым светом и в присутствии катализаторов CO соединяется с хлором, образуя фосген, а при нагревании – с кислородом, давая диоксид CO<sub>2</sub>; с серой образует серооксид COS, с некоторыми металлами – карбонилы металлов, например Ni(CO)<sub>4</sub>, Fe(CO)<sub>5</sub>. Из вышеперечисленных соединений все, кроме диоксида углерода, представляют серьезную опасность для жизни и здоровья человека.

В атмосфере угарный газ содержится в незначительных количествах (на несколько порядков меньше концентрации углекислого газа). Небольшие включения оксида углерода обнаруживаются в пластах каменного угля. Угарный газ всегда образуется в результате сгорания углерода или его соединений при

недостатке кислорода воздуха и в значительных количествах присутствует в топочных газах, выхлопных газах автомобилей (2...10 объёмных процентов) и в табачном дыме (0,5...1 объёмных процентов). Оксид углерода – мощный источник загрязнения атмосферы, поэтому во многих странах, в т.ч. Российской Федерации принимаются меры по снижению концентрации угарного газа в воздухе промышленных городов [3].

Оксид углерода имеет плотность  $0,968 \text{ кг/м}^3$ , воздух (при влажности 60% и температуре окружающей среды  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) –  $1,205 \text{ кг/м}^3$  [2]. Таким образом, оксид углерода при отсутствии вентиляции в помещении, где он образуется, всегда скапливается в верхней части, ближе к потолку. При этом, чем ниже температура в помещении, тем больше разница между значениями плотности – к примеру, при температуре  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  плотность воздуха возрастает до  $1,293 \text{ кг/м}^3$ , а плотность угарного газа практически не меняется [2, 4].

Угарный газ обладает сильным токсическим действием, обусловленным способностью вытеснять кислород из оксигемоглобина крови человека и животных, образуя карбоксигемоглобин. В России оксид углерода занимает второе место в структуре причин смертности от острых отравлений. По статистическим данным, в последнее десятилетие смертность от отравления оксидом углерода составила 23,4% смертей от острых отравлений [87]. Отравления угарным газом возможны на производстве и в быту: в металлургических цехах; при испытании и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания, использовании топливных газов для подогрева; в химической промышленности; в гаражах; при дровяном отоплении и т.п.

В кабины и КУНГи выхлопные газы, содержащие оксид углерода, попадают через неплотности в корпусе. Во время движения вокруг автомобиля создается зона разряжения. Любое отверстие в корпусе может стать причиной понижения давления в кабине (КУНГе). По законам аэродинамики позади движущегося транспортного средства создается завихрение, удерживающее в себе какое-то время выхлопные газы. Если уплотнения корпуса оказываются негерметичны, то через них в КУНГ, а затем и в кабину, будут всасываться выхлопные газы. Особенно это проявляется, когда автомобиль движется с большой скоростью.

Сильное разряжение воздуха кабины и КУНГа и высокие обороты двигателя могут создать недопустимую концентрацию оксида углерода, что в свою очередь приводит к отравлению.

Кроме того, в теплое время года оксид углерода в большом количестве может попасть в кабину, когда автомобиль въезжает в воду (залитую колею или глубокую лужу) и, забуксовав, останавливается. Пузыри выхлопных газов продолжающего работать двигателя затягиваются под днище и скапливаются в технологических полостях. Еще через какое-то время угарный газ начинает просачиваться в салон. В зависимости от разных факторов (возраст автомобиля, его техническое состояние, изоляционные свойства конструкции кузова), в течение нескольких минут его концентрация значительно превышает ПДК.

Что же касается зимних месяцев, то в этот период отравления угарным газом чаще всего случаются в ходе сильных снегопадов и метелей. В этом случае стоящий с работающим мотором автомобиль фактически «обносится» снегом. Тем самым значительно снижается возможность выветривания выхлопных газов, и постепенно они начинают просачиваться в салон.

Попадая в кровь через легочные альвеолы, угарный газ взаимодействует с гемоглобином, образуя химически прочное соединение карбоксигемоглобин, не обладающее способностью переносить кислород к тканям. Наряду с этим уменьшается коэффициент утилизации кислорода тканями. Расщепление карбоксигемоглобина на гемоглобин и СО происходит в 10 тысяч раз медленнее, чем расщепление оксигемоглобина на гемоглобин и  $O_2$ . Поэтому при наличии во вдыхаемом воздухе СО кислород постепенно вытесняется из гемоглобина. Уже при концентрации 0,1% СО в воздухе больше половины гемоглобина крови превращается в карбоксигемоглобин; в результате нарушается перенос  $O_2$  от лёгких к тканям и развивается так называемое угарное отравление [85].

При острых отравлениях наблюдается головная боль, головокружение, тошнота, рвота, слабость, одышка, учащённый пульс; возможны быстрая потеря сознания, судороги, кома (с последующим двигательным возбуждением), нарушения кровообращения и дыхания, поражение зрительного нерва и т.д.; на

вторые-третьи сутки может развиваться токсическая пневмония. Анализ статистических данных показывает, что во время пожаров, когда концентрация оксида углерода превышает ПДК в 1000 и более раз, гибель человека происходит примерно через 4...6 минут после первого вдоха загрязненного воздуха [87]. Когда концентрация оксида углерода не превышает 5 ПДК (ситуация в замкнутых кабинах автотранспорта и гаражах), потеря сознания происходит не ранее тридцатой минуты. Отравленного человека после этого можно спасти, обеспечив приток чистого воздуха, в течение еще 7...8 минут (слабое дыхание и сердцебиение сохраняются и после потери сознания) [87]. При хронических отравлениях, присущих персоналу, перевозимому мобильными агрегатами в холодное время года при недостаточной вентиляции салонов, появляются головокружение, сильные головные боли, развивается эмоциональная неустойчивость, ухудшаются память, рассеивается внимание. Возможны органические поражения центральной нервной системы, сосудистые спазмы, повышение количества эритроцитов в крови [86]. Вышеперечисленные симптомы способны резко снизить работоспособность оператора и, как следствие, привести к ошибочным действиям и авариям. Кроме того, как показано в [80], длительное (более 20 минут) вдыхание воздуха, содержащего оксид углерода в концентрациях 1,1...2,0 ПДК, значительно снижает сопротивление тела человека. Следовательно, при возможных электропоражениях оператор со сниженным сопротивлением тела пострадает в большей степени. Еще одним последствием хронического отравления угарным газом является снижение цветовой чувствительности глаз – электромонтер может перепутать фазные провода, не распознав их цвет.

Первая помощь при острых отравлениях заключается, в первую очередь, в эвакуации пострадавшего из зараженной зоны на свежий воздух. Вдыхание паров нашатырного спирта позволяет вернуть пострадавшего из обморочного состояния; при необходимости производится искусственное дыхание. Но главным способом лечения является вдыхание увлажненного кислорода, позволяющего

снизить степень кислородного голодания тканей. Увлажнение кислорода требуется для исключения развития токсической пневмонии [33].

Во всех предприятиях, где впоследствии было проведено внедрение результатов данной научно-исследовательской работы (приложение 4), предварительно проводились замеры концентрации угарного газа в салонах кабин и КУНГах, используемых для перевозки персонала. В летнее время концентрация СО колебалась в пределах 0,7...1,5 ПДК (14...30 мг/м<sup>3</sup>), а в зимнее поднималась до значений 2...2,5 ПДК (40...50 мг/м<sup>3</sup>), что представляло угрозу здоровью персонала.

Профилактика отравлений на производстве заключается в контроле за герметичностью газопроводов, состоянием местной вентиляции, удалением выхлопных газов, медицинским наблюдением за рабочими соответствующих производств, а также вентиляцией гаражей и салонов мобильных машин. Так же, наряду с систематическим проветриванием и вентиляцией (естественной и искусственной), необходимо использовать следующие способы и средства:

- перемещение из зоны с высокой концентрацией угарного газа;
- сокращение времени работы или пребывания в данных условиях.

При эксплуатации автомашины ОВБ, согласно требований п. 4.43 Типовой инструкции по охране труда для электромонтера оперативно-выездной бригады ТИР М-071-2002 [116], персоналу запрещается отдыхать (спать) в кабине или закрытом кузове при работающем двигателе. Однако, как показывает практика, отравление оксидом углерода, в том числе острое, может наступить даже при бодрствовании электромонтеров (в условиях недостатка воздухообмена от естественной вентиляции). Особенно актуальна эта проблема для холодного времени года.

В зимний период приточный воздух не успевает прогреться, поэтому водители и персонал гаражей нередко отключают системы вентиляции, что недопустимо. Частичным решением проблемы было бы использование рециркуляционных систем, т.е. систем, забирающих загрязненный воздух из помещения, очищающих их и возвращающих обратно. При этом значительно экономилась бы электроэнергия, используемая в нагревателях воздуха.

### 1.3 Проблема и задачи исследований

Исследованиям вопросов, связанных с охраной труда в электроэнергетике, посвящено большое количество работ известных отечественных исследователей: Л.Г. Борисова, В.Ф. Бухтоярова, П.А. Долина, Б.И. Кашолкина, Б.А. Князевского, А.И. Кузнецова, С.М. Кучерук, В.Е. Манойлова, А.И. Ревякина, А.И. Сидорова, Е.В. Халина, Е.Ф. Цапенко и др. [7, 9, 10, 36, 40, 72, 77, 80, 101, 110, 111, 112, 123, 121].

В трудах Ю.М. Артемьева [1], А.Г. Возмилова [13], Л.И. Гаврилова [38], А.С. Гузенберга [32], А.В. Зайнишева [51], А.Б. Исаева [59], А.Н. Морозова [82], В.Н. Пармона [89], Е.Н. Савинова [105,107], А.М. Сайкина [106], В.И. Слепцова [113], В.П. Хохрякова [122] В.Д.Черчинцева [125] и других авторов, посвященных изучению очистки воздуха от вредных примесей в относительно герметичных помещениях, коими являются, в первую очередь, салоны транспортных средств (в том числе используемых в электроэнергетике), рассмотрены и проанализированы достоинства и недостатки существующих способов очистки воздуха, в том числе от угарного газа [91, 92, 93].

Однако, в указанных научно-исследовательских работах не в полной мере учитывается связь травматизма и производственно-обусловленной заболеваемости операторов с учетом обеспечения необходимого количества воздуха требуемого качества в кабинах и КУНГах мобильных колесных машин в процессе транспортировки персонала ОВБ.

В теплое время года проблема удаления излишков угарного газа из воздуха рабочей зоны решается путем вентиляции – естественной либо принудительной. Однако в холодное время года через открываемые двери и окна в кабины и КУНГи машин проникает холодный наружный воздух, быстро охлаждающий салон и создающий потоки, отрицательно воздействующие на людей. Это провоцирует простудные заболевания, мешает производственному процессу и требует дополнительных затрат на отопление.

Наиболее эффективным мероприятием против проникновения холодного воздуха в открытые двери и окна является создание избыточного давления в

салоне машины (в кабине и КУНГе), нагрев воздуха и его очистка от вредных примесей, в первую очередь от угарного газа [51].

На основании вышеизложенного можно сформулировать научно-техническую **задачу** – повышение безопасности и условий труда персонала оперативно-выездных бригад, перевозимого в кабинах и КУНГах мобильных колесных машин в технологическом процессе оперативного обслуживания электрооборудования и линий электропередачи.

Анализ ранее проведенных научно-исследовательских работ позволяет выдвинуть следующую **гипотезу**: повысить безопасность труда персонала оперативно-выездных бригад в технологическом процессе оперативного обслуживания электрооборудования и линий электропередачи возможно применением автоматического устройства для очистки воздуха от угарного газа.

Исходя из анализа научно-исследовательских работ и поставленной цели, в диссертационной работе были определены следующие **задачи исследования**:

1. Изучить и проанализировать особенности транспортировки персонала ОВБ при работе двигателей внутреннего сгорания, а также при обогреве с помощью органического топлива;
2. Обосновать и разработать автоматическое устройство (фотокаталитический воздухоочиститель, использующий в качестве катализатора диоксид титана, а источника ультрафиолетовых лучей – светодиодную ленту), улучшающее условия труда работников за счёт более интенсивного очищения воздуха, снижения концентрации угарного газа до величин, удовлетворяющих требованиям санитарных норм;
3. Обосновать рациональные параметры фотокаталитического воздухоочистителя, в частности геометрические размеры, и разработать конструкцию устройства;
4. Дать экономическую оценку результатов исследования.

## 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОЧИЩАЮЩЕГО И ВЕНТИЛЯЦИОННОГО РЕЖИМОВ В САЛОНАХ МОБИЛЬНЫХ МАШИН В ПРОЦЕССЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПЕРСОНАЛА ОБ НА ОСНОВЕ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕТОДИОДОВ

В данной главе проводится сравнение существующих способов очистки воздуха кабин и КУНГов мобильных машин от угарного газа, и обоснование параметров фотокаталитического воздухоочистителя.

### 2.1 Способы очистки воздуха от угарного газа

На сегодняшний день применяются два способа очистки воздуха: от пылевых примесей – с помощью противопылевых фильтров, от газообразных – с помощью физических и химических методов (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Способы очистки воздуха

Поскольку СО является газообразным соединением, для его удаления из воздуха необходимо использовать следующие варианты (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Варианты способов очистки воздуха от газообразных загрязнений

Адсорбция – поглощение примеси из газа твердым веществом (точнее, поверхностным слоем твердого вещества, имеющего высокую сорбционную способность). Самым распространенным и относительно дешевым адсорбентом

является активированный уголь. Он содержит огромное количество пор и поэтому имеет очень большую удельную поверхность на единицу массы, вследствие чего обладает высокой сорбционной способностью. – 1 грамм активированного угля в зависимости от технологии изготовления имеет поверхность от 500 до 1500 м<sup>2</sup> [15, 63, 88, 120]. Уникальные свойства данного вещества (1 см<sup>3</sup> активированного угля поглощают до 700 см<sup>3</sup> газообразных соединений) позволяют использовать его как в стационарных очистных сооружениях, так и в средствах индивидуальной защиты (противогазы и противогазовые респираторы). Однако существует ряд соединений, практически не задерживаемых в толще активированного угля. К данным соединениям относится и оксид углерода [31, 69]. При использовании обычного гражданского противогаза (ГП-5 или ГП-7) концентрация угарного газа в подмасочном пространстве становится равной его концентрации в окружающей среде уже после первого вдоха. Сложность удержания оксида углерода частично объясняется его относительной химической инертностью.

Хемосорбция (см. рисунок 2.2) отличается от адсорбции тем, что на поверхности раздела твердого вещества (сорбента) и очищаемого газа (воздуха) идет химическая реакция. Изделия на основе хемосорбентов позволяют на некоторое время решить проблему очистки воздуха от оксида углерода. Промышленные противогазы марки СО (коробка фиолетового, ранее – белого цвета), снятые с производства противогазы марки М (коробка красного цвета) а также дополнительные патроны к гражданским противогазам ДПГ-1 содержат гопкалит – вещество-хемосорбент, на поверхности которого угарный газ окисляется кислородом воздуха до относительно безвредного углекислого [11, 41, 126].

Гопкалит (от англ. hopcalite) – механическая смесь оксидов марганца, меди, кобальта и серебра ( $\text{MnO}_2 + \text{CuO} + \text{Co}_2\text{O}_3 + \text{Ag}_2\text{O}$ ) [41, 71]. Гопкалитом заполняются не только дополнительные патроны к противогазам при работе в атмосфере, содержащей опасные концентрации СО, но также и датчики приборов для контроля за содержанием оксида углерода в помещениях. Действие данных приборов основано на регистрации теплоты, выделяющейся при каталитическом окислении СО до СО<sub>2</sub>.

Гопкалит является основным ингредиентом и фильтрующе-поглощающих коробок пожарных самоспасателей (газодымозащитных комплектов) типа ГДЗК и ГДЗК-У [25, 28, 119]. Газодымозащитные комплекты способны защищать органы дыхания человека от угарного газа в течение максимум 20...30 минут (в зависимости от концентрации) [19, 28]. Данного времени вполне достаточно, чтобы быстро покинуть опасную зону, даже если она располагается под крышей высотного здания. При больших концентрациях угарного газа воздух в подмасочном пространстве противогазов и самоспасателей нагревается до опасных для организма температур – можно получить ожог верхних дыхательных путей [87]. Кроме того, водяные пары, содержащиеся в воздухе, «отравляют» катализатор – чем выше относительная влажность, тем медленнее протекает реакция окисления. Наконец, при отрицательных температурах гопкалит не эффективен. Учитывая большое количество недостатков гопкалита, данное соединение не используется для очистки воздуха от угарного газа в кабинах мобильных машин и КУНГах.

Каталитические методы очистки (см. рисунок 2.2) основаны на гетерогенном катализе и служат для преобразования примесей в безвредные или легко удаляемые из газа соединения. Процессы гетерогенного катализа протекают на поверхности твердых тел – катализаторов, которые должны обладать следующими свойствами: активностью, пористой структурой, стойкостью к отравляющим веществам, механической прочностью, селективностью, термостойкостью, низким гидравлическим сопротивлением, иметь небольшую стоимость.

Особенность процессов каталитической очистки газов заключается в том, что они протекают при малых концентрациях удаляемых примесей. Основным достоинством метода является достаточно высокая степень очистки, а недостатком – образование новых веществ, которые необходимо удалять из газа адсорбцией или абсорбцией. Посредством термокаталитического окисления возможно обезвреживание оксида углерода  $\text{CO}$ , углеводородов  $\text{C}_m\text{H}_n$  и кислородных производных углеводородов  $\text{C}_m\text{H}_n\text{O}_p$  только в газообразном состоянии.

Термокаталитические процессы (см. рисунок 2.2) происходят в так называемых термокаталитических «дожигателях» выхлопных газов автомобилей, в

которых токсичные примеси (в т.ч. угарный газ) окисляются на поверхности катализатора (платиновой сетки) под действием высокой температуры. «Доокисление» вредных выхлопных газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ) происходит после двигателя в системе выброса отработанных газов за счет их контакта с нагретыми поверхностями, изготовленными из металлов платиновой группы (палладий, платина), которые действуют как катализаторы (интенсификаторы) процессов окисления. Внутри термостойкого корпуса нейтрализатора находится носитель – керамическая основа с покрытием из каталитического материала, состоящего из тончайшего слоя благородных металлов. В носителе имеется большое количество продольных каналов, при прохождении которых отработавшие газы подвергаются нейтрализации, в результате чего токсичность выхлопа снижается до 90%. После нейтрализатора основными компонентами выхлопных газов становятся относительно безопасный диоксид углерода, а также азот и водяной пар.

Данные устройства призваны обеспечить экологические нормы работы автомобильных двигателей – т.е. сократить выбросы вредных газов, образующихся при работе двигателя внутреннего сгорания [74].

Физико-химические основы терموкаталитического окисления органических соединений (в первую очередь угарного газа) сложны и на сегодняшний день мало изучены. Имеются общие представления об отдельных стадиях процесса и их последовательности: диффузия молекул загрязнителя и окислителя к поверхности катализатора и их сорбция предшествуют активации исходных молекул на поверхности; активированные молекулы претерпевают цепь различных изменений, превращаясь в радикалы, вступая в реакции и образуя новые соединения; последние переходят на поверхности из возбужденных состояний в основные (стабильные), сбрасывая излишки энергии поверхностным частицам, и затем могут удалиться в газовую фазу, десорбируясь с поверхности катализатора. Практические методы расчета стадий терموкаталитического окисления в совокупности или по отдельности отсутствуют, и аппараты обезвреживания для каждого вида выбросов разрабатываются индивидуально на основе экспериментальных исследований [16, 74].

В качестве катализаторов используют преимущественно металлы или их оксиды. Наиболее эффективные катализаторы разрабатываются на основе благородных металлов (палладия и платины). Кроме того, имеются образцы катализаторов на основе оксидов кобальта, хрома, железа, марганца, никеля и др. Однако они имеют меньшую активность, чем катализаторы из благородных металлов, а также низкую химическую и термическую стойкость. Обычно активирующие компоненты наносятся на нейтральные термостойкие носители (фарфор или шамот в виде таблеток, шариков, гранул; сетки из нихромовой проволоки). Катализаторы подбирают индивидуально для каждого конкретного случая, учитывая их стоимость, физико-химические свойства и концентрации загрязнителей, объемы выбросов, присутствие катализаторных ядов, другие условия. Универсальные катализаторы в настоящее время не синтезированы [130].

Различают три основные области протекания каталитических процессов: кинетическую, внешнEDIффузионную и внутрEDIффузионную. В зависимости от стадии, ограничивающей общую скорость процесса, применяются различные уравнения кинетики процесса.

Во внешнEDIффузионной области скорость реакции определяется скоростью переноса компонента к поверхности зерен катализатора [58]:

$$\frac{1}{F_{\dot{v}}} \cdot \frac{dG_A}{d\tau} = \beta_{\dot{v}} (\tilde{N}_A - \tilde{N}_{A\delta}), \quad (2.1)$$

где  $F_{\dot{v}}$  – внешняя поверхность частицы катализатора;

$\beta_{\dot{v}}$  – коэффициент массоотдачи;

$C_A, C_{Ap}$  – концентрации компонента  $A$  в газовом потоке и его равновесная на поверхности частицы катализатора соответственно.

У способа два основных недостатка – дороговизна катализатора (используется благородный металл) и необходимость создания высоких температур (температурный диапазон процесса термокаталитического окисления лежит в пределах от 350 до 500 °C, что требует соответствующих затрат топлива) [83]. Значительным недостатком катализатора-дожигателя выхлопных газов является хрупкость конструкции (вследствие использования керамических материалов), что

в особенности плохо сказывается при его эксплуатации в условиях плохих дорог, по котором большей частью происходит транспортировка персонала ОВБ. К сожалению, в современных термокатализаторах не происходит полного окисления угарного газа – в замкнутых помещениях работающий двигатель является источником повышенной опасности отравления.

## 2.2 Принцип действия фотокаталитических воздухоочистителей

Фотокатализ – изменение скорости или возбуждение химических реакций под действием света в присутствии веществ – фотокатализаторов, которые в результате поглощения ими квантов света способны вызывать химические превращения участников реакции, вступая с последними в промежуточные химические взаимодействия и регенерируя свой химический состав после каждого цикла таких взаимодействий [89, 107].

Сущность метода состоит в окислении оксида углерода на поверхности катализатора под действием мягкого ультрафиолетового излучения диапазона А (с длиной волны более 300 нм). Диапазон А, в отличие от диапазонов В и С, относительно безвреден для человека (при условии кратковременности облучения кожи и глаз) [104]. Реакция протекает при комнатной температуре и при этом промежуточные продукты реакции не накапливаются на поверхности фильтра.

Фотокатализ определяют как «изменение скорости или возбуждение химических реакций под действием света в присутствии веществ (фотокатализаторов), которые поглощают кванты света и участвуют в химических превращениях участников реакции, многократно вступая с ними в промежуточные взаимодействия и регенерируя свой химический состав после каждого цикла таких взаимодействий» [105]. Фотокатализаторы возбуждают химическую реакцию или, иначе говоря, расширяют область длин волн света, при облучении которым идет реакция.

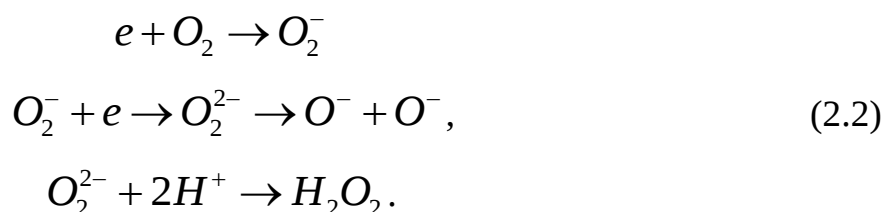
Фотокатализ играет важнейшую роль в живой природе. Так, процесс фотосинтеза, обеспечивающий жизнь на Земле, фотокаталитический [1, 59]. На современном этапе развития систем очистки воды и воздуха от органических

примесей в качестве фотокатализатора (иначе говоря, свето-катализатора) используют исключительно диоксид титана [82].

Диоксид титана ( $\text{TiO}_2$ ) – полупроводниковое соединение. В подобных соединениях электроны могут находиться в двух состояниях: свободном и связанном. В первом состоянии электроны движутся по кристаллической решетке, образованной катионами  $\text{Ti}^{4+}$  и анионами кислорода  $\text{O}_2$ , во втором – в основном электроны связаны с каким-либо ионом кристаллической решетки и участвуют в образовании химической связи. Для перевода электрона из связанного состояния в свободное необходимо затратить энергию не менее 3,2 эВ. Эта энергия может быть доставлена квантами света с длиной волны  $\lambda < 390$  нм. Таким образом, при поглощении света в объеме частицы  $\text{TiO}_2$  рождаются свободный электрон и электронная вакансия («дырка») [138, 143, 144, 145].

Некоторые из электронов и дырок, двигаясь в частице полупроводника, рекомбинируют, а некоторые, выходя на поверхность, захватываются ею. Схематически процессы, происходящие на частице  $\text{TiO}_2$ , изображены на рисунке 2.3.

Захваченные поверхностью электрон и дырка являются материальными химическими частицами. Например, электрон – это  $\text{Ti}^{3+}$  на поверхности, а дырка (электронная вакансия) локализуется на решетчатом поверхностном кислороде, образуя  $\text{O}^-$ . Они чрезвычайно реакционноспособны. В терминах окислительно-восстановительных потенциалов реакционная способность электрона и дырки на поверхности  $\text{TiO}_2$  характеризуется следующими величинами: потенциал электрона  $\sim -0,1$  В, потенциал дырки  $\sim +3$  В относительно нормального водородного электрода. Иными словами, электрон способен реагировать с кислородом, рождая последовательность реакций:



При этом могут образовываться такие мощные окислители, как  $\text{O}^-$  и  $\text{OH}^-$ -радикал.

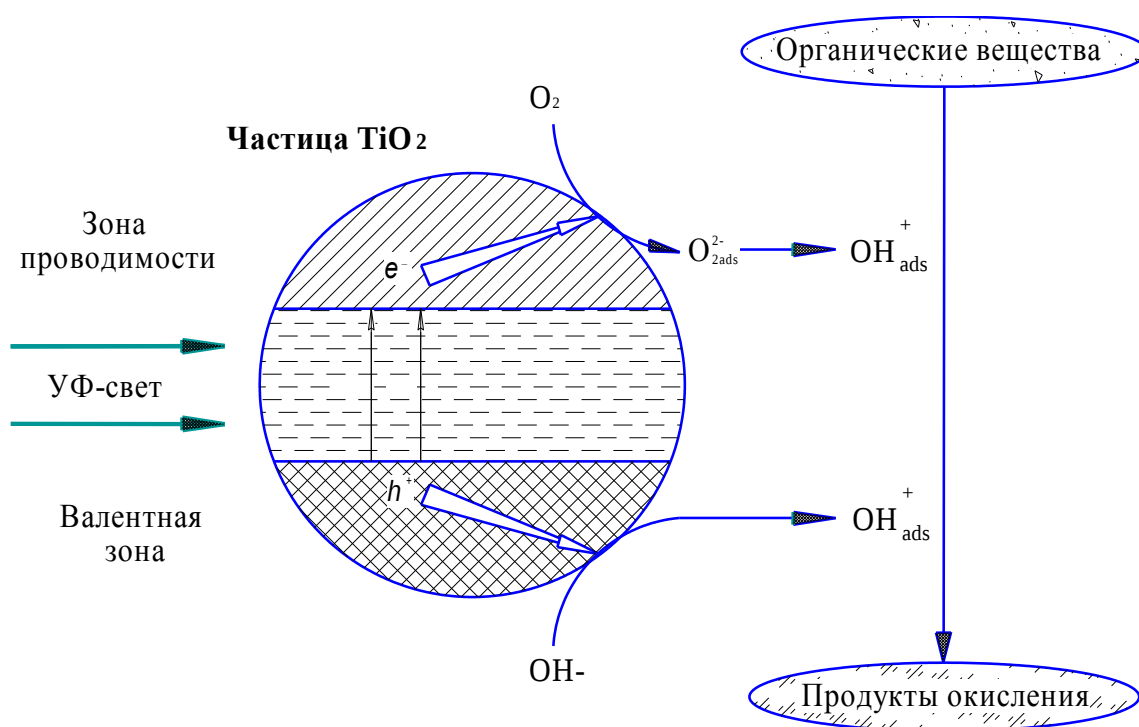
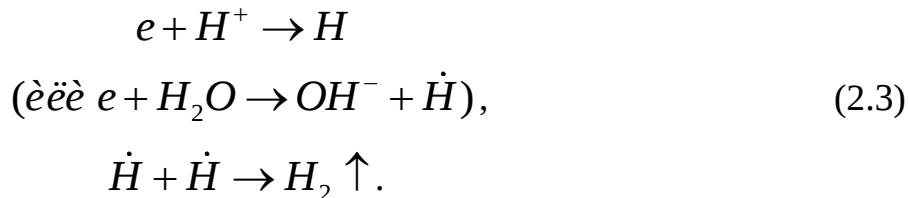


Рисунок 2.3 – Принцип фотокатализа

Вторым возможным маршрутом реакций электрона являются:



Этот маршрут реализуется только в водных растворах и при низких концентрациях кислорода. Основным же каналом исчезновения электрона являются реакции с кислородом. Дырка же реагирует либо с водой, либо с любым адсорбированным органическим (в некоторых случаях и неорганическим) соединением. ОН-радикал или  $O\sim$  также способны окислить любое органическое соединение. Таким образом, поверхность  $TiO_2$  под светом становится сильнейшим окислителем.

Таким образом, в фотокаталитических воздухоочистителях осевшие на поверхность  $TiO_2$  органические молекулы окисляются до  $CO_2$  и  $H_2O$  (рисунок 2.4).

К настоящему времени доказано, что на поверхности  $TiO_2$  могут быть окислены (минерализованы) до  $CO_2$  и  $H_2O$  практически любые органические

соединения. Если в состав соединений входят азот или атомы галогена X, то в продуктах реакции будут наблюдаться  $\text{HNO}_3$  и  $\text{HX}$ , что заставляет использовать постфильтры из активированного угля. Единственным известным примером соединения, которое не подвергается на поверхности  $\text{TiO}_2$  окислению под действием ультрафиолетовых лучей, является тетрахлорметан, но данное соединение не образуется при работе двигателей внутреннего сгорания [1, 14, 46].

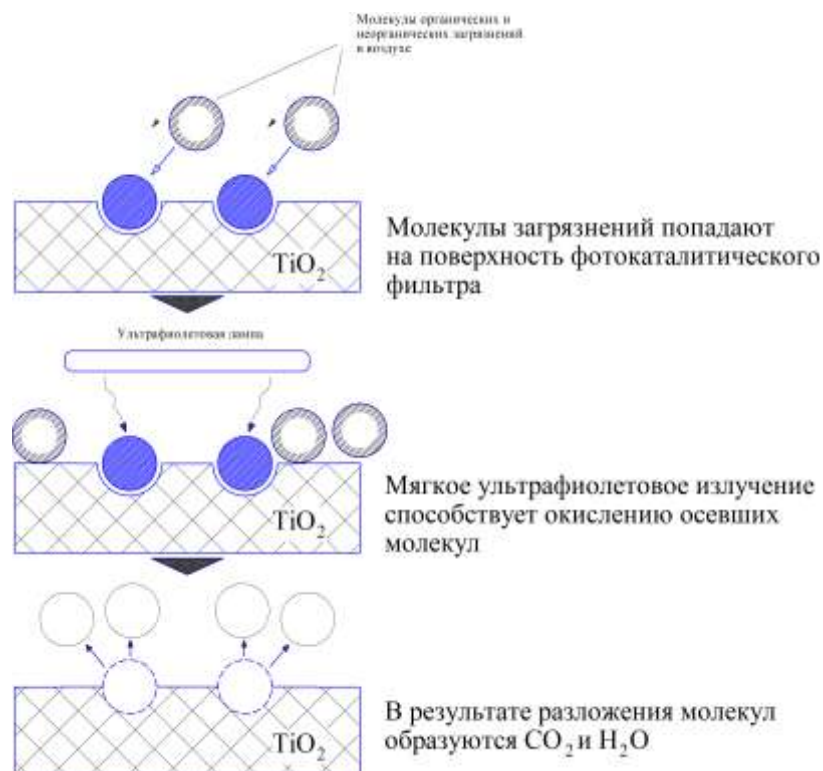


Рисунок 2.4 – Окисление молекул органических и неорганических соединений на поверхности фотокаталитического воздухоочистителя

Все имеющиеся в эксплуатации фотокаталитические очистители воздуха содержат пористый носитель со слоем диоксида титана, который облучается ультрафиолетовыми лучами и через который продувается воздух (рисунок 2.5). Ультрафиолетовое излучение придает дополнительную энергию части электронов молекул катализатора, и в катализаторе возникает нехватка электронов с более низкой энергией – своего рода «энергетические дыры». Особенности химического строения позволяют катализатору затягивать в эти дыры электроны от всех молекул с более высокой энергией, чем молекулы углекислого газа и воды. Когда такая молекула окажется на поверхности катализатора, «энергетические дыры» затянут в себя часть ее электронов. Это разрушит межатомные связи, и молекула начнет разрушаться на

безопасные для человека углекислый газ и воду. С другой стороны, молекула угарного газа, имеющая относительно малый размер, доокисляется до углекислого газа, молекула которого имеет больший размер:  $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$ .

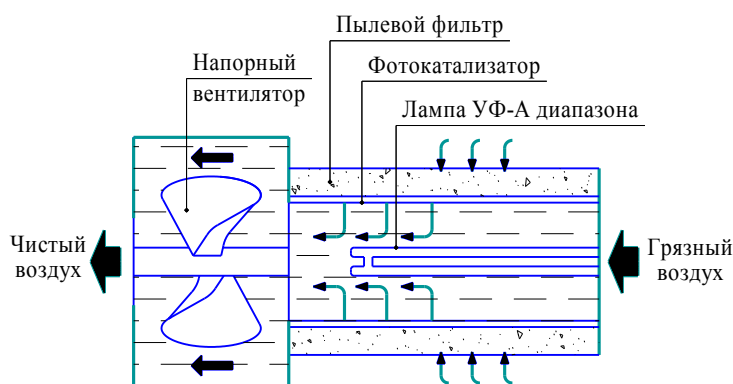


Рисунок 2.5 – Принцип действия фотокаталитического очистителя воздуха

- Фотокатализ разрушает вещества, проникающие даже через фильтры на основе активированного угля (армейский противогаз, гражданские противогазы ГП-5, ГП-7 и др.). Вещество-катализатор (диоксид титана) не расходуется и не требует замены. Оно лишь ускоряет естественный процесс – разложение сложных веществ на углекислый газ и воду, который в обычных условиях занимает миллионы лет. При фотокатализе вредные примеси не накапливаются в фильтре и не возвращаются обратно в воздух, а сразу разлагаются на безопасные компоненты.

Единственным недостатком фотокатализа является образование пероксидных соединений (например, оксидов азота), которые часто встречаются среди «осколков» не до конца разложившихся молекул. Но они гораздо безвреднее озона, который при фотокатализе не образуется в принципе.

Фотокатализ пригоден для бытового использования, поскольку может происходить при комнатной температуре. Как указывалось выше, термокаталитический способ разрушения вредных веществ требует предварительного нагрева воздуха до температуры свыше 200 °С.

Диоксид титана на сегодняшний день является самым эффективным из исследованных фотокатализаторов. Ранее использовавшиеся дорогостоящие катализаторы, такие как оксиды вольфрама и церия, в настоящее время в фотокаталитических воздухоочистителях не используются [1, 14, 54, 76, 78, 82, 137, 140].

Фотокаталитический воздухоочиститель принципиально отличается от так называемых «кварцевых» ламп, которые обеззараживают воздух, но не очищают его от газообразных примесей. Более того, при работе подобных ламп в воздухе образуется озон, а само ультрафиолетовое излучение диапазона С опасно для кожи и глаз (поэтому кварцевание проводят только в отсутствии людей) [104].

Выявленным недостатком фотокаталитических воздухоочистителей является то, что при долгом бездействии прибора падает активность катализатора, поэтому необходимо, чтобы устройство работало непрерывно (или хотя бы несколько часов ежедневно) [44].

На сегодняшний день ведущие зарубежные фирмы (Toshiba, Daikin, Sharp, Bork) и отечественная Аэролайф выпускают стационарные воздушные фильтры для очистки воздуха в производственных и жилых помещениях (приложение 1). Но имеется только четыре освоенных промышленностью модели – AirComfort GH-2121 (Китай), AirComfort XJ-803 (Италия), Cyclone CN-25, выпускаемая в Австрии, и более совершенная AtmosVent-801 (Германия), которые могут быть использованы в кабинах и салонах мобильных агрегатов. Ряд конструктивных недостатков (в первую очередь, малая площадь поверхности, занятой слоем фотокатализатора) не позволяет использовать данные устройства для надежной защиты водителя именно от угарного газа. Поэтому необходимо совершенствование данных изделий.

Таким образом, фотокатализ – экологически чистый и безвредный метод очистки воздуха, т.к. он является копированием естественных фотохимических процессов, постоянно очищающих воздух в природе.

### 2.3 Недостатки современных фотокаталитических воздухоочистителей

Недостатком любого фотокатализатора является снижение его эффективности при наличии в очищаемом воздухе пыли [1, 43]. Именно поэтому большинство фотокаталитических воздухоочистителей имеет в своем составе также ХЕПА-фильтры или электростатические предфильтры, способные задерживать различные механические загрязнения. Следовательно, от первого недостатка относительно легко избавиться применением дополнительных устройств очистки.

Вторым недостатком является использование в конструкции современных фотокаталитических воздухоочистителей опасного вещества.

Если сам метод, как указывалось выше, является относительно безвредным, то изделия на основе фотокатализа (те же воздухоочистители) представляют опасность при утилизации, так как в их конструкции имеются ртутьсодержащие приборы – ультрафиолетовые лампы.

Ультрафиолетовые лампы – газоразрядные источники ультрафиолетовых лучей – достаточно хрупкие и недолговечные изделия (корпуса изготавливаются из стекла, либо кварцевого, либо силикатного). Средний срок службы люминесцентной ультрафиолетовой лампы составляет 5000 часов [35, 99].

Все без исключения газоразрядные ультрафиолетовые лампы содержат ртуть (в дозах от 1 до 70 мг, в зависимости от мощности) [30, 99, 100, 132]. При повреждении корпуса лампы создается угроза жизни и здоровью людей, находящихся поблизости. Лампы, у которых истек срок эксплуатации, подлежат демеркуризации – а это достаточно дорогостоящая процедура.

Вышеуказанные проблемы не позволяют использовать газоразрядные ультрафиолетовые лампы в мобильных машинах, подвергающихся вибрации, различным ускорениям и ударам.

Недостатки существующих приборов подтверждают необходимость совершенствования способов и разработки технических устройств для очистки воздуха от угарного газа применительно к рабочим местам операторов мобильных машин.

Источниками ультрафиолетового излучения, кроме люминесцентных ламп, могут быть ультрафиолетовые светодиоды – полупроводниковые приборы, испускающие свет определенной длины волны при протекании через него постоянного тока.

Ранее использование светодиодов было ограничено достаточно узким спектром излучений, которое позволяли генерировать данные изделия. Имеющийся в прежние десятилетия арсенал светодиодов позволял получать только видимый свет (400...740 нм) [21]. Ультрафиолетовая область занимает в электромагнитном спектре излучений диапазон от 400 до 100 нм. Кроме этого, этот диапазон подразделяется еще на четыре поддиапазона:

- ультрафиолет А (длинноволновый ультрафиолет) – 315...400 нм;
- ультрафиолет В (средневолновый ультрафиолет) – 280...315 нм;
- ультрафиолет С (коротковолновый ультрафиолет) – 200...280 нм;
- вакуумный ультрафиолет – 100...200 нм [52, 42, 104].

Как было доказано в многочисленных экспериментах, наиболее эффективным для фотокатализаторов на основе диоксида титана является ультрафиолетовое излучение поддиапазонов А и В (длина волны от 280 до 400 нм) – при этом экстремум степени очистки воздуха достигает при длине волны 320 нм [1, 142]. На сегодняшний день промышленность, в том числе отечественная, освоила выпуск светодиодов, излучающих ультрафиолетовые лучи с данными длинами волн.

Светодиод (светоизлучающий диод) – это полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом или контактом металл-полупроводник, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока. Излучаемый свет лежит в узком диапазоне спектра, его спектральные характеристики зависят, в том числе, от химического состава использованных полупроводников. При пропускании электрического тока через р-п переход в прямом направлении, носители заряда – электроны и дырки – рекомбинируют с излучением фотонов (из-за перехода электронов с одного энергетического уровня на другой) (рис. 2.6). Варьируя состав полупроводников, можно создавать светодиоды для всевозможных длин волн. К примеру, для генерации ультрафиолетового излучения используются нитрид галлия (GaN) и нитрид бора (BN) [5, 133. 144].

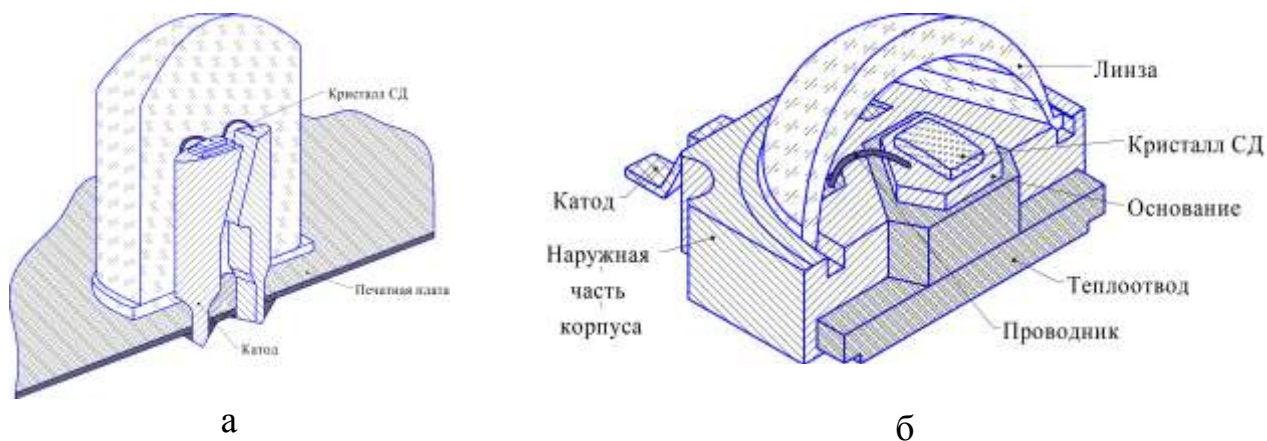


Рисунок 2.6 – Конструкция светодиода: а – маломощного; б – мощного

По сравнению с другими электрическими источниками света (преобразователями электроэнергии в электромагнитное излучение), светодиоды имеют следующие преимущества:

1. Высокая световая отдача. Современные светодиоды сравнились по этому параметру с натриевыми газоразрядными лампами и металлогалогенными лампами, достигнув величины 150 люмен на ватт (для сравнения – у ламп накаливания 10...15 лм/Вт);

2. Высокая яркость (при малой площади светодиода сила света по оси – 30...50 кд);

3. Высокая механическая прочность, вибростойкость (отсутствие нити накаливания, герконов, стеклянных корпусов и иных хрупких составляющих);

4. Длительный срок службы – от 30000 до 100000 часов (при работе 8 часов в сутки – 34 года). Для сравнения – средний срок службы лампы накаливания 1000 часов;

5. Малая инерционность – включаются на полную яркость за время, не превышающее 10 наносекунд, в то время как у люминесцентных ламп время включения колеблется от 1 сек до 1 мин, а яркость увеличивается от 30% до 100% за 3...10 минут, в зависимости от температуры окружающей среды;

6. Характерный спектральный состав излучаемого света;

7. Количество циклов включения-выключения не оказывают существенного влияния на срок службы светодиодов (в отличие от газоразрядных ламп и ламп накаливания);

8. Возможность модуляции излучения с помощью источника питания;

9. Малое потребление энергии (не более 10...20 Вт);

10. Высокий уровень электробезопасности (для питания используется сверхнизкое напряжение);

11. Высокая устойчивость к климатическим воздействиям (нечувствительность к низким температурам и высокой влажности воздуха);

12. Регулируемый угол излучения – от 15 до 180 градусов;

13.Термобезопасность – температура светодиода или арматуры обычно не превышает 60 °С;

14. Экологичность – отсутствие ртути и соединений фосфора, в отличие от люминесцентных ламп.

Из недостатков светодиодов следует отметить неустойчивость работы при высоких температурах (выше 60 °С) [118].

#### 2.4 Особенности применения ультрафиолетовых светодиодных лент в фотокаталитических воздухоочистителях

Светодиод, в отличие от газоразрядной лампы, является точечным источником света. Поэтому, для повышения эффективности работы конструируемого светодиодного фотокаталитического воздухоочистителя, необходимо использовать ряд, состоящий из нескольких светодиодов. Отечественная и зарубежная промышленность в настоящее время выпускает так называемые «светодиодные ленты», в том числе ультрафиолетовые. На гибкой нетокопроводящей ленте в один или два ряда монтируются светодиоды, расположенный на одинаковом расстоянии друг от друга. Лента содержит токопроводящие дорожки, по которым напряжение подается на каждый светодиод. Удобство ленты состоит в том, что при выходе из строя одного или нескольких светодиодов остальные продолжают работать [95, 128].

Предлагается использовать светодиодную ленту в так называемом «трубчатом фотокаталитическом воздухоочистителе». В данной конструкции диоксид титана наносится на внутреннюю поверхность полой трубки одинакового по всей длине сечения – технологичнее всего, по нашему мнению, сечение в виде окружности (рисунок 2.7, а). При использовании в качестве источника ультрафиолетовых лучей газоразрядной лампы светильник (трубка из кварцевого стекла) располагается по оси воздухоочистителя и равномерно облучает всю внутреннюю поверхность, покрытую слоем диоксида титана (см. рисунок 2.7, а). При замене газоразрядной лампы на светодиодную ленту ультрафиолетовые лучи будут попадать только на часть поверхности, расположенную непосредственно над лентой (поверхность под лентой в этом случае является нерабочей) (рисунок 2.7, б). Таким образом, коэффициент использования рабочей поверхности

воздухоочистителя снижается. Однако увеличить данный коэффициент можно с помощью двойной (двухсторонней) светодиодной ленты – у нее светодиоды расположены с обеих сторон. В этом случае светодиодная лента должна иметь ширину, равную или несколько меньшую, чем внутренний диаметр трубчатого воздухоочистителя. Тогда светодиоды будут освещать практически всю внутреннюю поверхность устройства, за исключением двух полос, которые будут закрыты краями самой ленты (рисунок 2.7, в).

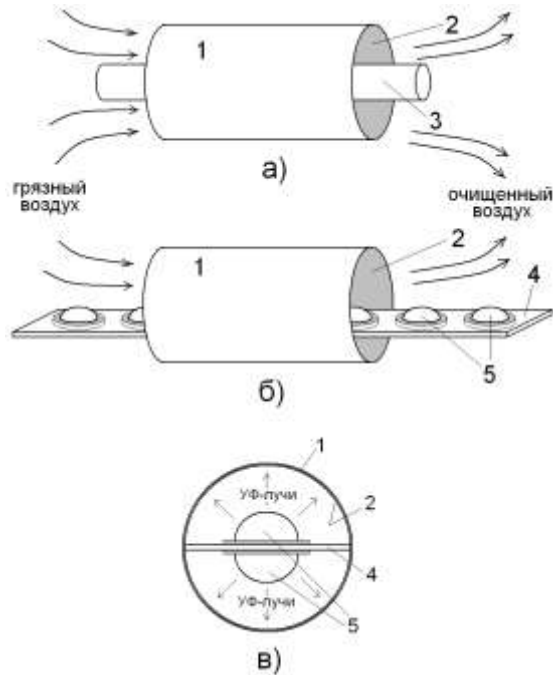


Рисунок 2.7 – Трубчатый фотокаталитический воздухоочиститель:  
 а – с газоразрядной лампой; б – с односторонней светодиодной лентой;  
 в – с двухсторонней светодиодной лентой:  
 1 – корпус воздухоочистителя; 2 – внутренняя поверхность корпуса, покрытая слоем  $TiO_2$ ; 3 – газоразрядная лампа; 4 – светодиодная лента;  
 5 – отдельные светодиоды

При использовании односторонней ленты можно уменьшить габариты воздухоочистителя. Поскольку светодиодная лента, в отличие от газоразрядной лампы, способна свободно изгибаться в нескольких плоскостях, трубчатый воздухоочиститель можно, к примеру, изготовить в виде спирали – очищаемый воздух будет при этом идти от центра спирали к ее краю, «омывая» за счет центробежной силы ту часть внутренней поверхности изделия, которая облучается ультрафиолетовыми лучами. В данном случае будет частично решена проблема сниженного коэффициента использования рабочей поверхности воздухоочистителя.

Еще одной проблемой при изготовлении фотокаталитического воздухоочистителя со светодиодной лентой является увеличение так называемого «полезного облучения». «Полезное облучение» характеризует количество ультрафиолетовых лучей от отдельного светодиода, которое достигает облучаемого участка. Эта та часть потока УФ-лучей, которая эффективно направляется на рабочую поверхность без учета потерь излучения. В данном случае рабочей поверхностью является внутренняя поверхность полой трубки, покрытая слоем диоксида титана. Потери излучения могут возникать по трем причинам [45]:

- УФ-лучи частично загораживаются или рассеиваются корпусом отдельного светодиода;
- УФ-лучи излучаются в неправильном направлении из-за неверной ориентации светодиодов;
- поток излучения ослабляется из-за загрязненности или запыленности светоизлучающей поверхности светодиода.

Первые две проблемы могут быть решены правильным подбором типа светодиодов (выбор осуществляется, исходя из кривой силы света). Проблема запыленности светоизлучающих поверхностей отдельных светодиодов решается тем, что, как указывалось выше, у любого фотокаталитического воздухоочистителя должен быть предфильтр, очищающий воздух от пыли, которая снижает эффективность работы фотокатализатора. Следовательно, данный предфильтр позволяет избавиться и от проблемы загрязнения светоизлучающих поверхностей.

При размещении на ленте отдельных светодиодов на некотором расстоянии друг от друга возможно возникновение так называемых «мертвых зон», т.е. участков внутренней поверхности трубчатого воздухоочистителя, которые получают относительно малый поток УФ-лучей. «Мертвые зоны» будут тем шире, чем больше расстояние между отдельными светодиодами. Следовательно, при выборе светодиодов необходимо рассматривать их кривые силы света (КСС).

Кривая силы света (согласно ГОСТ 17677–82) – график зависимости силы света от направления в полярных координатах (рисунок 2.8) [23, 24]. Т.е. под КСС

понимается график зависимости силы света отдельного светодиода от меридиональных и экваториальных углов, получаемый сечением его фотометрического тела плоскостью. Следовательно, КСС описывает, как именно исходящий свет распределяется в пространстве.

Поскольку мы рассматриваем симметричные источники света, то для них существует семь типов КСС (рисунок 2.9) (таблица 2.1). Чем шире поперечное распределение светового потока, тем сильнее он будет рассеиваться. С другой стороны, чем сильнее КСС вытянута вдоль вертикальной оси, тем сильнее будет освещен центр светового пятна, а рассеивание будет меньше (рис 2.10, а-г). Большинство светодиодов и светодиодных светильников занимает промежуточное положение между этими двумя крайностями.

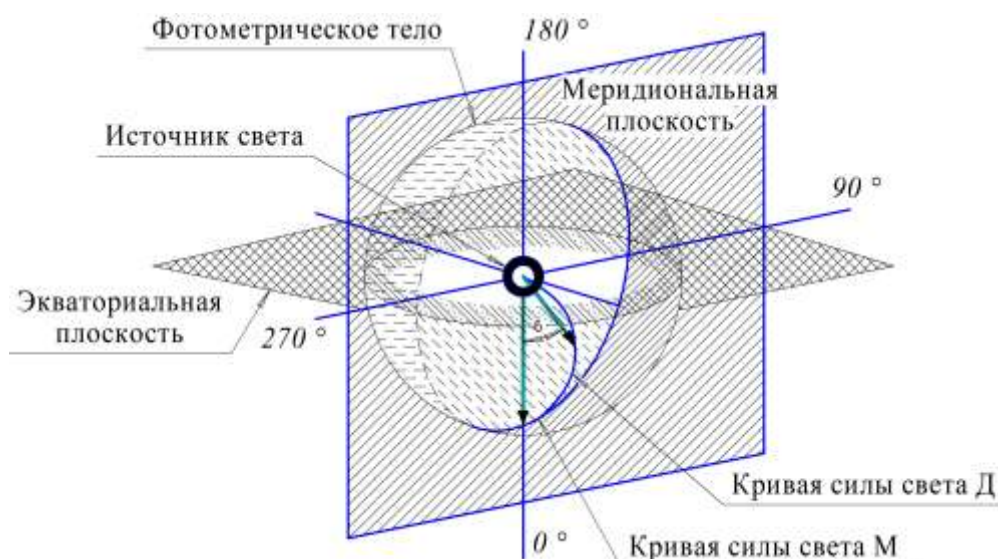


Рисунок 2.8 – Получение кривой силы света сечением фотометрического тела источника света

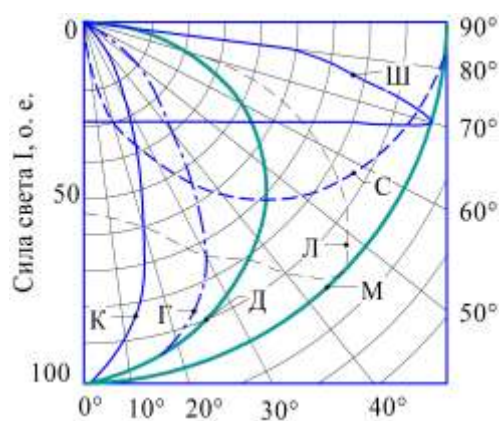


Рисунок 2.9 – Семь типов кривой силы света

Таблица 2.1 – Типы кривых силы света

| Обозначение | Наименование      | Зона направлений максимальной силы света |
|-------------|-------------------|------------------------------------------|
| К           | Концентрированная | $0...15^\circ$                           |
| Г           | Глубокая          | $0...30^\circ; 180...150^\circ$          |
| Д           | Косинусная        | $0...35^\circ; 180...145^\circ$          |
| Л           | Полуширокая       | $35...55^\circ; 145...125^\circ$         |
| Ш           | Широкая           | $55...85^\circ; 125...95^\circ$          |
| М           | Равномерная       | $0...180^\circ$                          |
| С           | Синусная          | $70...90^\circ; 110...90^\circ$          |

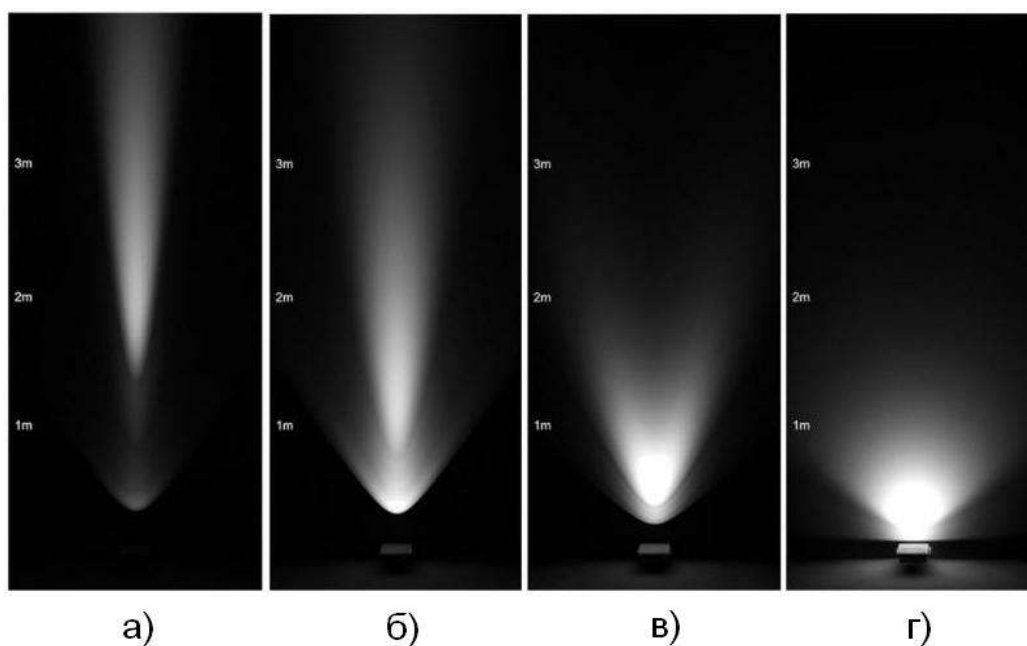


Рисунок 2.10 – Распределение светового потока от различных видов светодиодов:  
а – КСС К; б – КСС Г; в – КСС Л; г – КСС Д

В случае использования отдельных светодиодов в конструкции фотокаталитического воздухоочистителя предпочтительнее КСС типа М или Д, которая, во-первых, не создает малого светового пятна, в котором процесс фотокатализа бы ускорился, а вокруг пятна – замедлялся, а во-вторых, относительно малый диаметр трубчатого воздухоочистителя позволит избежать возникновения «мертвых зон» даже при достаточном удалении отдельных светодиодов друг от друга (рисунок 2.11).

Таким образом, предлагается в фотокаталитическом воздухоочистителе применить в качестве источника ультрафиолетовых лучей светодиодную ленту, а сам воздухоочиститель выполнить в форме трубки [46].

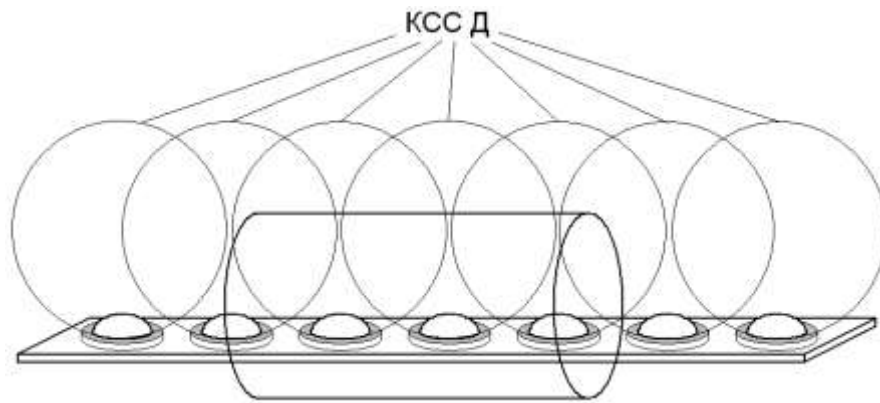


Рисунок 2.11 – Взаимное перекрытие КСС типа Д отдельных светодиодов в фотокаталитическом воздухоочистителе

## 2.5 Обоснование устройства для очистки воздуха от угарного газа – спирального фотокаталитического воздухоочистителя

### 2.5.1 Конструктивное исполнение фотокаталитического воздухоочистителя

Конструкция заявленного фотокаталитического воздухоочистителя защищена патентом на изобретение [89] (приложение 2).

Схема фотокаталитического воздухоочистителя представлена на рисунке 2.12. Фотокаталитический воздухоочиститель состоит из корпуса 1, выполненного в виде закрученной в спираль трубки, образующей фотокаталитический блок, внутренняя поверхность которого покрыта слоем фотокатализатора 2, в качестве которого используется диоксид титана. Для закачивания загрязненного воздуха внутрь корпуса воздухоочистителя используется насос-вентилятор 3, расположенный на выходе воздухоочистителя. Для предварительной очистки воздуха от пыли на входе воздухоочистителя установлен пылевой фильтр 4 с органическим или неорганическим адсорбентом. На внутренней поверхности корпуса, расположенной ближе к центру фотокаталитического блока, на всем его протяжении прикреплена светодиодная лента 5 с ультрафиолетовыми светодиодами 6, расстояние между которыми не превышает 30 мм (рисунок 2.12, а). Форма поперечного сечения корпуса может быть выполнена прямоугольной, трапециевидной или сегментной (рисунок 2.12, б).

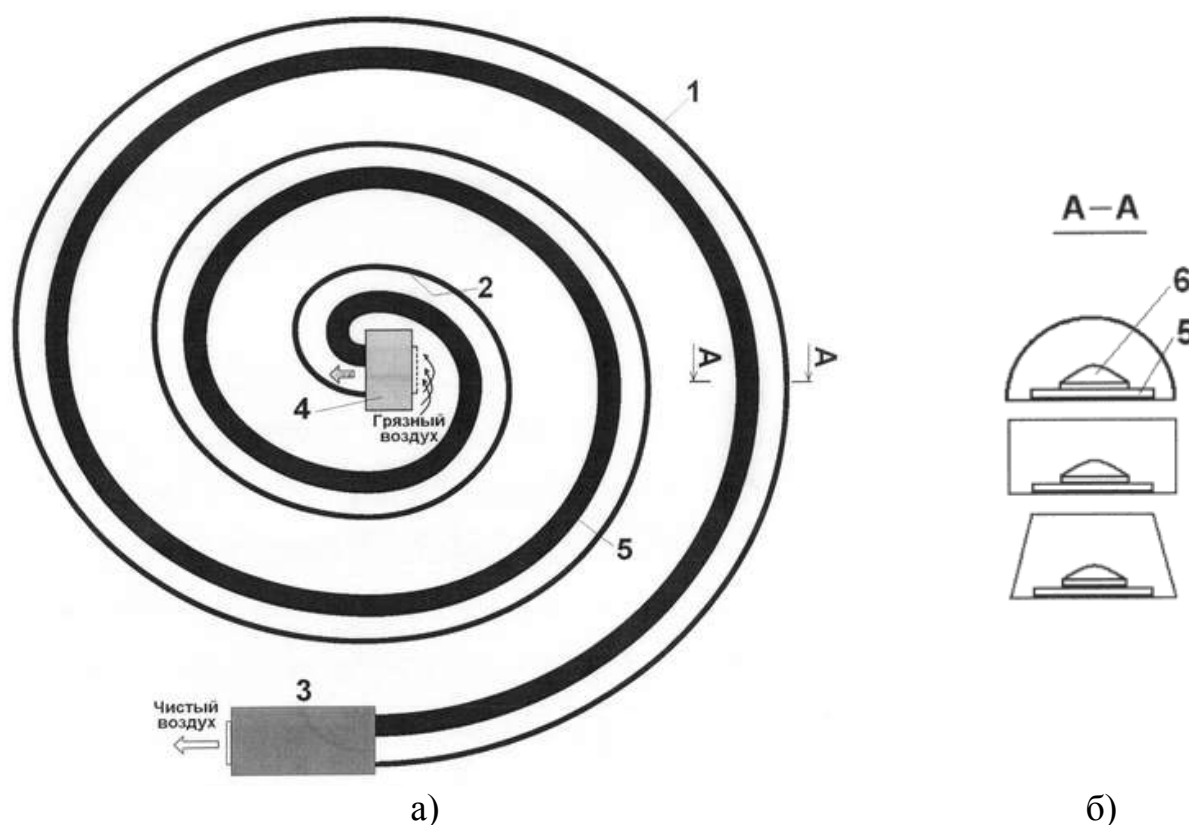


Рисунок 2.12 – Фотокаталитический воздухоочиститель:

а – вид сверху; б – формы сечений корпуса;

1 – спиралевидный корпус; 2 – слой фотокатализатора; 3 – насос-вентилятор;  
4 – пылевой фильтр; 5 – светодиодная лента; 6 – ультрафиолетовые светодиоды

Фотокаталитический воздухоочиститель работает следующим образом. Загрязненный воздух, пройдя через пылевой фильтр 4, очищается от пыли, которая снижает фотокаталитическую активность диоксида титана. Очищенный от пыли, но содержащий угарный газ и пары органических соединений воздух, прокачиваемый насосом-вентилятором 3, расположенным на выходе трубки, проходит сквозь спиралевидную трубку и за счет центробежной силы прижимается к внутренней поверхности данной трубки, расположенной дальше от центра спирали. Ультрафиолетовые лучи от светодиодов 6, попадая на диоксид титана, омываемый очищаемым воздухом, активизируют фотокаталитические реакции: при этом угарный газ доокисляется до углекислого, а пары органических соединений распадаются до углекислого газа и водяного пара. Пройдя несколько витков спирали, загрязненный воздух за счет увеличения площади поверхности более интенсивно очищается от вредных примесей. В результате из насоса-вентилятора 3 выходит очищаемый воздух [47].

Конструктивное исполнение воздухоочистителя для круглого сечения трубки представлено на рисунке 2.13.

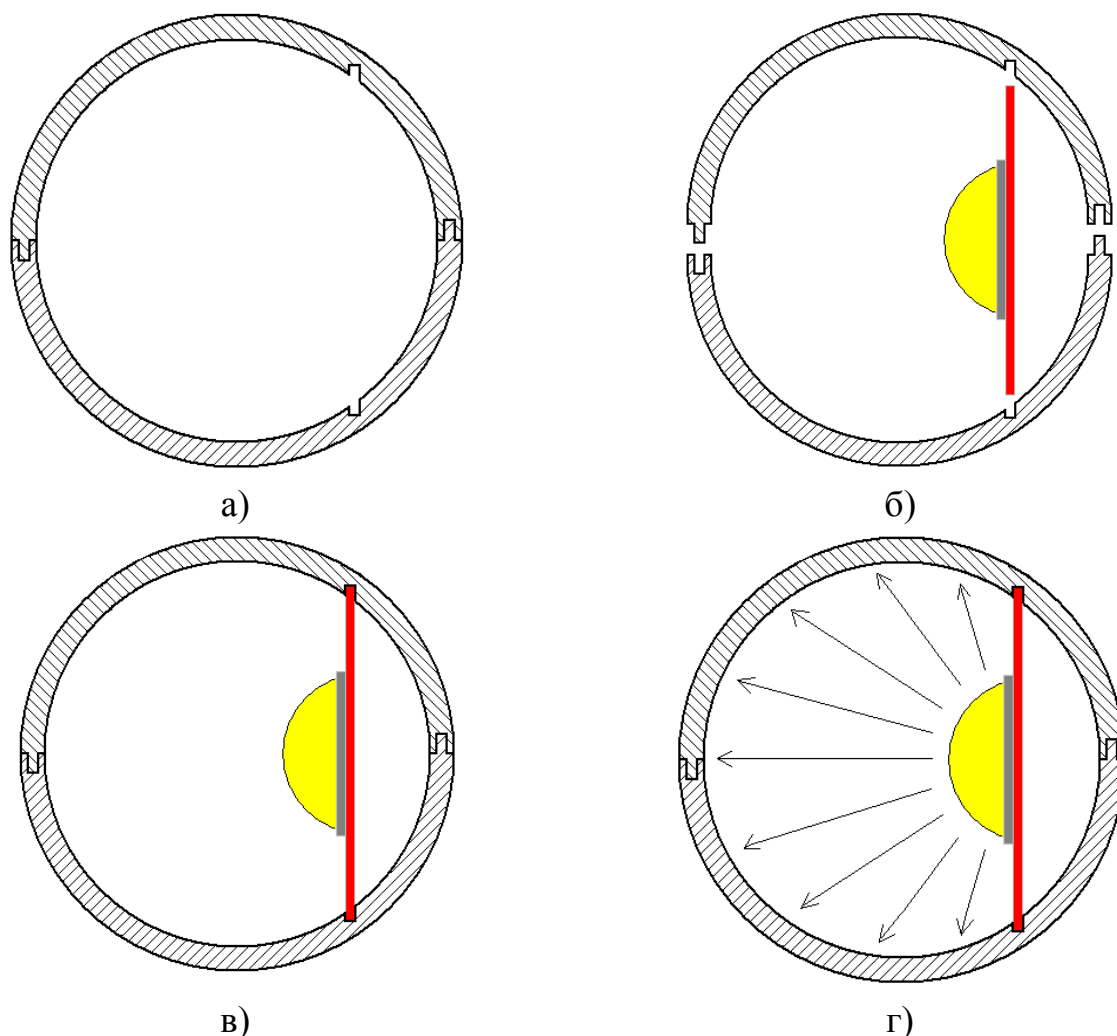


Рисунок 2.13 – Сечение трубки фотокаталитического воздухоочистителя:  
а – трубка в собранном виде без светодиодной ленты;  
б – установка во внутренние пазы трубки светодиодной ленты;  
в – трубка в собранном виде со светодиодной лентой;  
г – трубка в процессе свечения ультрафиолетовых светодиодов  
(диоксид титана нанесен тонким слоем на внутреннюю поверхность трубки)

Необходимая степень герметизации изделия достигается применением резиновых либо силиконовых (кремнийорганических) прокладок в местах соединения (пазах).

В качестве пылевого фильтра 4 (см. рисунок 2.12) предлагается использовать фильтр промышленного респиратора Ф-62Ш (рисунок 2.14а). Фильтр Р2 ФП, артикул 5795731, выпускаемый компанией ГеоСорб, имеет следующие габаритные размеры: диаметр 105 мм, высота 20 мм (рисунок 2.14б, в) и класс защиты FFP2

[68]. Данный фильтр обеспечивает эффективную защиту от различных видов пыли и аэрозолей, присутствующих в воздухе, в т.ч. силикатной, цементной, текстильной, табачной, от различных гербицидов и порошкообразных удобрений [26]. Сопротивление воздушному потоку фильтра не превышает 45 Па; при этом эффективность очистки воздуха от вышеуказанной пыли достигает 99,9%. Масса изделия 75 г, а срок службы одного фильтра (до замены) – не менее 250 часов [68].

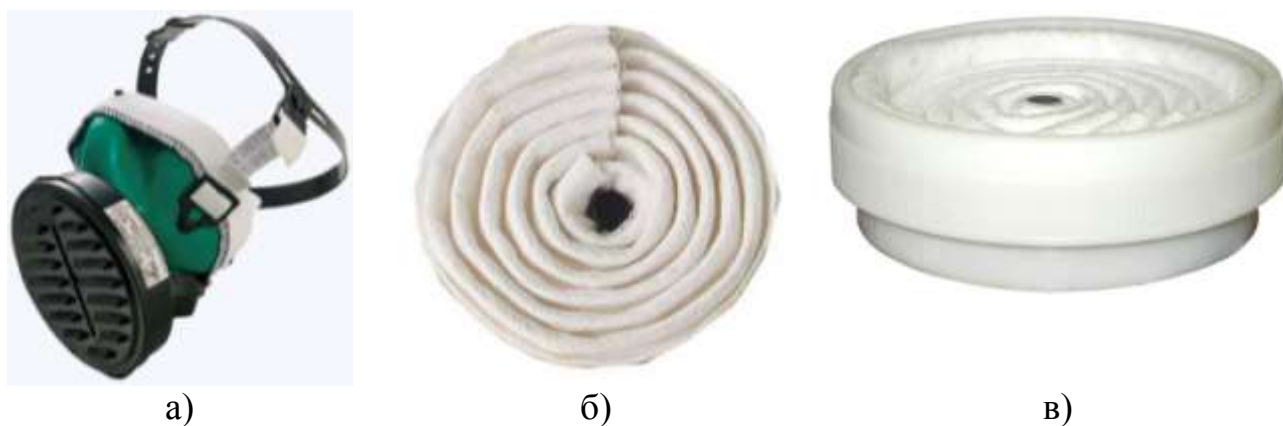


Рисунок 2.14 – Пылевой фильтр:  
а – респиратор Ф-62Ш; б – фильтр Р2 ФП (вид сверху); в – фильтр Р2 ФП, установленный в корпус (со снятой защитной крышкой с минижалюзьями)

Фильтрующая коробка от респиратора Ф-62 является основанием для установки на ней свернутой в спираль трубки и насоса. На рисунке 2.14в показан корпус данной коробки с вложенным фильтром Р2 ФП. Для замены фильтра необходимо открутить защитную крышку с миниатюрными жалюзьями (см. рисунок 2.14а). Жалюзи защищают фильтр от насекомых и крупнодисперсной пыли, в т.ч. от тополиного пуха.

При определении размеров трубки (внутреннего диаметра) необходимо ориентироваться на габаритные размеры светодиодной ленты (рисунок 2.15) [95]. В качестве источника ультрафиолетовых лучей применена лента UV TOP 320 TO-18 HS, артикул 010523, выпускаемая компанией Arlight (размер: 1000x8x2 мм; рабочее напряжение 12 В; потребляемая мощность 4,8 Вт/м; рабочий ток 0,4 А/м; КСС М 120°; 60 светодиодов/м; IP20) [66]. Предположим, что ширина светодиодной ленты – размер одной из сторон равнобедренного треугольника. Тогда перед нами встает задача вписать равнобедренный треугольник в окружность (рисунок 2.16).

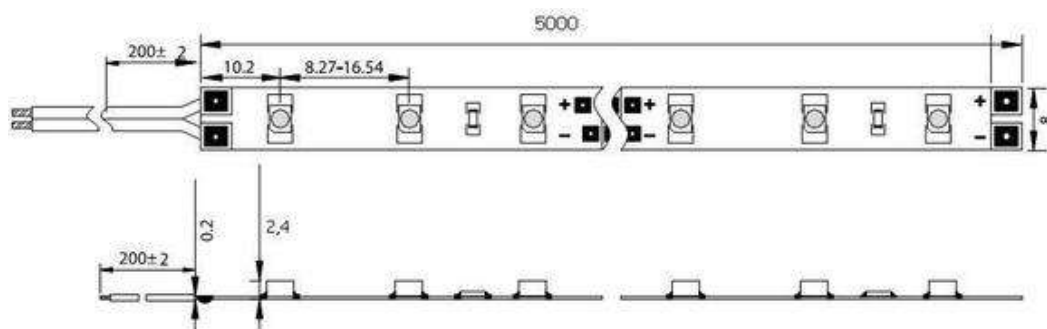


Рисунок 2.15 – Габаритные размеры ультрафиолетовой светодиодной ленты



Рисунок 2.16 – Равнобедренный треугольник, вписанный в окружность:  
а – ширина светодиодной ленты; R – радиус окружности

В случае, представленном на рисунке 2.16, радиус окружности (внутренняя поверхность трубки, покрытая диоксидом титана) будет определяться по формуле:

$$R = \frac{\sqrt{3}}{3} a, \quad (2.4)$$

где R – внутренний радиус трубки воздухоочистителя;

a – ширина светодиодной ленты (8 мм).

В данном случае радиус трубки будет несколько больше 4,6 мм. Следовательно, минимальный внутренний диаметр воздухоочистителя составит 9,24 мм. В случае, если требуется больший диаметр, можно воспользоваться тем обстоятельством, что светодиоды на ленте излучают ультрафиолетовые лучи под углом 120° [47]. В этом случае радиус трубки воздухоочистителя можно увеличить (рисунок 2.17). В дальнейших расчетах внутренний радиус принят 6 мм. Данная величина является минимально допустимой с конструктивной точки зрения. Увеличение внутреннего радиуса приведет, с одной стороны, к повышению объема очищаемого воздуха, пропускаемого через устройство за единицу времени, с другой стороны – может снизить коэффициент полезного действия изделия за счет снижения каталитической активности внутреннего покрытия трубки.

Как отмечено в [14, 20, 135, 139], уровень энергетической освещенности ультрафиолетовыми лучами поверхности диоксида титана, при которой происходит процесс фотокатализа, колеблется от 0,01 до 2,0 Вт/м<sup>2</sup>. При более низких значениях эффективность процесса окисления угарного газа резко падает, а более высокие значения приводят к перегреву и преждевременной деструкции и разрушению слоя диоксида титана [94]. Отдельные светодиоды, применяемые в лентах, могут обеспечить уровень энергетической освещенности 1,4 Вт/м<sup>2</sup> на расстоянии 1 см от поверхности светодиода [57, 128]. Тем не менее, значительно увеличить внутренний радиус не представляется возможным и по другой причине – в потоке воздуха, проходящем через трубку, очищаться от оксида углерода будет только слой, непосредственно прилегающий к поверхности диоксида титана. Чем выше шероховатость данной поверхности, тем больше толщина слоя воздуха, в котором оксид углерода удаляется практически полностью [94, 141] (рисунок 2.18).

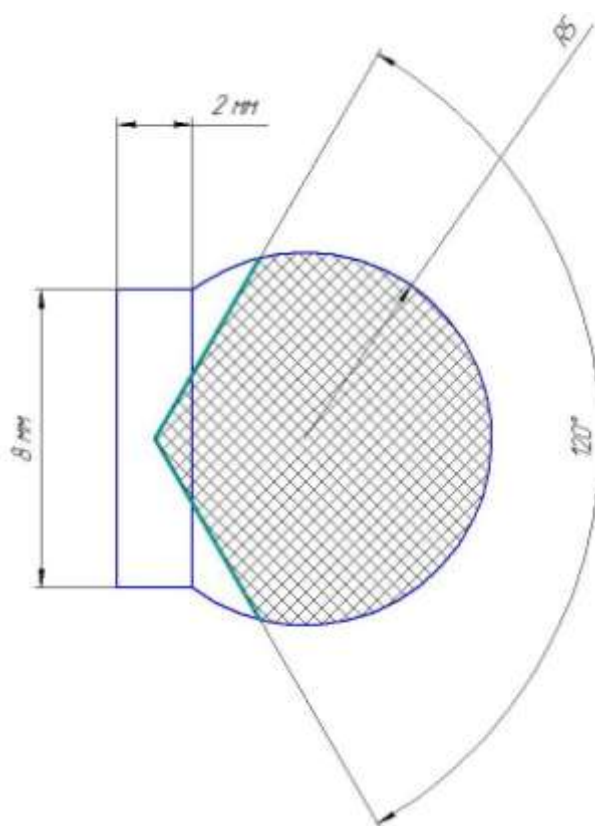


Рисунок 2.17 – Уточненный внутренний радиус трубки воздухоочистителя

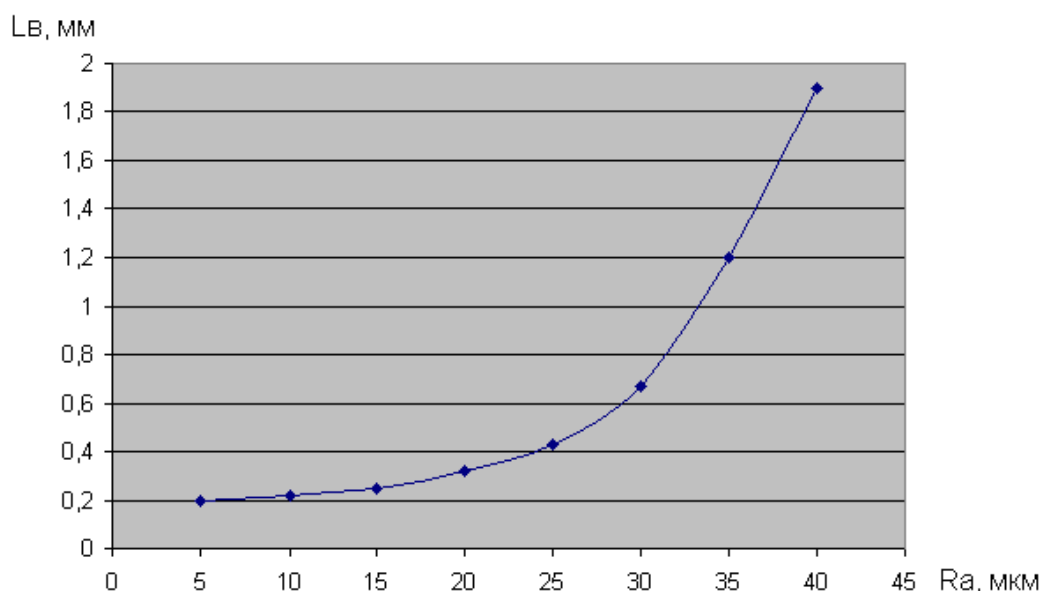


Рисунок 2.18 – График зависимости толщины слоя воздуха, очищаемого от оксида углерода  $L_v$ , от среднеарифметического отклонения профиля слоя диоксида титана  $R_a$

Следовательно, даже при больших значениях шероховатости  $R_a$  полностью очищаться от оксида углерода будет только слой воздуха толщиной около 2 мм. Данная величина справедлива только для ламинарного потока воздуха [141]. При турбулентном потоке толщина увеличится. Кроме того, поскольку трубка закручена в спираль, центробежная сила, возникающая при движении воздуха, постоянно перемешивает слои воздуха и процесс очистки интенсифицируется. Тем не менее, максимальный радиус трубки, который применялся в экспериментальных моделях воздухоочистителя, составлял 10 мм.

При размещении собранного изделия в кабине водителя либо в салоне КУНГа необходимо руководствоваться условием, что угарный газ легче воздуха и в непроветриваемых помещениях скапливается ближе к потолку. Поэтому воздухоочиститель необходимо разместить на потолке кабины – при этом очищенный воздух может направляться к голове водителя двумя способами (рисунок 2.19).

Вариант, изображенный на рисунке 2.19,б, предпочтительнее, так как чистый воздух в большем объеме попадает в требуемую зону кабины, а не рассеивается беспорядочно, как в варианте, представленном на рисунке 2.19а. При этом система, содержащая два дополнительных воздуховода, дороже при монтаже. Во время полевых испытаний применялся первый вариант установки (рисунок 2.19в).

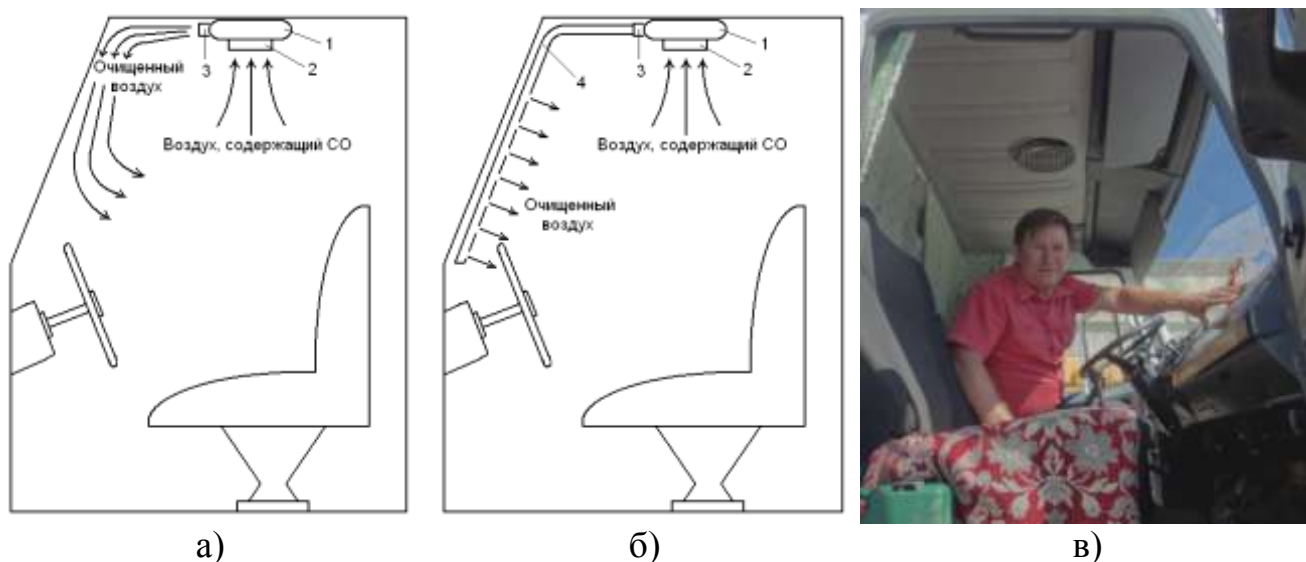


Рисунок 2.19 – Варианты размещения системы воздухоочистки в кабине автомобиля:

а – без воздуховодов; б – с воздуховодами; в – при полевых испытаниях;  
 1 – спиральный фотокаталитический воздухоочиститель; 2 – пылевой фильтр;  
 3 – патрубок для выхода чистого воздуха, 4 – два воздуховода, расположенных внутри салона параллельно боковым стойкам лобового стекла

В КУНГе вариант размещения так же будет один – на потолке (рисунок 2.20). При этом предпочтительно, чтобы очищенный воздух распространялся по всему объему равномерно, а не обдувал какую-либо выделенную зону (как, к примеру, представлено на рисунке 2.19,б). Учитывая то, что объем КУНГа превышает объем кабины водителя более чем в два раза, применяются два воздухоочистителя (см. рисунке 2.20).

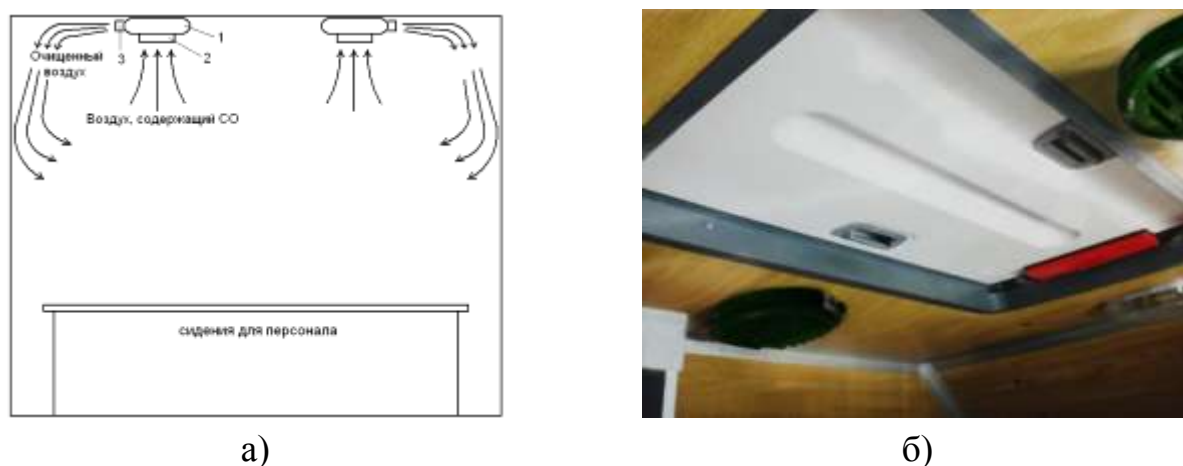


Рисунок 2.20 – Размещение фотокаталитических воздухоочистителей в салоне КУНГа:

а – схема размещения; б – при полевых испытаниях

При применении воздухоочистителя необходимо учитывать температуру окружающей среды. Рабочий диапазон светодиодной ленты TOP 320 TO-18 HS достаточно широк:  $-30...55\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что превышает возможный разброс температур в салоне кабины и КУНГе при их эксплуатации. Однако процесс фотокатализа, как и большинство химических реакций, зависят от температуры вступающих во взаимодействие веществ. Как доказано в трудах [1, 59, 82], процесс фотокатализа незначительно ускоряется при повышении температуры, что необходимо учитывать при проведении экспериментальных исследований.

### 2.5.2 Выбор кристаллической формы диоксида титана для фотокаталитического воздухоочистителя

Используемый в предлагаемом воздухоочистителе фотокатализатор, а именно диоксид титана, полиморфен и встречается в трех кристаллических формах – рутил, анатаз (октаэдрит) (рисунок 2.21) и брукит [47, 136, 138]. Последняя форма в природе встречается редко, поэтому в данной работе не рассматривается.

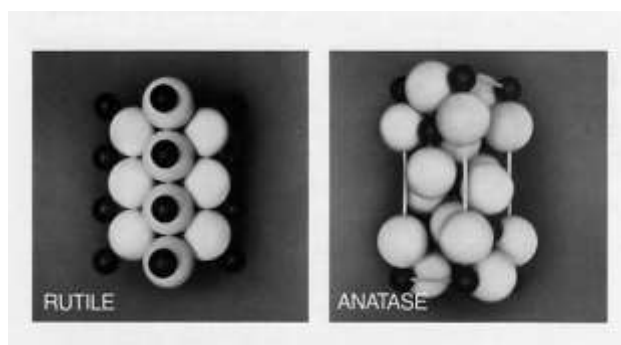


Рисунок 2.21 – Кристаллические формы диоксида титана – рутил и анатаз

Известно, что диоксид титана (рутил) наиболее часто используется в качестве белого пигмента в лакокрасочной промышленности. Рутильный диоксид примерно на 30% лучше рассеивает свет (краски на его основе обладают значительной «укрывистостью»), чем анатазный. Анатаз менее стоек к атмосферным воздействиям, чем рутил, и обладает значительно большей шероховатостью. Однако именно анатаз проявляет значительно большую фотокаталитическую активность – в воздухоочистителях применяется именно эта кристаллическая форма диоксида титана [47, 82, 94, 138].

Корпус воздухоочистителя должен быть изготовлен из металла, поскольку пластик (полиэтилен высокого давления, полипропилен и, особенно, поливинилхлорид) подвержен деструкции покрытия под действием свободных радикалов, образующихся в процессе фотокатализа. Рекомендуется использовать нержавеющую сталь, как наименее подверженную воздействию свободных радикалов, образующихся в слое диоксида титана под действием ультрафиолетовых лучей.

### 2.5.3 Выбор и обоснование рациональных параметров воздухоочистителя

Для выбора рациональных параметров воздухоочистителя, в первую очередь, мощности двигателя насоса-вентилятора, предлагается использовать законы гидродинамики, так как при малых скоростях движения газы считаются несжимаемыми и ведут себя подобно жидкостям [39].

С точки зрения гидродинамики фотокаталитический воздухоочиститель можно рассматривать как простой трубопровод. Простым считается трубопровод, не имеющий ответвлений. Основными расчетными соотношениями для него являются уравнение Бернулли, уравнение неразрывности и формулы, определяющие потери напора по длине и в местных сопротивлениях [39].

Необходимо отметить, что поток воздуха в трубопроводе может быть ламинарным, либо турбулентным (рисунок 2.22). Ламинарным называется течение, при котором жидкость (газ) перемещается слоями без перемешивания и пульсаций (то есть беспорядочных быстрых изменений скорости и давления) (рисунок 2.22а). Ламинарное течение возможно только до критического значения числа Рейнольдса ( $Re$ ), после которого оно переходит в турбулентное. Критическое значение числа Рейнольдса зависит от вида течения (течение в круглой трубе, обтекание светодиода и т.п.). Например, для течения в круглой трубе  $Re_{крит} \approx 2300$  [55]. При турбулентном течении в потоке самопроизвольно образуются многочисленные нелинейные волны, размер и амплитуда которых меняются хаотически в некотором интервале. Чаще всего нелинейные волны образуются у внутренних стенок трубопровода, либо при обтекании линейным потоком каких-либо тел, в данном случае светодиодов (рисунок 2.22б) [47, 48].

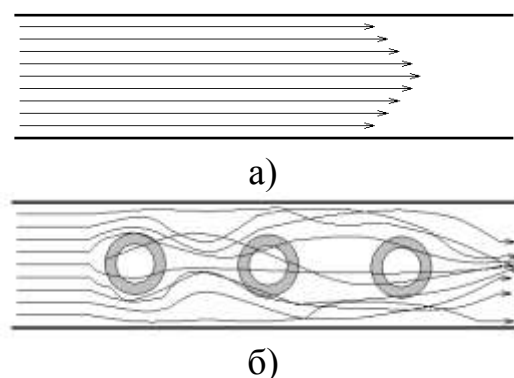


Рисунок 2.22 – Поток воздуха в воздухоочистителе:  
а – ламинарный поток; б – турбулентный поток

Число Рейнольдса определяется по формуле [55]:

$$Re = V_0 d_i / \nu, \quad (2.5)$$

где  $V_0$  – скорость воздушного потока в данной точке сечения перед светодиодом, м/с;  $d_m$  – миделев диаметр или наибольшая сторона миделева сечения тела, м;  $\nu$  – коэффициент вязкости воздуха.

Миделево сечение – это наибольшее по площади поперечное сечение тела, обтекаемого жидкостью или газом [39, 55]. Миделевым сечением в данном случае будет площадь поперечного сечения светодиода.

Идентификация вида потока воздуха в трубопроводе позволит определить местные и общие коэффициенты сопротивления и потери напора, что, в свою очередь, позволит выбрать рациональную мощность насоса-вентилятора. Поскольку воздухоочиститель предполагается использовать на мобильных агрегатах, мощность электрооборудования, в том числе электродвигателя насоса, является величиной, линейно зависящей от емкости аккумуляторных батарей агрегата.

Для практического использования уравнения Бернулли, которое обычно используется для расчета коротких трубопроводов, необходимо установить способ определения величин потерь напора  $h_c$ , вызванных действием в потоке сил сопротивления.

Механизм действия этих сил настолько сложен, что до настоящего времени для произвольного движения не удалось найти точного метода вычисления  $h_c$ ; в технических расчетах чаще всего приходится пользоваться эмпирическими или полуэмпирическими зависимостями.

При протекании газа (жидкости) через трубы, каналы, проточные части машин и аппаратов поток претерпевает значительные деформации, вызывающие неравномерность скоростей, которые, в свою очередь приводят к появлению вязкостных напряжений в толще потока. Работа сил этих напряжений обуславливает диссипацию энергии.

Коэффициент сопротивления спиральной трубы, в которую помещены тела, обтекаемые воздушным потоком, складывается из коэффициента сопротивления собственного участка  $\xi_{\text{уч}}$  (в нашем случае это сопротивление трения) и сопротивления обтекаемых тел (а именно, светодиодов)  $\xi$  [47, 49]:

$$\xi_{\text{н\ddot{o}}} = \frac{\Delta P}{\rho V_{\text{i \ddot{o}}}^2 / 2} = \xi_{\text{с\ddot{c}}} + \xi, \quad (2.6)$$

где  $\Delta P$  – потери давления воздушного потока в трубе;  $\rho$  – плотность воздуха;  $V_{\text{мест}}$  – скорость воздуха при обтекании им светодиода.

Мощность  $\Delta N$ , требуемая на преодоление сил сопротивления светодиода, обтекаемого потоком в трубе, выражается через силу лобового сопротивления  $F_{\text{л}}$  этого светодиода:

$$\Delta N = F_{\text{л}} V_{\text{i \ddot{o}}} \quad (2.7)$$

Сила лобового сопротивления:

$$F_{\text{л}} = C_x S_{\text{i}} \rho V_{\text{i \ddot{o}}}^2 / 2, \quad (2.8)$$

где

$$V_{\text{i \ddot{o}}} = \frac{V}{1 - \frac{\tau S_{\text{i}}}{S_0}}; \quad (2.9)$$

где  $C_x$  – коэффициент лобового сопротивления тела, зависящий от формы тела, числа Рейнольдса  $Re = V_0 d_{\text{i}} / \nu$  и других параметров, и определяемый по данным диаграмм;  $S_{\text{м}}$ ,  $d_{\text{м}}$  – соответственно миделева площадь ( $\text{м}^2$ ) и диаметр или наибольшая сторона ( $\text{м}$ ) миделева сечения тела,  $\text{м/с}$ ;  $V_{\text{мест}}$  – местная скорость потока (в живом сечении  $(S_0 - S_{\text{м}})$ ), т.е. скорость в сечении трубы за вычетом миделевой площади тела,  $\text{м/с}$ ;  $V$  – скорость в данной точке сечения перед телом (светодиодом),  $\text{м/с}$ ;  $\tau$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние формы тела и сужения поперечного сечения трубы (для тел обтекаемой формы  $\tau \leq 1,0$ ; для других тел  $\tau > 1$ );  $\nu$  – коэффициент вязкости воздуха.

Указанная мощность может быть выражена через коэффициент местного гидравлического сопротивления участка трубопровода, в котором помещено тело:

$$\Delta N = \xi \frac{\rho V_0^2}{2} V_0 S_0 \quad (2.10)$$

Совместное решение уравнений (2.6), (2.7), (2.8), (2.9) выявляет связь между коэффициентом местного сопротивления  $\xi$  и коэффициентом лобового сопротивления  $C_x$ :

$$\xi = \frac{C_x S_i}{S_0 \left( \frac{V_i}{V_0} \right)^3} \quad (2.11)$$

В общем случае скорость течения в трубе распределена неравномерно по сечению; поэтому сопротивление тела зависит от места расположения его в сечении [55].

Для случая стабилизированного ламинарного течения профиль скоростей выражается формулой:

$$V / V_0 = K_1 \left[ 1 - \left( \frac{2y}{d_0} \right)^2 \right], \quad (2.12)$$

где для пространственного обтекания (круг, прямоугольник при  $a_0/b_0 = 0,5 \dots 2,0$ )  $K_1 = 2$ , а для плоского обтекания (плоская или кольцевая щель)  $K_1 = 3/2$ ;  $y$  – расстояние между осями (центрами) тела (светодиода) и трубы;  $d_0$  – диаметр трубы.

На основании (2.9), (2.11) и (2.12) получим:

$$\xi = \frac{\Delta P}{\rho V_0^2 / 2} = C_x \frac{S_i / S_0 K_1^3 \left[ 1 - (2y / d_0)^2 \right]^3}{(1 - \tau S_i / S_0)^3} = K_2 \frac{C_x S_i / S_0 \left[ 1 - 2(y / d_0)^2 \right]^3}{(1 - \tau S_i / S_0)^3} \quad (2.13)$$

Для случая стабилизированного турбулентного течения профиль скоростей может быть выражен приближенно степенной функцией:

$$V / V_0 = K_2 \left[ 1 - \left( \frac{2y}{d_0} \right) \right]^{1/m}, \quad (2.14)$$

где для пространственного течения

$$K_1 = (2m + 1)(m + 1) / 2m^2; \quad (2.15)$$

для плоского течения

$$K_1 = (m + 1) / m, \quad (2.16)$$

где  $m$  – показатель степени, который в общем случае может меняться в широких пределах.

Согласно (2.9), (2.11) и (2.12):

$$\xi = \frac{\Delta P}{\rho V_0 / 2} = \frac{C_x S_i / S_0 K_1^3 [1 - 2y / d_0]^{3/m}}{(1 - \tau S_i / S_0)^3} = K_2 \frac{C_x S_i / S_0 [1 - 2y / d_0]^{3/m}}{(1 - \tau S_i / S_0)^3} \quad (2.17)$$

Для турбулентного течения в прямой трубе значения  $m$  и  $K_1$  приведены в таблице 2 в зависимости от числа  $Re = V_0 d_i / \nu$ . В частности, когда  $Re = 6 \cdot 10^5$   $m = 9$  и  $K_1 = 1,17$ ;  $K_1 = K_1^3 = 1,6$ .

Таблица 2.2 – Зависимость величин коэффициентов  $m$  и  $K_1$  от числа Рейнольдса  $Re$

| Коэф-<br>фициенты | Re             |                |                  |                |                |                |
|-------------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
|                   | $4 \cdot 10^3$ | $4 \cdot 10^3$ | $2,5 \cdot 10^4$ | $2 \cdot 10^5$ | $6 \cdot 10^5$ | $3 \cdot 10^6$ |
| $m$               | 5              | 6              | 7                | 8              | 9              | 10             |
| $K_1$             | 1,32           | 1,20           | 1,20             | 1,20           | 1,17           | 1,15           |

Зависимость  $\Delta P$  от  $q$  (подачи, производительности и пылеемкости фильтра  $Z_n$ ) для отдельных фильтров можно взять из графиков (рисунок 2.23) [34].

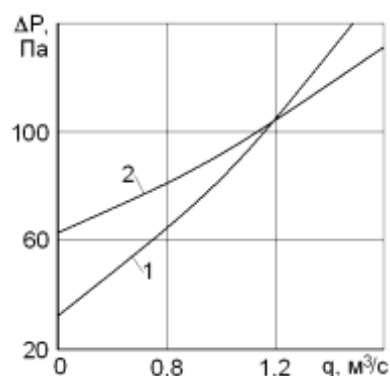
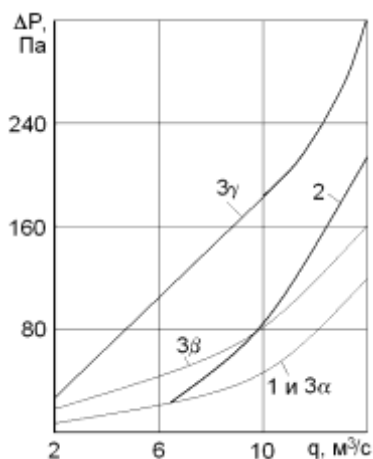


Рисунок 2.23 – Зависимость мощности потока воздуха от подачи, производительности насоса и пылеемкости фильтра:  
кривые 1 относятся к фильтрам ФяР с заполнением пяти сеток ячейками размером 2,5 мм, четырех сеток – ячейками размером 1,2 мм и трех – ячейками размером 0,63 мм; кривые 2 относятся к фильтрам ФяВ; кривые 3 – к фильтру ФяП, материал – пенополиуретан ( $\alpha$  – толщина слоя 10 мм,  $\beta$  – толщина слоя 20 мм,  $\gamma$  – толщина слоя 40 мм) и к фильтру ФяУ, материал – упругое стекловолокно (кривая 3 $\alpha$ )

Данные зависимости могут содержать поправочные коэффициенты, полученные эмпирическим путем, поскольку миделевы сечения светодиодов различны, в зависимости от марки [48, 49].

Предложенные зависимости и графики позволяют подобрать необходимую мощность и производительность насоса-вентилятора 3 для изготовления опытной установки по очистке воздуха. На графике (см. рисунок 2.23) кривая 1 соответствует параметрам выбранного выше пылевого фильтра – Р2 ФП.

Как указывалось выше, в качестве фотокатализатора предлагается использовать кристаллическую форму диоксида титана анатаз. Следовательно, необходимо рассмотреть вопрос влияния на воздушный поток анатазного покрытия внутренней поверхности воздуховода, которое обладает высокой степенью шероховатости.

При использовании предложенного воздухоочистителя в кабине либо салоне КУНГа автомобиля необходимо ориентироваться на требуемый СНиПом 41-01-2003 воздухообмен [115]. К примеру, для КУНГа автомобиля ГАЗ-3307, широко используемого в энергетическом комплексе, воздух в салоне должен полностью обновляться 2 раза в течение часа, что составляет один раз в 30 минут (1800 с). Тогда:

$$G_v = \frac{V}{t}, \quad (2.18)$$

где  $G_v$  – объемный расход,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$V$  – объем кабины,  $\text{м}^3$ ;

$t$  – время полного обновления воздуха в кабине

$$G_v = \frac{V}{t} = \frac{3}{1800} = 0,0017 \text{ м}^3/\text{с}$$

Зная объемный расход, легко определить скорость воздуха в воздухоочистителе. Поскольку

$$G_v = \omega \frac{\pi d^2}{4}, \quad (2.19)$$

скорость воздуха

$$\omega = \frac{4G_v}{\pi d^2}, \quad (2.20)$$

где  $\omega$  – скорость воздуха, м/с;

$d$  – внутренний диаметр трубы, м. У предложенной модели воздухоочистителя  $d = 12$  мм ( $12 \cdot 10^{-3}$  м).

Тогда

$$\omega = \frac{4G_v}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,0017}{3,14 \cdot (12 \cdot 10^{-3})^2} = 15,03 \text{ м/с}$$

Для поддержания требуемой скорости воздуха необходимо учесть величину потерь в трубопроводе, вызванную трением и местными сопротивлениями. На потери от трения влияют скорость воздуха, внутренний диаметр трубы и степень шероховатости внутренней поверхности трубы. Влияние степени шероховатости учитывается коэффициентом гидравлического трения  $\lambda$ :

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\hat{E}}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}, \quad (2.21)$$

где  $K_s$  – эквивалентный коэффициент шероховатости, мм;

0,11; 68 и 0,25 – эмпирические коэффициенты;

$\text{Re}$  – число Рейнольдса.

Число Рейнольдса определяется по формуле:

$$\text{Re} = \frac{\omega d}{\nu}, \quad (2.22)$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость. При  $20^\circ\text{C}$   $\nu = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

$$\text{Re} = \frac{15,03 \cdot 0,012}{15,06 \cdot 10^{-6}} = 11976$$

Эквивалентный коэффициент шероховатости для анатаза, как указывалось выше, принимаем равным  $K_s = 1,3$  [73, 82, 94, 134]. Тогда:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{1,3}{12} + \frac{68}{11976} \right)^{0,25} = 0,064$$

Поскольку воздухопровод очистителя имеет форму спирали, у воздуха, проходящего ее витки, снижается напор из-за местных сопротивлений. Определить снижение можно по следующей формуле:

$$\Delta P = \left( \lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \rho \frac{\omega^2}{2}, \quad (2.23)$$

где  $\Delta P$  – потеря давления, Па;

$l$  – длина трубы, м (в нашем случае  $l = 1$  м);

$\xi$  – коэффициент местного сопротивления;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup> (при  $t = 20$  °С  $\rho = 1,205$  кг/м<sup>3</sup>).

Свернутую в спираль метровую трубку можно представить как совокупность петель (рисунок 2.24). Всего таких петель будет 5 (рисунок 2.24а). При этом одна петля упрощенно рассматривается как четыре поворота на 90° (рисунок 2.24б). При внутреннем диаметре трубопровода менее 20 мм  $\xi_{90^\circ} = 1,7$  [49]. Пять петель по четыре поворота на 90° – всего будет 20 поворотов. Тогда

$$\sum \xi = 1,7 \cdot 20 = 34$$

$$\Delta P = \left( 0,064 \frac{1}{0,012} + 34 \right) \frac{1,205 \cdot 15,03^2}{2} = 5353 \text{ Па} = 5,4 \text{ кПа}.$$

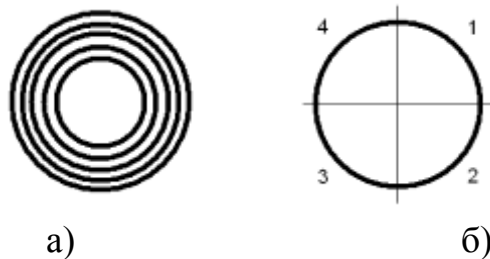


Рисунок 2.24 – Спиральный воздухоочиститель:

а – совокупность пяти петель спирального воздухоочистителя;

б – представление петли как совокупности четырех поворотов на 90°

В конструкции предлагается использовать высоконапорный вентилятор. Точка пересечения характеристик воздухоочистителя и вентилятора (рис. 2.25) определяет рабочий режим, позволяющий выбрать вентилятор при данном воздухообмене.

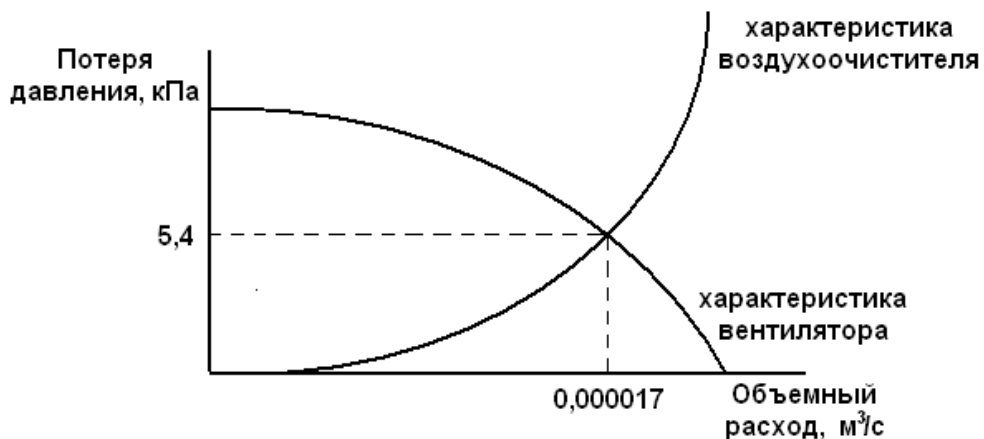


Рисунок 2.25 – Характеристики вентилятора и воздухоочистителя

Учитывая возможное отклонение действительной характеристики вентилятора от типоразмерной характеристики, приводимой в каталогах (влияние технологических погрешностей), следует выбирать вентилятор по напору на 3...8% превышающим напор, определенный рабочим режимом [81].

Вышеуказанным требованиям удовлетворяет микрокомпрессор МК-06-12, выпускаемый компанией ЗАО МЭЛ [67]. Сам микрокомпрессор (артикул 2059700) имеет цилиндрическую форму с размерами 80x35x35 мм (рисунок 2.26). Напряжение питания 12 В; рабочий ток 0,325 А; минимальное давление нагнетания при нулевом расходе  $5,1 \cdot 10^4$  Па; минимальное разрежение при нулевом расходе –  $4,5 \cdot 10^{-4}$  Па; расход воздуха при давлении 0,2 атм – 1 л/мин ( $1,667 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/с); масса 0,09 кг. Поскольку микрокомпрессор – единственный элемент воздухоочистителя, издающий звук при работе, большое внимание было уделено уровню шума изделия. Средний уровень звука на расстоянии 50 см (сопоставимом с размерами кабины и КУНГа) составляет 55 дБА, что соответствует нормативным данным, согласно которым эквивалентный уровень шума, воздействующий на водителя в течение 8 часов, не должен превышать 60 дБА [129].



Рисунок 2.26 – Внешний вид микрокомпрессора МК-06-12

Выбранный насос сможет сохранять работоспособность сконструированного изделия только при определенных геометрических размерах зоны воздухоочистки, а именно – длины и внутреннего диаметра трубки 1 (см. рисунок 2.12а). При конструировании фотокаталитического воздухоочистителя, учитывая вышеуказанные особенности, а именно, высокий коэффициент местного сопротивления отдельных светодиодов, относительно большой эквивалентный

коэффициент шероховатости анатаза, ограничения по размеру используемой светодиодной ленты, получаем следующую совокупность условий:

$$\begin{cases} t_{\text{пдк}} \rightarrow \min \\ t_{\text{пдк}} = f(L; d) \end{cases}, \quad (2.24)$$

где  $t_{\text{пдк}}$  – время достижения предельно допустимой концентрации ( $20 \text{ мг/м}^3$ );

$L$  – длина трубки;

$d$  – внутренний диаметр трубки.

Как указывалось в п. 2.5.1, исходя из конструктивных особенностей (ширины и толщины) стандартной светодиодной ленты, минимальный диаметр трубки составляет 12 мм, максимальный – 20 мм. В экспериментальных исследованиях внутренний диаметр трубки изменялся с шагом 4 мм: 12; 16; 18 мм.

Длина трубки может меняться в достаточно широких пределах, однако при малой длине эффективность очистки воздуха значительно уменьшается, а при большой – насос не может обеспечить необходимый воздухообмен. Поэтому в дальнейших экспериментах длина изменялась от 1 до 1,5 м. Это связано также с тем условием, что светодиодные ленты сохраняют работоспособность при количестве светодиодов, кратном трем, т.е. лента фактически состоит из блоков по три светодиода в каждом. Поэтому, учитывая размер такого «блока» (см. рисунок 2.15), длина применяемой светодиодной ленты может изменяться кратно величине 50 мм. В экспериментах был применен шаг длины ленты и, соответственно, трубки 250 мм: 1; 1,25; 1,5 м.

В дальнейших исследованиях возможно изучение параметров воздухоочистителя с эксклюзивно изготовленной светодиодной лентой. Однако создание подобной ленты, а не приобретение готовой, значительно увеличивает конечную стоимость изделия.

#### 2.5.4 Схема управления фотокаталитическим воздухоочистителем

Для целей экономии электрической энергии воздухоочиститель должен работать периодически – до очистки (полной или частичной) всего объема загрязненного воздуха в помещении (кабине мобильного агрегата). Включение-

выключение электродвигателя насоса должно производиться автоматически, в зависимости от концентрации угарного газа в очищаемом объеме (производственном помещении, салоне автомобиля и т.д.). При этом, как указывалось выше, ориентироваться необходимо на ПДК, которая для оксида углерода составляет  $20 \text{ мг/м}^3$  [17].

Преимущество системы управления будет заключаться в автономной работе устройства (независимо от человека). Оператор будет лишь уведомлен о начале работы воздухоочистителя. Благодаря специальному датчику фотокаталитический воздухоочиститель включится автоматически при превышении допустимой концентрации вредных веществ в защищаемом помещении. Таким образом, устройство будет работать только тогда, когда этого потребует ситуация.

Непостоянное время работы прибора позволит добиться значительной экономии электроэнергии и низкой нагрузки на бортовую сеть автомобиля.

Функциональная схема системы управления воздухоочистителем представлена на рисунке 2.27. Конструкция системы защищена патентом РФ [96] (приложение 3).



Рисунок 2.27 – Функциональная схема системы управления фотокаталитическим воздухоочистителем

Включение прибора обеспечивает датчик (сенсор) оксида углерода (CO). Необходимо отметить, что срабатывание датчика обеспечивают и некоторые другие вредные газы, входящие в состав выхлопных газов. Датчики этого типа по принципу работы делятся на два класса (рисунок 2.28) [62, 69]:

Ввиду разнообразия датчиков газа были разработаны схемы управления фотокаталитическим фильтром, основанные на различных датчиках CO.

Первая схема управления разработана для электрохимического сенсора угарного газа TGS 5042 японской фирмы FigaroEngineering [75, 103]. Вторая схема управления основана на термисторе MQ-7 (датчик каталитического типа), также разработанном и производимом компанией FigaroEngineering [75, 103].



Рисунок 2.28 – Сенсоры оксида углерода

Для проверки работоспособности разрабатываемых схем на стадии проектирования применялась программа-симулятор Multisim версии 13, произведенная компанией National Instruments. На рисунке 2.29 приведен интерфейс программы с «собранной» схемой управления фотокаталитическим воздухоочистителем на датчике угарного газа типа TGS 5042.

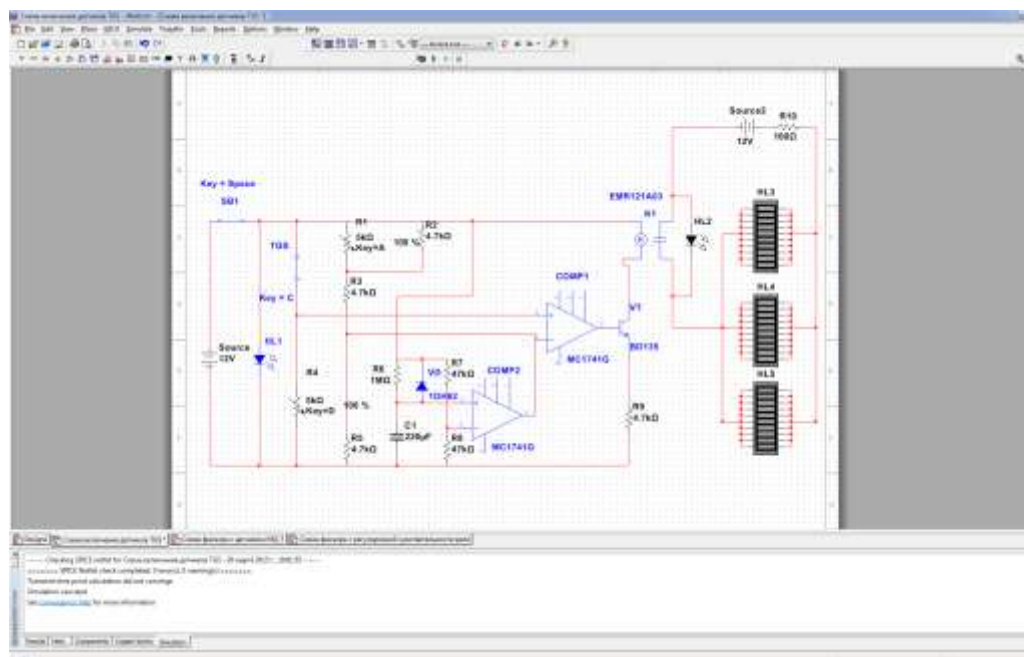


Рисунок 2.29 – Схема управления на сенсоре TGS 5042, подготовленная для проведения симуляции

Вычислительные возможности программы не позволили симитировать все используемые в схеме элементы. Это касается электродвигателя насоса и собственно датчика, поэтому электродвигатель отсутствует в приведенной выше

схеме (см. рисунок 2.29), а сам датчик заменен выключателем TGS. Такие изменения не оказали существенного влияния на исход симуляции.

На рисунке 2.30 представлена компьютерная модель схемы на основе сенсора MQ-7.

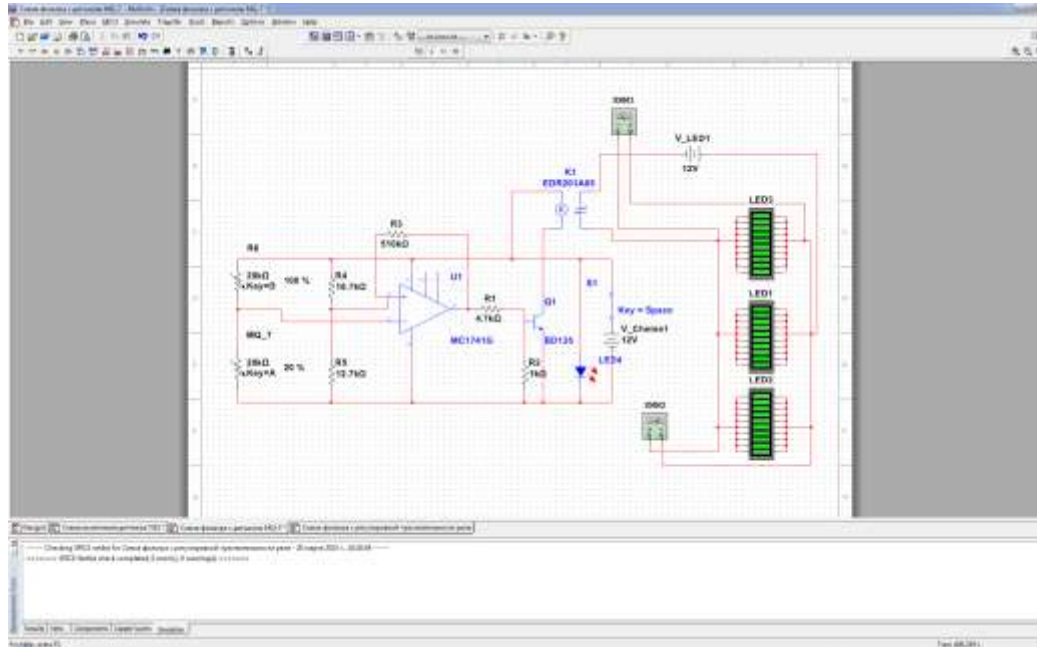


Рисунок 2.30 – Схема управления на сенсоре MQ-7, подготовленная для проведения симуляции

Каталитический сенсор обеспечивает независимость работы датчика от температуры окружающей среды. Изменением сопротивления резистора R6 схему можно настроить на требуемую концентрацию.

Представленные выше схемы по своему принципу действия схожи. Это обусловлено принципом действия упомянутых сенсоров угарного газа. Также необходимо отметить, что в данной работе приведены не все возможные схемы управления фотокаталитическим воздухоочистителем, а лишь, на взгляд разработчиков, более перспективные. Например, датчик MQ-7 способен генерировать цифровой сигнал для применения в схемах мониторинга концентрации вредных газов, содержащихся в воздухе.

По энергопотреблению более выгодной является схема на основе датчика TGS 5042 – чувствительного элемента, изготовленного на основе оксида олова с использованием поверхностных эффектов мелкозернистой структуры вещества [50, 102]. Именно на основе данного датчика был разработан блок управления воздухоочистителем.

Фотокаталитический воздухоочиститель с блоком управления работает следующим образом (рисунок 2.31). Включение устройства производится кнопкой SB – при этом загорается зеленый светодиод HL1. Зеленый свет сигнализирует о низкой концентрации оксида углерода.

В мостовой схеме при повышении концентрации газа сопротивление датчика оксида углерода TGS уменьшается, а напряжение на резисторе R4 увеличивается. При определенном напряжении (соответствующем ПДК) компаратор срабатывает, и ток, идущий через эмиттер-коллекторный переход транзистора VT, включает реле KM, нормально разомкнутый контакт которого замыкается, и напряжение через него подается на электродвигатель насоса М и светодиодную ленту HL3...HLN. Воздухоочиститель начинает свою работу. При этом загорается красный сигнальный светодиод HL2, что свидетельствует о превышении ПДК угарного газа. Через определенное время концентрация угарного газа падает ниже ПДК, ток через эмиттер-коллекторный переход транзистора VT резко уменьшается и реле KM вновь размыкает свой контакт. Насос перестает работать – до следующего цикла.

Таким образом, водитель всегда предупрежден о работоспособности устройства (о чем сигнализирует зеленый светодиод) и о начале процесса очистки воздуха (в течение времени горения красного сигнального светодиода).

Термистор обеспечивает независимость работы датчика от температуры окружающей среды. Изменением сопротивления резистора R4 схему можно настроить на требуемую концентрацию – 20 мг/м<sup>3</sup>.

Напряжение питания схемы – 12 В постоянного тока, потребляемая мощность – 15 мВт. При этом диапазон рабочих температур от -5 °С до +40 °С, а давления воздуха – от 0,5 до 1,5 атм (50...150 кПа). Таким образом, изделие можно использовать в мобильных агрегатах, при этом аккумуляторная батарея будет испытывать минимальную нагрузку. Конденсатор С1 обеспечивает защиту электрической схемы от перенапряжений (например, при пуске двигателя внутреннего сгорания или обрыве ремня привода электрического генератора) [50].

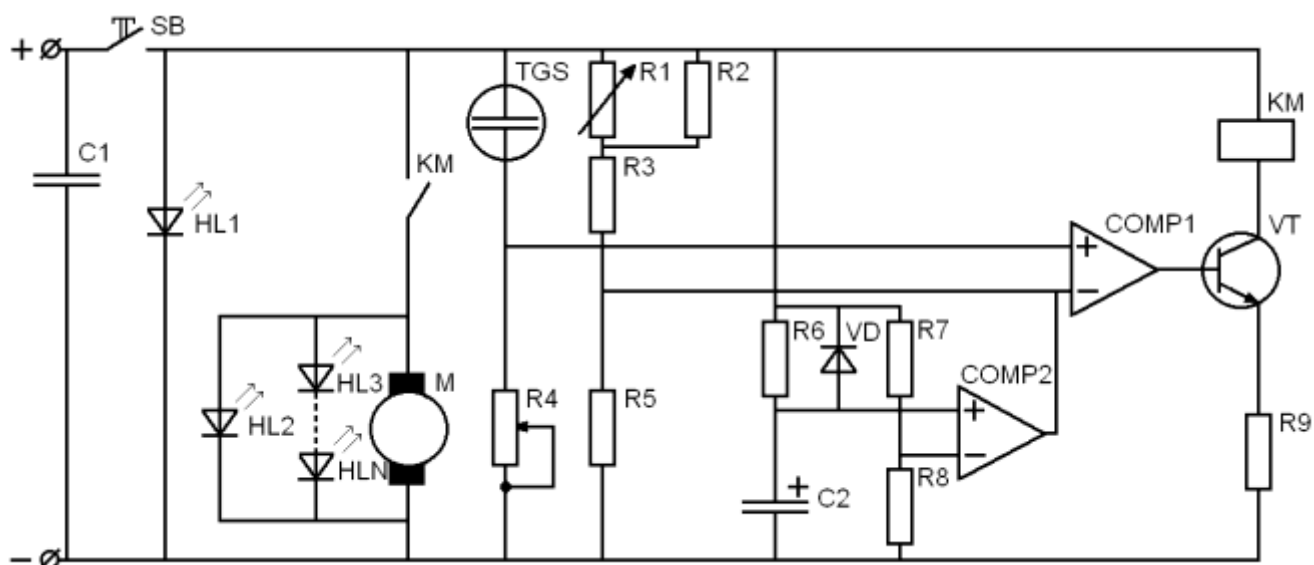


Рисунок 2.31 – Схема управления насосом воздухоочистителя

Устройство обеспечивает не плавную, а дискретную работу устройства – циклы «вкл. – выкл.», что приемлемо для очистки воздуха в малых объемах, в первую очередь в кабинах мобильных машин.

Таким образом, данное устройство обеспечивает стабильную очистку воздуха в кабине мобильного агрегата от оксида углерода. В настоящее время авторами разрабатывается дополнительная схема, контролирующая целостность цепи коммутации и сигнализирующая об опасном снижении количества рабочих светодиодов на ленте (поскольку возможно наступление момента, когда процесс фотокатализа может стать неэффективным из-за уменьшения интенсивности потока ультрафиолетовых лучей).

Необходимо отметить, что оксид олова обладает достаточно высокой химической активностью в отношении углеводородов, пары которых присутствуют в испарениях бензина [102]. Поэтому срабатывание датчика, учитывая постоянное, не воспринимаемое обонянием человека, присутствие углеводородов в воздухе кабин мобильных машин, будет происходить даже раньше, чем концентрация оксида углерода в воздухе достигнет ПДК.

## 2.6 Выводы

Предлагаемое устройство повышает безопасность операторов, перевозимых мобильными машинами, а также улучшает условия их труда.

В ходе теоретических исследований:

1. Проанализированы достоинства и недостатки современных способов очистки воздуха от угарного газа. В результате установлено, что на современном этапе развития технологий очистки воздуха самым эффективным является фотокаталитический способ. Анализ многочисленных отечественных и зарубежных источников показал необходимость применения в качестве катализатора диоксида титана для фотокаталитического окисления угарного газа до углекислого.
2. Обоснована необходимость применения в качестве источника ультрафиолетовых лучей светодиодных лент, как имеющих многочисленные преимущества перед газоразрядными лампами, в т.ч. высокую механическую прочность, вибростойкость, длительный срок службы, низкое энергопотребление и отсутствие в составе вредного вещества – ртути.
3. Дано теоретическое обоснование параметров фотокаталитического воздухоочистителя с ультрафиолетовой светодиодной лентой и его схемы управления, при которых время достижения ПДК по угарному газу будет минимальным. Данная разработка защищена патентами РФ (на изобретение и на полезную модель).

### 3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЯ СО СВЕТОДИОДНОЙ ЛЕНТОЙ

Теоретические предпосылки требуют их экспериментальной проверки и, следовательно, разработки методики проведения экспериментов с применением необходимого оборудования.

Целью проводимых экспериментальных исследований является проверка основных положений теоретического анализа. Это связано с тем, что принятые в расчетах допущения и ограничения позволили описать реальные процессы с определенным приближением. Оценка соответствия разработанного математического описания реальной действительности является следующим этапом работы. Для оценки соответствия расчетов реальной действительности и задачам исследования выбрано экспериментальное исследование натурного образца. Сопоставление параметров работы фотокаталитического воздухоочистителя с данными, полученными при моделировании, позволит сделать вывод о качестве результатов теоретического исследования.

#### 3.1 Задачи экспериментальных исследований. Описание экспериментальной установки

Методика экспериментальной оценки результатов исследований основана на требованиях ГОСТ Р 51945-2002 «Аспираторы. Общие технические условия. Методы испытаний», и методиках оценки качества очистки воздуха от различных газообразных примесей, предложенных в следующих трудах [18, 25], дополненная с учетом:

- конструктивных особенностей разработанного устройства;
- научных задач, определенных теоретическим исследованием;
- параметров, необходимых для оценки адекватности проведенных расчетов и эффективности предлагаемых решений;
- условий проведения эксперимента.

В связи с этим, для решения поставленной цели при экспериментальных исследованиях необходимо решить следующие задачи:

1. Провести экспериментальные исследования для автомобиля с заведенным двигателем, находящегося в остановленном состоянии и в состоянии движения;
2. Исследовать динамику процесса снижения концентрации угарного газа в объемах кабины и КУНГа при неизменности всех других параметров;
3. Определить рациональные параметры фотокаталитического воздухоочистителя для наиболее быстрого удаления угарного газа из вышеупомянутых объемов.

Наиболее полно и объективно оценка качества очистки воздуха от оксида углерода в салоне кабины и КУНГе автомобиля обеспечивается при натурных испытаниях. При этом допустимо проводить эксперименты в замкнутых объемах, сопоставимых с объемом вышеуказанных кабины и кузова [34, 114].

Для решения поставленных задач были проведены подготовительные работы с автомобилем ГАЗ-3307, оснащенным КУНГом (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Автомобиль ГАЗ-3307, оснащенный КУНГом для оперативно-выездных бригад

На рисунке 3.2 схематично представлены отсеки вышеуказанного автомобиля, в которых располагается персонал, и воздух которых необходимо очищать от угарного газа (выделены темным цветом).

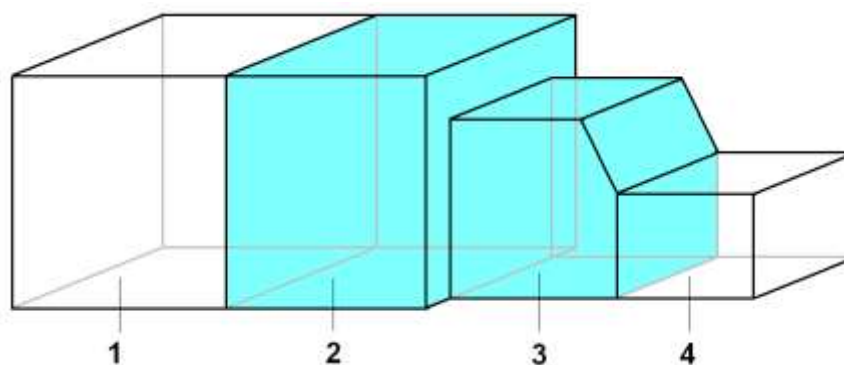


Рисунок 3.2 – Отсеки кабины и КУНГа автомобиля ГАЗ-3307, предназначенные для размещения персонала:

1 – отсек КУНГа для хранения и перевозки электрозащитных средств, оборудования и инструмента; 2 – отсек КУНГа для размещения членов оперативно-выездной бригады; 3 – кабина водителя; 4 – двигательный отсек

На рисунке 3.3 представлены фото вышеупомянутых отсеков.



а)

б)

в)

Рисунок 3.3 – Отсеки автомобиля ГАЗ-3307:

а – отсек КУНГа для хранения и перевозки электрозащитных средств, оборудования и инструмента; б – отсек КУНГа для размещения членов оперативно-выездной бригады; в – кабина водителя

Объем очищаемого воздуха определялся исходя из геометрических размеров внутреннего пространства вышеупомянутых отсеков (рисунок 3.4). При этом толщина теплоизоляционного перекрытия между отсеками КУНГа (см. рисунок 3.2-1, 3.2-2) составляет 45 мм. Воздухообмен между вышеупомянутыми отсеками практически отсутствует.

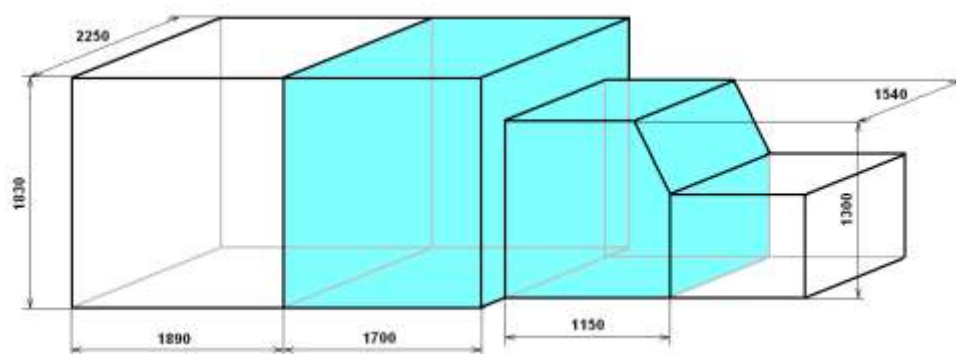


Рисунок 3.4 – Геометрические размеры внутренних объемов КУНГа и кабины

Объем отсека КУНГа для размещения членов оперативно-выездной бригады:

$$V_{\text{КУНГа}} = 1,7 \cdot 2,25 \cdot 1,83 = 7 \text{ м}^3.$$

Объем кабины водителя:

$$V_{\text{кабины}} = 1,15 \cdot 1,540 \cdot 1,3 = 2,3 \text{ м}^3.$$

Поскольку отсеки 2 и 3 (см. рисунок 3.2) не имеют формы идеального параллелепипеда, их объемы будут несколько меньше с учетом скошенных внутренних поверхностей.

Для определения объема воздуха, находящегося в вышеупомянутых отсеках, необходимо учесть объем, занимаемый телами людей – водителя и членов оперативно-выездной бригады. В кабине водителя находятся два человека – водитель и производитель работ, а в КУНГе три человека – члены бригады [98]. Тогда объем воздуха ( $V_v$ ), который необходимо очищать в отсеке от оксида углерода, определяется по формуле:

$$V_v = V_{\text{КУНГа (кабины)}} - n \cdot V_h, \quad (3.1)$$

где  $n$  – количество людей в отсеке (КУНГе или кабине водителя);

$V_h$  – объем тела человека.

При определении объема тела человека  $V_h$  применялась методика, изложенная в [124]:

$$V_h = k_h \cdot m \cdot H_h, \quad (3.2)$$

где  $k_h$  — коэффициент пропорциональности:  $k_h = 5,51 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{кг}$  [124];

$m$  — масса человека, кг;

$H_h$  — рост человека, м.

Принимая средний рост человека (мужчина в возрасте 20-50 лет) 1,7 м, а массу (с одеждой) 80 кг, получаем:

$$V_h = 5,51 \cdot 10^{-4} \cdot 80 \cdot 1,7 = 0,75 \text{ м}^3.$$

Тогда объем воздуха в отсеке 2, требующий очистки от угарного газа:

$$V_{\text{в КУНГа}} = 7 - 3 \cdot 0,75 = 4,75 \text{ м}^3.$$

Объем воздуха в кабине водителя, требующий очистки:

$$V_{\text{в}} = 2,3 - 2 \cdot 0,75 = 0,8 \text{ м}^3.$$

Как указывалось в п. 2.5.1, в КУНГе размещаются два воздухоочистителя, а в кабине — один. Следовательно, объем воздуха, который должно очищать одно устройство, составляет  $2,4 \text{ м}^3$ . В дальнейших исследованиях эта величина для удобства расчетов была увеличена до  $2,5 \text{ м}^3$ .

Сам эксперимент по очистке воздуха от угарного газа проводился на установке, имитирующей отсек с коэффициентом пропорциональности, равном 2,5. Поскольку в отсутствие людей эксперимент в салоне КУНГа был бы не вполне корректным (объем очищаемого воздуха стал бы больше), а в присутствии людей данный эксперимент проводить опасно, решено было провести исследования с помощью сконструированной лабораторной установки (рисунок 3.5, 3.6). В качестве корпуса установки применялся пластиковый бак, выпускаемый компанией TARAPLASTIC [66]. Сам бак (артикул 7946) имеет форму, близкую к кубической, с размерами: длина 1200, ширина 1000, высота 1060 мм (см. рисунок 3.5). Масса изделия 65 кг; емкость оборудована поддоном, обрешеткой из металлической сетки, заливной горловиной и встроенным сливным краном. При этом внутренняя емкость бака составляет  $1 \text{ м}^3$ .

К крышке бака с внутренней стороны крепились сам воздухоочиститель и термометр (см. рисунок 3.6б). К баку был герметично прикреплен дополнительный патрубок 3 (см. рисунок 3.6а) для установки датчика концентрации оксида углерода.

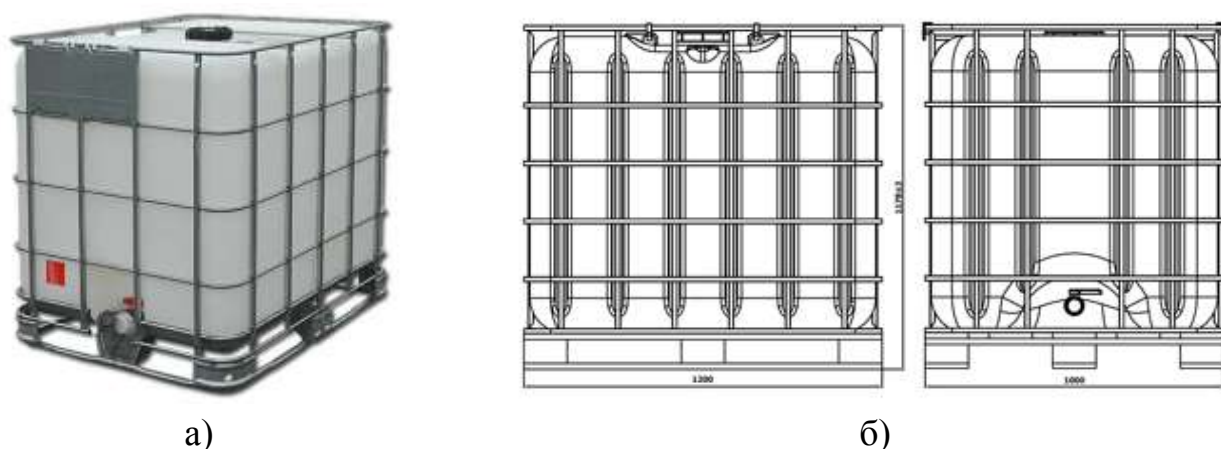


Рисунок 3.5 – Корпус бака для экспериментальной установки:  
а – внешний вид; б – габаритные размеры

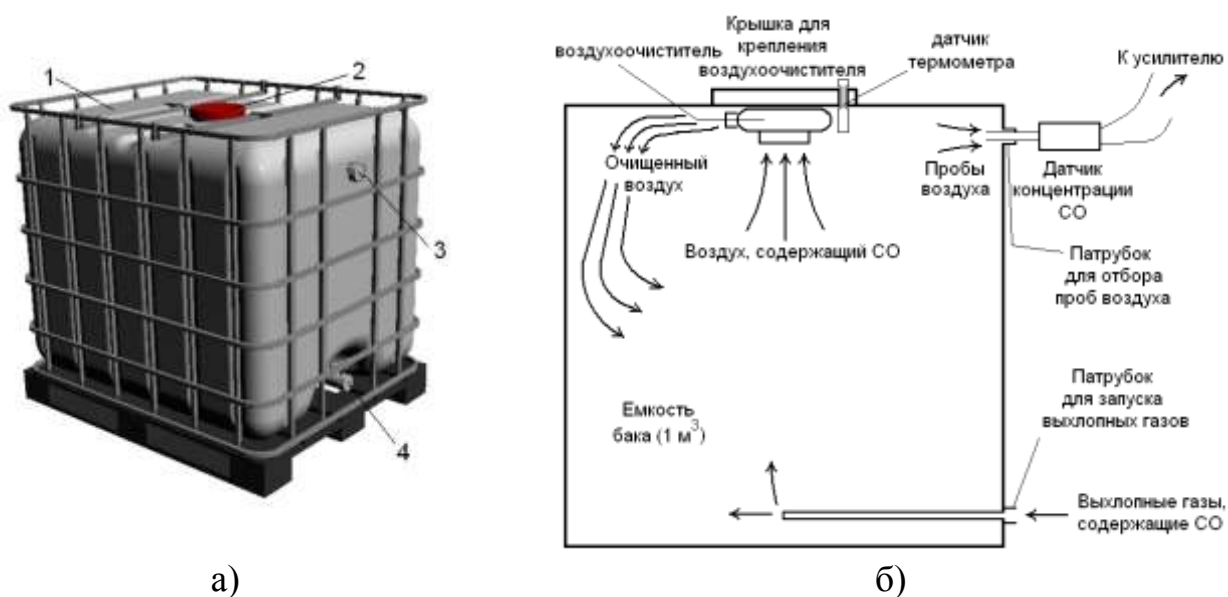


Рисунок 3.6 – Экспериментальная установка  
для исследования работы фотокаталитического воздухоочистителя:  
а – внешний вид (1 – бак; 2 – крышка для крепления воздухоочистителя;  
3 – патрубок для отбора проб воздуха; 4 – патрубок для запуска внутрь бака  
выхлопных газов автомобиля, содержащих оксид углерода);  
б – устройство экспериментальной установки

### 3.2 Общая методика экспериментальных исследований

При проведении экспериментов исследовались опытные образцы фотокаталитического воздухоочистителя с внутренними радиусами трубок-воздуховодов 6, 8 и 10 мм и длиной трубок 1, 1,25 и 1,5 м.

При экспериментальных исследованиях воздухоочистителей на ленту (осциллографную фотобумагу) фиксировались следующие параметры:

1. Концентрация угарного газа в баке экспериментальной установки;
2. Время.

Измеритель концентрации угарного газа FYA 600 CO фиксировал содержание оксида углерода в воздухе. Датчик крепился с помощью резьбового соединения на патрубке 3 (см. рисунок 3.6а). Время фиксировалось с помощью электронного секундомера «Интеграл С-01». Воздухоочиститель крепился неподвижно на внутренней поверхности крышки, закрывающей бак (см. рисунок 3.6а). Все резьбовые соединения герметизировались с помощью уплотнительных колец на основе латексной резины.

Подача отработанных газов, содержащих оксид углерода, осуществлялась с помощью поливинилхлоридного шланга, закрепленного хомутами на выхлопной трубе автомобиля ГАЗ-3307 (см. рисунок 3.1). Впуск газов в бак производился через патрубок 4 (см. рисунок 3.6а). На патрубке шланг закреплялся так же с помощью хомута.

В журнале наблюдений также регистрировались следующие параметры:

- время опыта –  $t$ ;
- температура окружающей среды –  $t_{\text{окр}}$ ;
- давление атмосферного воздуха –  $P_{\text{возд}}$ .

При выборе регистрирующей аппаратуры и методов измерений учитывались существующие требования и рекомендации [60, 61].

Для регистрации исследуемых параметров применялся осциллограф К12-22 с коммутационным оборудованием. Источником питания для осциллографа служили аккумуляторные батареи 6СТ-132.

### 3.3 Методика измерения исследуемых параметров

В соответствии с задачами экспериментальных исследований были определены методы измерений и выбрано места установки датчика.

Сигналы с датчика концентрации угарного газа поступали непосредственно на осциллограф К12-22 (рисунок 3.7а). Осциллограф К12-22 использовался в соответствии с инструкцией по эксплуатации и вместе с коммутационным оборудованием устанавливался вблизи от экспериментальной установки.

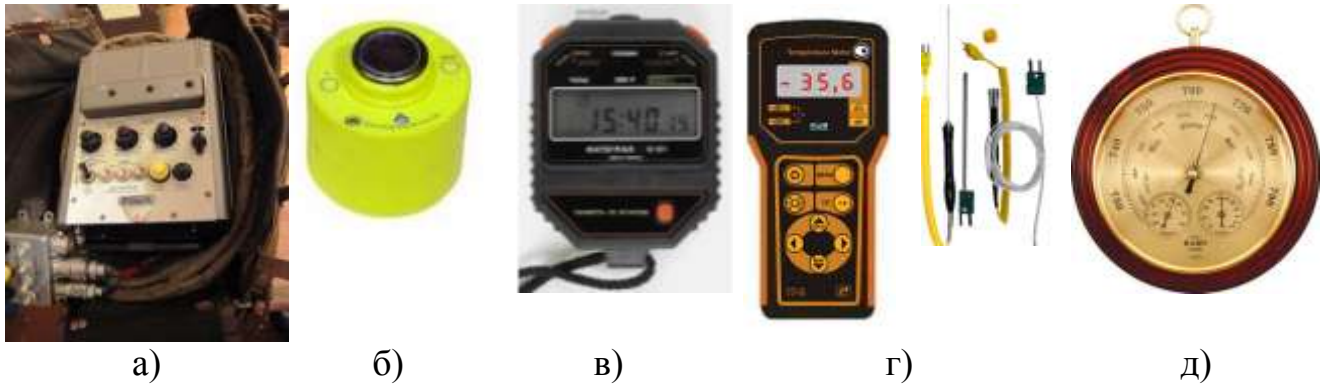


Рисунок 3.7 – Измерительная аппаратура:

а – осциллограф K12-22; б – датчик концентрации угарного газа FYA 600 CO;  
в – секундомер «Интеграл С-01»; г – термометр IT-8 с датчиками;  
д – барометр ПБ-8

Датчик концентрации угарного газа FYA 600 CO (рисунок 3.7б) предназначен для долгосрочных измерений концентрации угарного газа в воздухе в диапазонах от 0...150 ppm (0...187,45 мг/м<sup>3</sup>) с погрешностью не более 2%. Рабочая температура устройства –10...+40 °С (датчик имеет температурную компенсацию в пределах диапазона). Влажность воздуха, при которой датчик сохраняет требуемую погрешность измерений, в пределах 0...90%. Как показано на рис. 3.7б, датчик представляет собой цилиндр диаметром 80 мм и высотой 80 мм. Принцип действия датчика – электрохимическая реакция [53]. Согласно паспортным данным установочное время датчика не превышает 60 с. Напряжение датчик получает через входящий в комплект кабель длиной 1,5 м от измерительного устройства (усилителя) ALMEMO, при этом выходной ток колеблется в диапазоне 4...20 мА. Устройство ALMEMO подавало усиленный сигнал непосредственно на вход светолучевого осциллографа.

Время измерялось с помощью секундомера «Интеграл С-01» (рисунок 3.7в). Данный измерительный прибор индицирует на жидкокристаллическом табло «часы», «минуты», «секунды», «десятые» и «сотые» доли секунды (дискретность отчета времени 0,01 с). Предел допускаемого значения основной абсолютной погрешности  $\Delta_1$  секундомера в нормальных условиях эксплуатации при температуре окружающей среды  $(25 \pm 5) ^\circ\text{C}$  не превышает величины:

$$\Delta_1 = (9,6 \cdot 10^{-6} \cdot T_x + 0,01),$$

где  $T_x$  – значение измеренного интервала времени, с.

Предел допускаемой дополнительной абсолютной погрешности секундомера, вызванной отклонением температуры окружающей среды от нормальных условий в интервале рабочих температур от  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$  на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  отклонения температуры не превышает величины:

$$\Delta_2 = 2,2 \cdot 10^{-6} \cdot T_x.$$

Согласно паспортным данным, секундомер «Интеграл С-01» предназначен для измерения интервалов времени в научной и производственной деятельности, а также индикации текущего времени [109]. Измерительный прибор «Интеграл С-01» имеет Свидетельство «О поверке средств измерений» и внесен в Госреестр РФ под № 44154-10. Питание прибор получает от одного элемента питания типа СЦ32 18МО.080.010ТУ или V-386 Varta (диаметр 11,6 мм, высота 4,2 мм).

Температуру воздуха в исследуемом объеме измерялась с помощью термометра ИТ-8, оснащенного дистанционным датчиком (рис. 3.7г). Датчик термометра устанавливался непосредственно в крышке для крепления воздухоочистителя (см. рисунок 3.6б). Датчиком является термопреобразователь сопротивления с НСХ Pt1000 (ГОСТ 6651–2009) [27]. При работе с ним пределы допускаемой абсолютной основной погрешности прибора составляют  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Термометр имеет низкую дополнительную температурную погрешность за счет применения позолоченных соединителей датчиков – не более:  $\pm(0,1 + 0,0006T)\text{ }^{\circ}\text{C}$  на каждые  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  изменения температуры окружающей среды от температуры  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Электропитание прибора осуществляется от четырех элементов типа ААА с номинальным напряжением 1,5 В.

Атмосферное давление измерялось с помощью барометра ПБ-8 (рисунок 3.7д), с диапазоном измерения: 730...790 мм. рт. ст ( $9,7 \cdot 10^4 \dots 10,5 \cdot 10^4$  Па). Пределы допускаемой абсолютной основной погрешности прибора составляют  $\pm 1$  мм. рт. ст.

### 3.4. Подготовка и проведение экспериментальных исследований

Перед началом проведения испытаний и после их окончания проводилась тарировка датчика концентрации оксида углерода в воздухе. Для обеспечения

необходимой точности процесс измерения концентрации газа для максимального значения проводился по 5 раз (показания цифрового табло). Основная погрешность измерения концентрации газа составляет (по паспорту)  $\pm 2\%$  [53].

Время определялось с помощью электронного секундомера «Интеграл С-01».

Максимальная концентрация оксида углерода в объеме экспериментальной установки  $n_{\max} = 100 \text{ мг/м}^3$  выбиралась, исходя из требований проведения испытаний фильтрующих патронов «самоспасателей» при пожарах [25]. Данная концентрация составляет 5ПДК. Двигатель автомобиля включался и работал в течение примерно 10 минут, заполняя через соединительный шланг и патрубок 3 (см. рисунок 3.6а) емкость экспериментальной установки. В этот период измеритель концентрации оксида углерода подключался с помощью усилителя (цифровой выход) к табло ALMEMO, на жидкокристаллическом табло которого в реальном времени отображались значения концентрации газа. При достижении концентрации  $100 \text{ мг/м}^3$  происходило включение электронного секундомера и осциллографа, к аналоговому входу которого подавался сигнал от усилителя ALMEMO (аналоговый выход). В этот же момент оператор перекрывал патрубок, по которому через соединительный шланг от выхлопной трубы автомобиля подавался газ. По достижении времени измерения 50 минут происходило выключение осциллографа.

Чтобы получить высокую надежность опытов  $P_{\text{оп}}$  (не менее 0,95), количество повторностей опыта должно быть более трех [12]. Поэтому эксперименты проводились с пятикратной повторностью измерений.

Необходимая температура устанавливалась с помощью мобильной морозильной установки Schmitz Cargobull на базе рефрижератора Volvo (рисунок 3.8), а также с помощью нагревательной установки фирмы De'Longhi (рисунок 3.9). Температура определялась с помощью термометра IT-8 (см. рисунок 3.6б) с погрешностью измерения (по паспорту)  $\pm 1^\circ\text{C}$ .



а)



б)



в)

Рисунок 3.8 – Мобильная морозильная установка Schmitz Cargobull:  
а – автомобиль-рефрижератор фирмы Volvo; б – внутренний объем морозильной установки с экспериментальной установкой ; в – пульт управления морозильной установкой



Рисунок 3.9 – Экспериментальная установка в минисауне с нагревателем фирмы De'Longhi

Атмосферное давление фиксировалось перед началом и после проведения каждой серии измерений (пять повторов) с помощью барометра ПБ-8 с погрешностью измерения (по паспорту)  $\pm 1$  мм. рт. ст.

### 3.5. Методика обработки результатов экспериментов

Обработка результатов измерений производилась с учетом рекомендаций [12, 56, 64, 84, 97] в следующем порядке:

1. Результаты каждого измерения  $p_i$  записываются в таблицу.
2. Вычисляется среднее значение  $p_{cp}$  из  $m$  измерений
3. Находятся погрешности отдельных измерений  $\Delta p_i$

$$\Delta p_i = p_{cp} - p_i . \quad (3.3)$$

4. Вычисляются квадраты погрешностей отдельных измерений  $(\Delta n_i)^2$ .
5. При значительном отличии значений одного или двух измерений от остальных, требуется проверить их заново.
6. Определяется средняя квадратичная погрешность результата  $m$  измерений

$$\Delta S_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\Delta n_i)^2}{m(m-1)}}. \quad (3.4)$$

7. Задается значение надежности  $\alpha$  ( $\alpha = 0,95$ ).
8. Определяется коэффициент Стьюдента  $t_\alpha$  для заданной надежности  $\alpha$  и числа произведенных измерений.
9. Находятся границы доверительного интервала  $\Delta n$  (погрешность результата измерений)

$$\Delta n = t_\alpha \cdot \Delta S_a. \quad (3.5)$$

10. При погрешности результата измерений, сравнимой с величиной погрешности измерительного прибора, граница доверительного интервала определяется следующей зависимостью

$$\Delta n = \sqrt{t_\alpha^2 \cdot \Delta S_a^2 + \left(\frac{k_\alpha}{3}\right)^2 \cdot \delta^2}, \quad (3.6)$$

где  $k_\alpha \equiv t_\alpha(\infty)$ ;

$\delta$  – величина погрешности измерительного прибора.

11. Окончательный результат записывается в виде

$$n = n_{cp} \pm \Delta n. \quad (3.7)$$

12. Оценивается относительная погрешность результата измерений

$$\varepsilon = \frac{\Delta n}{n_{cp}} \cdot 100\%. \quad (3.8)$$

Для оценки точности опыта вычисляют предельную относительную ошибку опыта по известным правилам [12].

### 3.6 Выводы

1. Разработанная методика экспериментальных исследований фотокаталитического воздухоочистителя позволила исследовать снижение концентрации угарного газа в зависимости от длины трубки воздуховода и ее внутреннего диаметра в условиях различных температур (от  $-10$  до  $+40$  °C).
2. Для каждого значения температуры окружающей среды определялись рациональные значения длины и внутреннего радиуса трубки, соответствующие наиболее быстрому снижению концентрации оксида углерода до ПДК (от 100 до 20 мг/м<sup>3</sup>). Длина трубки изменялась от 1 до 1,5 м, с шагом 0,25 м, а внутренний радиус изменялся от 6 до 10 мм, с шагом 2 мм.
3. Эксперименты проводились с пятикратной повторностью, что обеспечило достаточно высокую надежность опытов (не менее 0,95). При этом предельная относительная погрешность измерений не превышала 2,0%.

#### 4 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЯ СО СВЕТОДИОДНОЙ ЛЕНТОЙ

Экспериментальные исследования проводились по методике, описанной выше, при температурах окружающей среды от  $-10$  до  $+40$  °С. Температура повышалась с шагом  $5$  °С. Данный температурный диапазон был выбран, исходя из средних температур каждого месяца в Челябинской области. При этом исключались самые низкие температуры года, поскольку автотранспорт ОБВ направляется зимой на задание из прогретого гаража или ангара, а в пути, учитывая работу обогревателей, воздух в салоне практически не может охладиться до температуры ниже  $-10$  °С. В летний период на солнцепеке воздух в салоне КУНГа, защищенном теплоизоляцией, не нагревается до температур выше  $+35...40$  °С.

В процессе проведения экспериментов атмосферное давление изменялось в незначительных пределах от величины  $741,2$  мм рт. ст ( $9,88 \cdot 10^4$  Па). Поэтому в дальнейших выкладках данный параметр более не упоминается.

##### 4.1 Результаты экспериментальных исследований по определению рациональных параметров фотокаталитического воздухоочистителя

Результаты экспериментальных исследований по определению рациональных параметров фотокаталитического воздухоочистителя обрабатывались с помощью системы MathCAD [37]. Для этого результаты экспериментов каждой серии были сведены в таблицы 4.1–4.9. Концентрация оксида углерода измерялась в  $\text{мг/м}^3$ . Температура окружающей среды изменялась от  $-10$  до  $+40$  °С. При этом мощность двигателя насоса воздухоочистителя оставалась постоянной в каждой серии экспериментов  $P_n = 12$  Вт. Время измерялось в минутах.

Для удобства восприятия на рисунках 4.1–4.9 приведены графики снижения концентрации СО каждой серии для крайних значений температурного диапазона измерений ( $-10$  и  $+40$  °С).

Таблица 4.1 – Результаты экспериментов при длине трубки воздухоочистителя 1 м и радиусе 6 мм

| Время измерения, мин             |     | 0   | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
|----------------------------------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Температура окружающей среды, °C | −10 | 100 | 72 | 41 | 31 | 29 | 28 | 27 | 25 | 24 | 23 | 20 |
|                                  | −5  | 100 | 70 | 40 | 30 | 28 | 27 | 26 | 24 | 23 | 21 | 20 |
|                                  | 0   | 100 | 68 | 39 | 29 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 20 |
|                                  | +5  | 100 | 66 | 37 | 27 | 25 | 24 | 23 | 22 | 20 | 18 | 15 |
|                                  | +10 | 100 | 64 | 35 | 25 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 17 | 16 |
|                                  | +15 | 100 | 62 | 33 | 23 | 21 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 |
|                                  | +20 | 100 | 60 | 31 | 21 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 |
|                                  | +25 | 100 | 58 | 29 | 20 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 |
|                                  | +30 | 100 | 56 | 28 | 19 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 12 |
|                                  | +35 | 100 | 52 | 27 | 18 | 16 | 15 | 14 | 14 | 13 | 12 | 11 |
| +40                              | 100 | 51  | 25 | 17 | 16 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 |    |

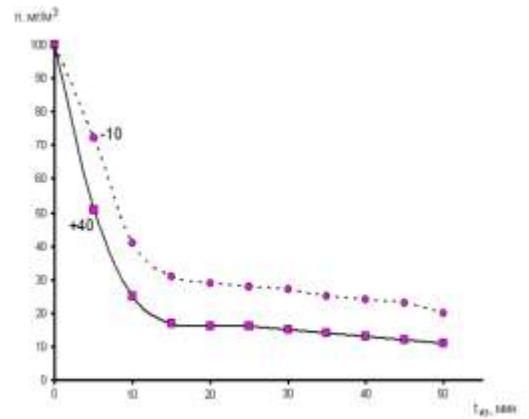


Рисунок 4.1 – Графики снижения концентрации CO при работе воздухоочистителя с длиной трубки 1 м и радиусом 6 мм (при температурах -10 °C и +40 °C)

Таблица 4.2 – Результаты экспериментов при длине трубки воздухоочистителя 1 м и радиусе 8 мм

| Время измерения, мин             |     | 0   | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
|----------------------------------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Температура окружающей среды, °C | -10 | 100 | 68 | 37 | 28 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 |
|                                  | -5  | 100 | 66 | 35 | 27 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 |
|                                  | 0   | 100 | 63 | 32 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 |
|                                  | +5  | 100 | 62 | 30 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 |
|                                  | +10 | 100 | 60 | 28 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 |
|                                  | +15 | 100 | 58 | 26 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 |
|                                  | +20 | 100 | 56 | 24 | 20 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 |
|                                  | +25 | 100 | 54 | 22 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 |
|                                  | +30 | 100 | 52 | 20 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 |
|                                  | +35 | 100 | 52 | 19 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 |
| +40                              | 100 | 50  | 18 | 17 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  |    |

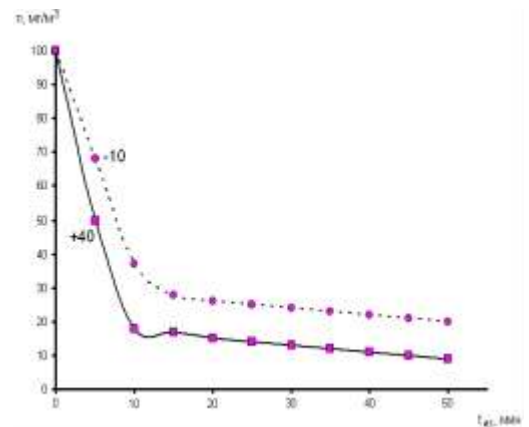


Рисунок 4.2 – Графики снижения концентрации CO при работе воздухоочистителя с длиной трубки 1 м и радиусом 8 мм (при температурах -10 °C и +40 °C)

Таблица 4.3 – Результаты экспериментов при длине трубки воздухоочистителя 1 м и радиусе 10 мм

| Время измерения, мин             |     | 0   | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
|----------------------------------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Температура окружающей среды, °С | −10 | 100 | 70 | 40 | 30 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 20 |
|                                  | −5  | 100 | 69 | 39 | 29 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 19 |
|                                  | 0   | 100 | 68 | 38 | 28 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 |
|                                  | +5  | 100 | 67 | 37 | 27 | 23 | 22 | 21 | 20 | 20 | 19 | 18 |
|                                  | +10 | 100 | 65 | 36 | 25 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 16 | 15 |
|                                  | +15 | 100 | 63 | 35 | 24 | 21 | 20 | 19 | 17 | 17 | 16 | 15 |
|                                  | +20 | 100 | 61 | 33 | 23 | 20 | 19 | 18 | 16 | 15 | 14 | 13 |
|                                  | +25 | 100 | 60 | 32 | 22 | 20 | 18 | 17 | 16 | 15 | 13 | 12 |
|                                  | +30 | 100 | 58 | 31 | 21 | 20 | 18 | 17 | 15 | 14 | 12 | 11 |
|                                  | +35 | 100 | 57 | 30 | 20 | 19 | 18 | 14 | 15 | 14 | 11 | 10 |
| +40                              | 100 | 55  | 29 | 19 | 17 | 17 | 13 | 13 | 12 | 11 | 10 |    |

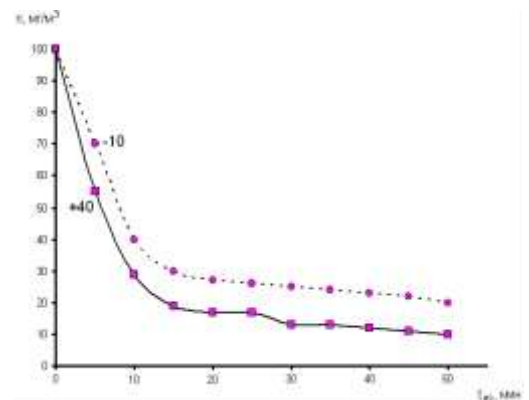


Рисунок 4.3 – Графики снижения концентрации CO при работе воздухоочистителя с длиной трубки 1 м и радиусом 10 мм (при температурах -10 °C и +40 °C)

Таблица 4.4 – Результаты экспериментов при длине трубки воздухоочистителя 1,25 м и радиусе 6 мм

| Время измерения, мин             |     | 0   | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
|----------------------------------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Температура окружающей среды, °C | −10 | 100 | 70 | 40 | 30 | 27 | 26 | 26 | 24 | 23 | 21 | 20 |
|                                  | −5  | 100 | 71 | 40 | 30 | 28 | 27 | 26 | 25 | 23 | 22 | 20 |
|                                  | 0   | 100 | 70 | 39 | 28 | 27 | 26 | 25 | 23 | 22 | 21 | 20 |
|                                  | +5  | 100 | 69 | 37 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 21 | 20 | 19 |
|                                  | +10 | 100 | 67 | 35 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 17 |
|                                  | +15 | 100 | 65 | 34 | 23 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 |
|                                  | +20 | 100 | 63 | 32 | 22 | 21 | 20 | 20 | 19 | 18 | 17 | 17 |
|                                  | +25 | 100 | 61 | 30 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 |
|                                  | +30 | 100 | 59 | 29 | 20 | 20 | 19 | 18 | 18 | 17 | 16 | 14 |
|                                  | +35 | 100 | 58 | 29 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 14 |
| +40                              | 100 | 57  | 28 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 |    |

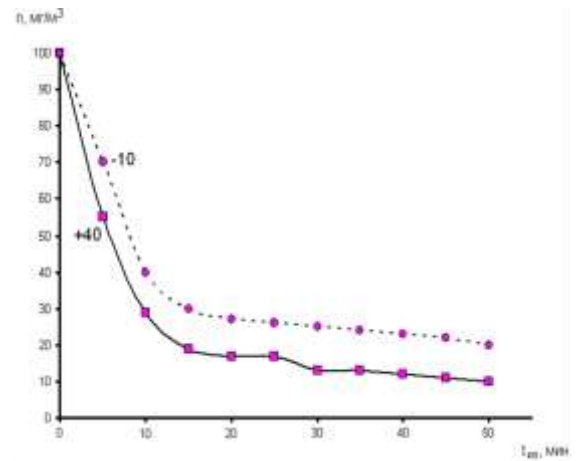


Рисунок 4.4 – Графики снижения концентрации CO при работе воздухоочистителя с длиной трубки 1,25 м и радиусом 6 мм (при температурах -10 °C и +40 °C)

Таблица 4.5 – Результаты экспериментов при длине трубки воздухоочистителя 1,25 м и радиусе 8 мм

| Время измерения, мин             |     | 0   | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
|----------------------------------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Температура окружающей среды, °C | −10 | 100 | 65 | 35 | 27 | 24 | 23 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 |
|                                  | −5  | 100 | 62 | 33 | 25 | 23 | 22 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 |
|                                  | 0   | 100 | 58 | 30 | 23 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 16 |
|                                  | +5  | 100 | 54 | 27 | 22 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 |
|                                  | +10 | 100 | 50 | 24 | 20 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 13 |
|                                  | +15 | 100 | 44 | 20 | 18 | 16 | 15 | 14 | 14 | 13 | 12 | 11 |
|                                  | +20 | 100 | 41 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 |
|                                  | +25 | 100 | 38 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  |
|                                  | +30 | 100 | 35 | 17 | 16 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  |
|                                  | +35 | 100 | 33 | 17 | 16 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  |
| +40                              | 100 | 31  | 16 | 15 | 14 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  |    |

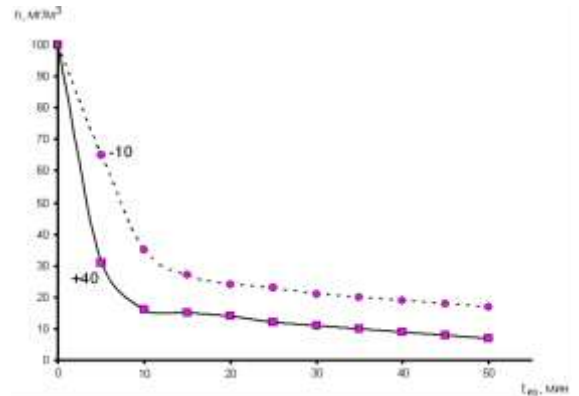


Рисунок 4.5 – Графики снижения концентрации CO при работе воздухоочистителя с длиной трубки 1,25 м и радиусом 8 мм (при температурах -10 °C и +40 °C)

Таблица 4.6 – Результаты экспериментов при длине трубки воздухоочистителя 1,25 м и радиусе 10 мм

| Время измерения, мин             | 0   | 5   | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |    |
|----------------------------------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Температура окружающей среды, °C | −10 | 100 | 65 | 37 | 28 | 25 | 24 | 22 | 21 | 20 | 19 | 19 |
|                                  | −5  | 100 | 64 | 35 | 27 | 25 | 23 | 22 | 20 | 19 | 18 | 17 |
|                                  | 0   | 100 | 61 | 33 | 25 | 24 | 22 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 |
|                                  | +5  | 100 | 59 | 31 | 24 | 23 | 21 | 20 | 18 | 17 | 16 | 15 |
|                                  | +10 | 100 | 56 | 28 | 22 | 21 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 |
|                                  | +15 | 100 | 54 | 27 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 14 |
|                                  | +20 | 100 | 52 | 25 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 |
|                                  | +25 | 100 | 50 | 23 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 12 |
|                                  | +30 | 100 | 48 | 22 | 19 | 18 | 17 | 15 | 13 | 12 | 11 | 10 |
|                                  | +35 | 100 | 47 | 21 | 19 | 17 | 16 | 14 | 12 | 11 | 10 | 9  |
| +40                              | 100 | 46  | 20 | 18 | 17 | 15 | 13 | 11 | 10 | 9  | 8  |    |

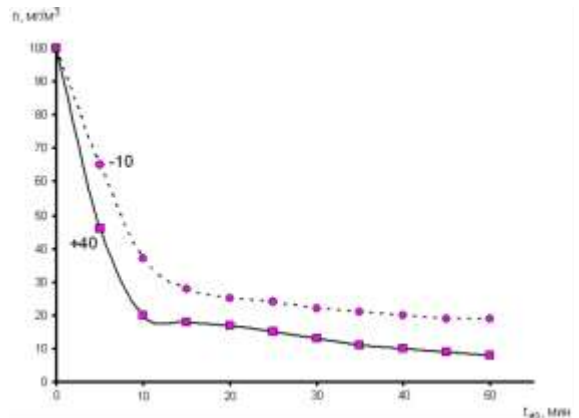


Рисунок 4.6 – Графики снижения концентрации CO при работе воздухоочистителя с длиной трубки 1,25 м и радиусом 10 мм (при температурах -10 °C и +40 °C)

Таблица 4.7 – Результаты экспериментов при длине трубки воздухоочистителя 1,5 м и радиусе 6 мм

| Время измерения, мин             |     | 0   | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
|----------------------------------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Температура окружающей среды, °C | -10 | 100 | 67 | 37 | 28 | 26 | 25 | 14 | 22 | 21 | 20 | 19 |
|                                  | -5  | 100 | 65 | 36 | 27 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 19 | 18 |
|                                  | 0   | 100 | 63 | 35 | 25 | 24 | 23 | 21 | 20 | 19 | 18 | 18 |
|                                  | +5  | 100 | 61 | 33 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 |
|                                  | +10 | 100 | 58 | 31 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 |
|                                  | +15 | 100 | 56 | 28 | 21 | 20 | 18 | 17 | 16 | 16 | 15 | 15 |
|                                  | +20 | 100 | 54 | 26 | 20 | 19 | 18 | 17 | 15 | 14 | 13 | 12 |
|                                  | +25 | 100 | 52 | 25 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 11 |
|                                  | +30 | 100 | 50 | 24 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 10 |
|                                  | +35 | 100 | 48 | 23 | 18 | 16 | 15 | 14 | 12 | 11 | 10 | 10 |
| +40                              | 100 | 47  | 22 | 17 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9  | 8  |    |

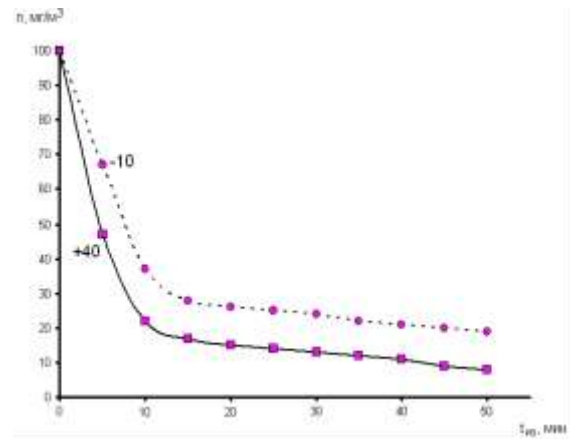


Рисунок 4.7 – Графики снижения концентрации СО при работе воздухоочистителя с длиной трубки 1,5 м и радиусом 6 мм (при температурах -10 °C и +40 °C)

Таблица 4.8 – Результаты экспериментов при длине трубки воздухоочистителя 1,5 м и радиусе 8 мм

| Время измерения, мин             |     | 0   | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
|----------------------------------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Температура окружающей среды, °C | -10 | 100 | 60 | 31 | 23 | 21 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 15 |
|                                  | -5  | 100 | 57 | 29 | 22 | 20 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 |
|                                  | 0   | 100 | 53 | 25 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 |
|                                  | +5  | 100 | 50 | 22 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 |
|                                  | +10 | 100 | 45 | 19 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 |
|                                  | +15 | 100 | 41 | 17 | 15 | 14 | 13 | 12 | 12 | 11 | 10 | 9  |
|                                  | +20 | 100 | 37 | 16 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  |
|                                  | +25 | 100 | 34 | 15 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  |
|                                  | +30 | 100 | 32 | 14 | 12 | 11 | 10 | 10 | 8  | 7  | 6  | 6  |
|                                  | +35 | 100 | 30 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 6  | 5  |
| +40                              | 100 | 27  | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  | 8  | 7  | 5  | 5  |    |

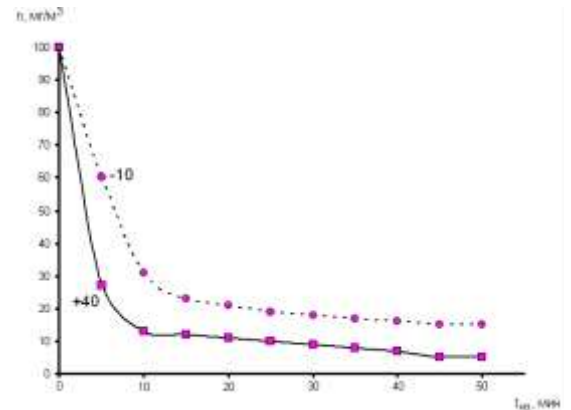


Рисунок 4.8 - Графики снижения концентрации СО при работе воздухоочистителя с длиной трубки 1,5 м и радиусом 8 мм (при температурах -10 °C и +40 °C)

Таблица 4.9 – Результаты экспериментов при длине трубки воздухоочистителя 1,5 м и радиусе 10 мм

| Время измерения, мин             |     | 0   | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
|----------------------------------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Температура окружающей среды, °C | -10 | 100 | 61 | 34 | 25 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 |
|                                  | -5  | 100 | 60 | 34 | 25 | 21 | 20 | 20 | 18 | 17 | 16 | 16 |
|                                  | 0   | 100 | 59 | 33 | 24 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 |
|                                  | +5  | 100 | 57 | 33 | 24 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 16 |
|                                  | +10 | 100 | 55 | 30 | 22 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 |
|                                  | +15 | 100 | 54 | 29 | 21 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 |
|                                  | +20 | 100 | 52 | 27 | 20 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 |
|                                  | +25 | 100 | 52 | 26 | 19 | 18 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 |
|                                  | +30 | 100 | 50 | 25 | 18 | 17 | 15 | 14 | 13 | 13 | 12 | 11 |
|                                  | +35 | 100 | 48 | 24 | 18 | 17 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 |
| +40                              | 100 | 47  | 24 | 17 | 16 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9  |    |

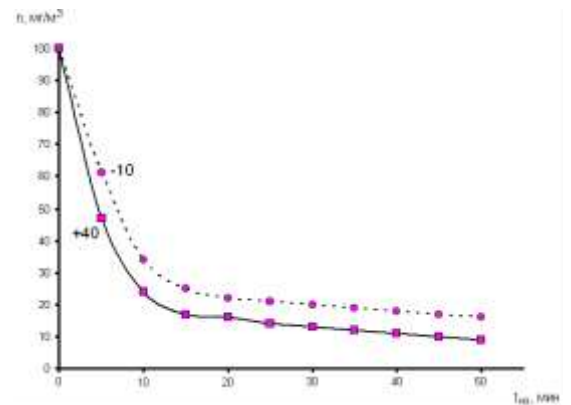


Рисунок 4.9 - Графики снижения концентрации СО при работе воздухоочистителя с длиной трубки 1,5 м и радиусом 10 мм (при температурах -10 °C и +40 °C)

Анализ экспериментальных данных показывает, что каталитическая активность диоксида титана возрастает с ростом температуры окружающей среды – время достижения того или иного значения концентрации угарного газа уменьшается. Это не противоречит ранее проведенным исследованиям, посвященным связи каталитической активности соединения и температуры.

Как видно из графиков, все кривые могут быть аппроксимированы степенной функцией вида

$$y = a x^{-b}, \quad (4.1)$$

где  $y$  – концентрация  $\text{CO}$ ,  $\text{мг/м}^3$ ;

$x$  – время работы воздухоочистителя, мин;

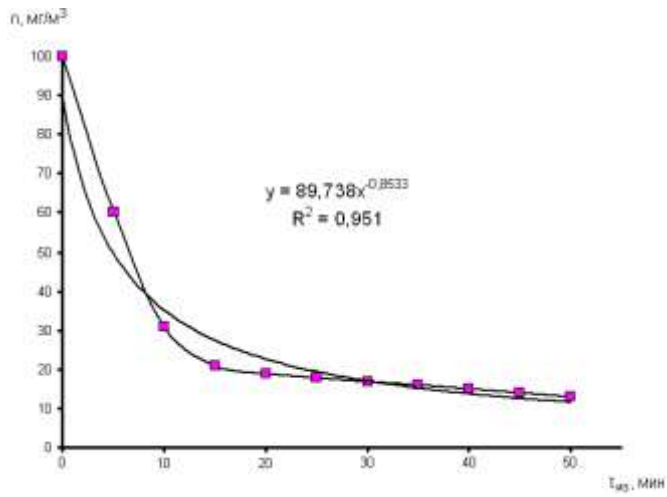
$a$  и  $b$  – постоянные коэффициенты.

На основании данных таблицы 4.1 найдем уравнение регрессии, описывающее зависимость концентрации оксида углерода от времени работы воздухоочистителя с помощью системы MathCAD. Для этого зададим столбцы исходных данных ( $t_{\text{из}} = X$ ) и результатов ( $n = Y$ ). Ниже дан пример для следующей серии экспериментов – длина трубки 1 м, радиус 6 мм, температура  $+20^\circ\text{C}$  (данная температура считается комфортной):

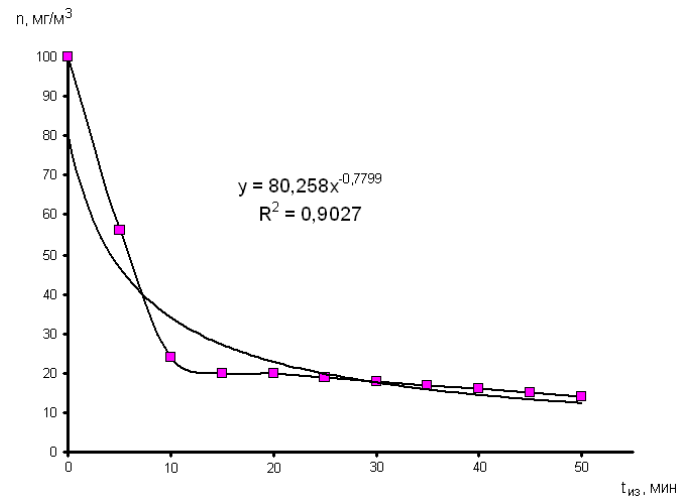
$$X := \begin{bmatrix} 0 \\ 5 \\ 10 \\ 15 \\ 20 \\ 25 \\ 30 \\ 35 \\ 40 \\ 45 \\ 50 \end{bmatrix} \quad Y := \begin{bmatrix} 100 \\ 60 \\ 31 \\ 21 \\ 19 \\ 18 \\ 17 \\ 16 \\ 15 \\ 14 \\ 13 \end{bmatrix}$$

С помощью встроенных операторов проведем степенную регрессию и найдем коэффициенты регрессии  $a$  и  $b$ . Для данного примера:  $a = 89,738$ ;  $b = 0,8533$ . Тогда уравнение регрессии примет вид:

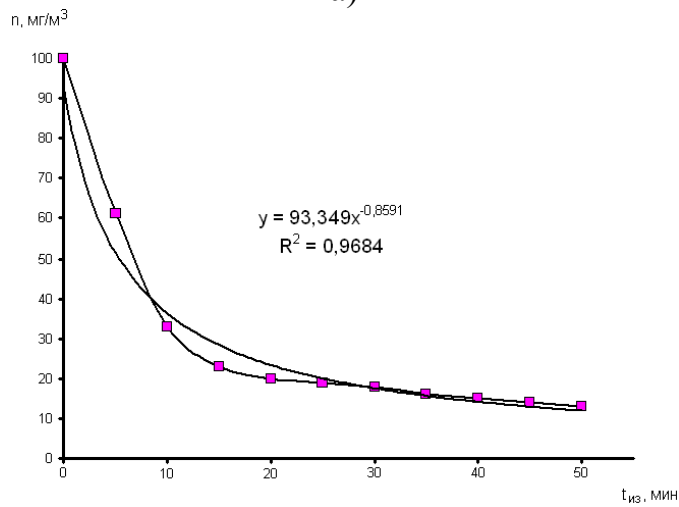
$$y = 89,738 \cdot x^{-0,8533}.$$



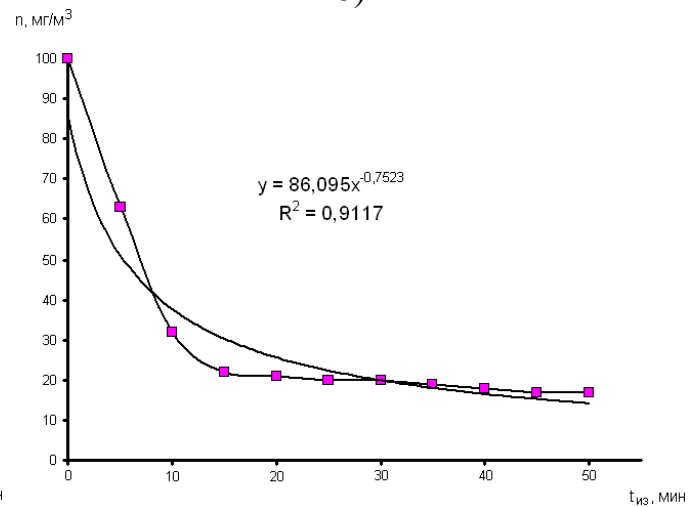
а)



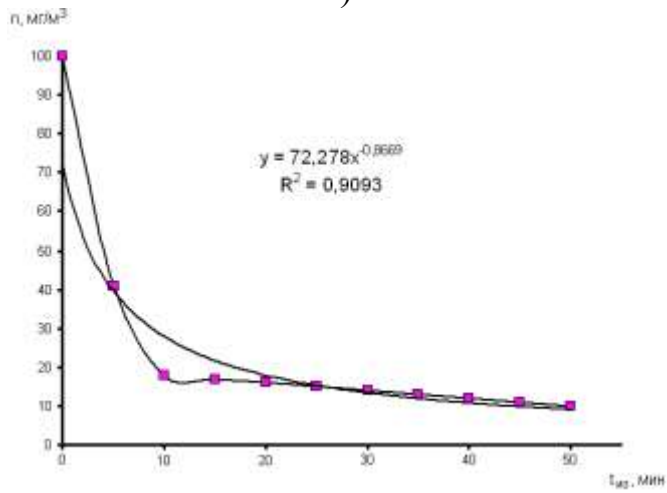
б)



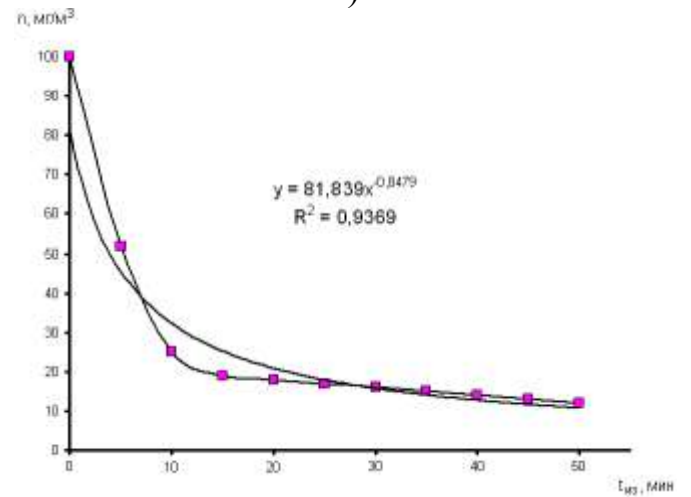
в)



г)



д)



е)

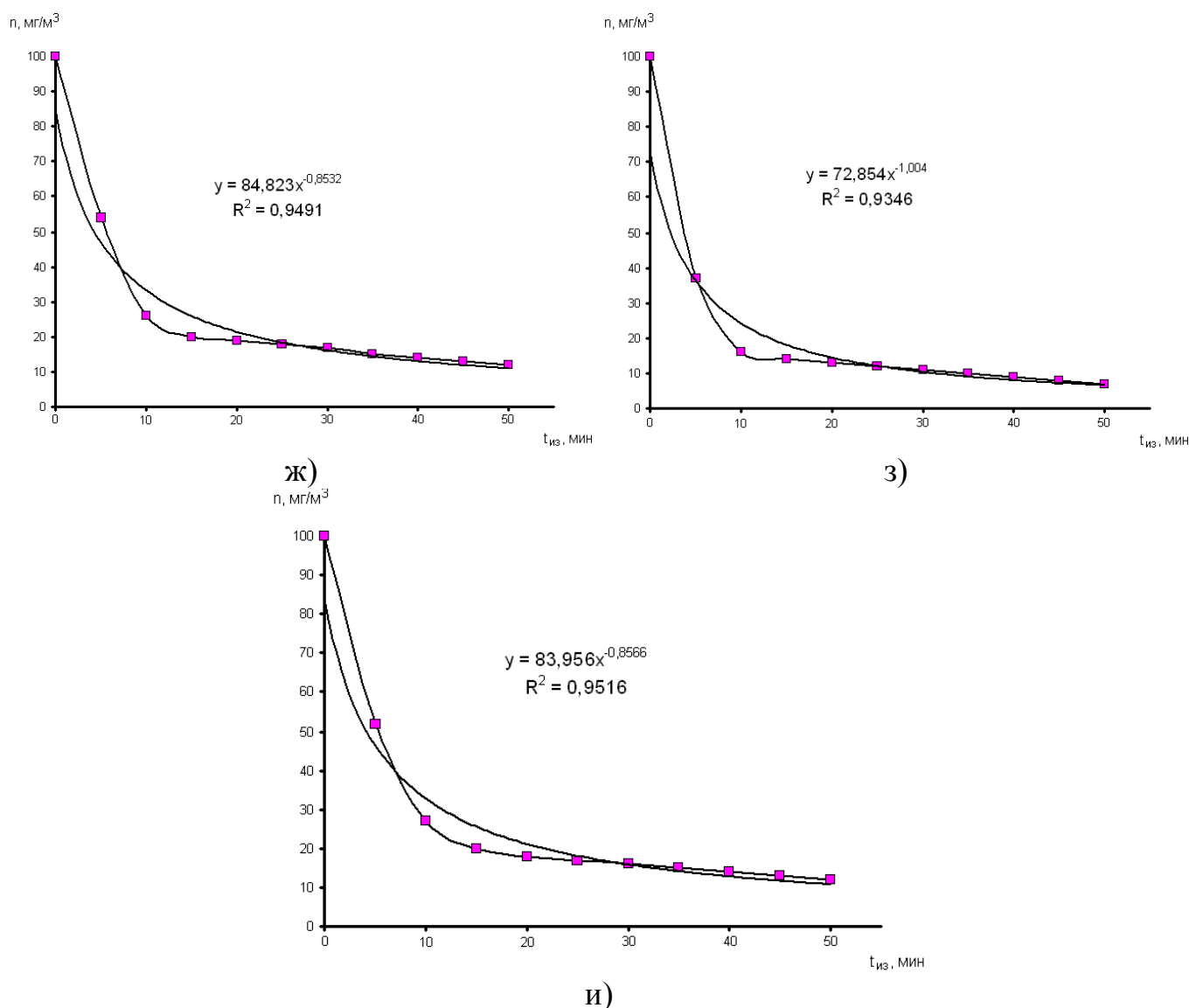


Рисунок 4.10 – Зависимость снижения концентрации СО при работе воздухоочистителя при температуре 20 °С:

—■— — средние значения по результатам эксперимента;  
 ————— — по уравнению регрессии:

- а – с длиной трубки 1 м и радиусом 6 мм; б – с длиной 1 м и радиусом 8 мм;  
 в – с длиной 1 м и радиусом 10 мм; г – с длиной 1,25 м и радиусом 6 мм;  
 д – с длиной 1,25 м и радиусом 8 мм; е – с длиной 1,25 м и радиусом 10 мм;  
 ж – с длиной 1,5 м и радиусом 6 мм; з – с длиной 1,5 м и радиусом 8 мм;  
 и – с длиной трубки 1,5 м и радиусом 10 мм

Критерием достоверности аппроксимации является, среди прочих, величина достоверности аппроксимации  $R^2$  [37, 79]. Степенная функция типа (4.1) аппроксимирует экспериментальные данные с  $R^2 = 0,90$  и выше. Подобную величину можно получить с помощью полинома 3-й и более высоких степеней. Данный полином достаточно трудно использовать для определения искомых

параметров. Поэтому уравнения регрессии обрабатываемых данных приняты степенными. На рисунке 4.10а–и приведены примеры нескольких серий экспериментов с уравнениями регрессии и их графиками (при температуре 20 °С, комфортной для персонала).

Найдем с помощью уравнений регрессии время достижения ПДК в каждой серии экспериментов. Для этого необходимо, преобразуя формулу (4.1), решить следующее уравнение:

$$x = \left( \frac{a}{y} \right)^{\frac{1}{b}}, \quad (4.2)$$

где  $y = 20 \text{ мг/м}^3$ , т.е. ПДК оксида углерода в воздухе рабочей зоны.

С помощью системы MathCAD вычислены все значения времени для всех серий экспериментов и сведены в таблицу 4.10.

Таблица 4.10 – Время достижения ПДК СО, мин, при работе воздухоочистителя

| Температура,<br>°С | Серия экспериментов* |       |       |        |       |       |       |       |       |
|--------------------|----------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                    | 1                    | 2     | 3     | 4      | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |
| -10                | 10,637               | 9,278 | 9,87  | 10,156 | 7,704 | 8,359 | 8,866 | 6,299 | 7,082 |
| -5                 | 9,938                | 8,633 | 9,205 | 9,827  | 7,153 | 7,799 | 8,435 | 5,809 | 6,795 |
| 0                  | 9,837                | 7,985 | 8,707 | 9,482  | 6,608 | 7,186 | 7,732 | 5,279 | 6,621 |
| 5                  | 7,936                | 7,43  | 7,902 | 8,913  | 6,05  | 6,75  | 7,477 | 4,882 | 6,243 |
| 10                 | 7,378                | 6,91  | 6,973 | 8,041  | 5,307 | 6,121 | 6,955 | 4,479 | 6,116 |
| 15                 | 6,277                | 6,424 | 6,62  | 7,591  | 4,667 | 5,716 | 5,984 | 4,017 | 5,725 |
| 20                 | 5,808                | 5,94  | 6,009 | 6,961  | 4,402 | 5,269 | 5,438 | 3,624 | 5,337 |
| 25                 | 5,425                | 5,221 | 5,765 | 6,23   | 4,088 | 4,95  | 5,215 | 3,373 | 5,043 |
| 30                 | 5,133                | 4,853 | 5,505 | 6,131  | 3,85  | 4,783 | 4,878 | 3,187 | 4,844 |
| 35                 | 4,907                | 4,555 | 5,211 | 5,788  | 3,818 | 4,512 | 4,527 | 3,096 | 4,683 |
| 40                 | 4,897                | 4,287 | 4,887 | 5,703  | 3,583 | 4,26  | 4,276 | 3,031 | 4,415 |

\* Работа воздухоочистителя с длиной трубки:

- 1 – 1 м, радиус 6 мм;
- 2 – 1 м, радиус 8 мм;
- 3 – 1 м, радиус 10 мм;
- 4 – 1,25 м, радиус 6 мм;
- 5 – 1,25 м, радиус 8 мм;
- 6 – 1,25 м, радиус 10 мм;
- 7 – 1,5 м, радиус 6 мм;
- 8 – 1,5 м, радиус 8 мм;
- 9 – 1,5 м, радиус 10 мм

Как показывают построенные по уравнениям регрессии графики (рис. 4.10а–и), в каждой серии экспериментов время, при котором в исследуемом объеме достигается ПДК оксида углерода, различается в зависимости от температуры окружающей среды. Необходимо отметить, что при повышении температуры время достижения ПДК уменьшается во всех случаях. Это, очевидно, связано с увеличением каталитической активности слоя диоксида титана, поскольку интенсивность потока ультрафиолетовых лучей от каждого светодиода ленты не изменяется в зависимости от температуры (в рабочем диапазоне). К примеру, при работе воздухоочистителя с длиной трубки 1 м и радиусом 6 мм время достижения ПДК оксида углерода при температуре  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  составило 10,6 мин, а при температуре  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 4,897 мин. Таким образом, подтверждена зависимость фотокаталитической активности диоксида титана от температуры окружающей среды [1, 107, 145].

С помощью системы MathCAD обработаны данные, приведенные в таблице 4.10, и построена поверхность отклика (рисунок 4.19). Анализ данных показал, что наименьшее для всех температур время достижения ПДК – при работе воздухоочистителя с длиной трубки 1,5 м и радиусом 8 мм. К примеру, при температуре  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  время составило 6,3 мин, а при температуре  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 3,03 мин. При комфортной температуре  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  время работы воздухоочистителя до достижения ПДК по угарному газу составило 3,62 мин.

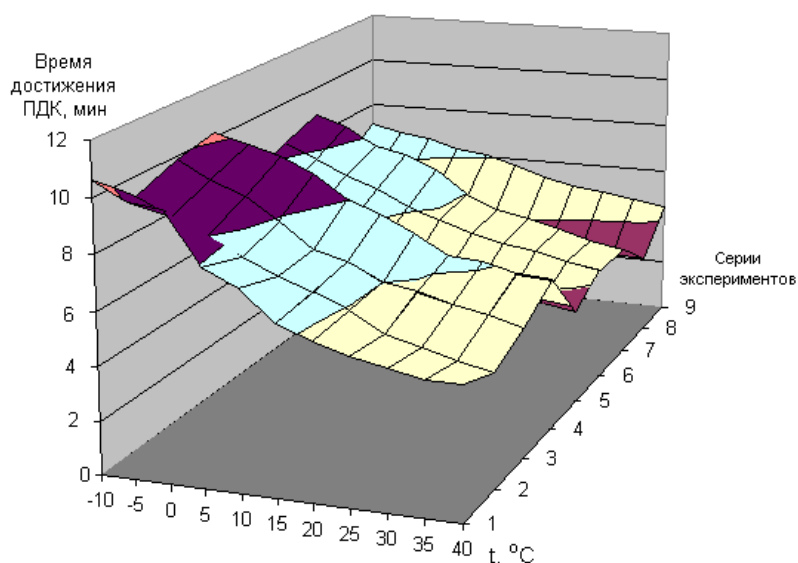


Рисунок 4.19 – Поверхность отклика, полученная с помощью уравнений регрессии

Таким образом, экспериментально удалось определить геометрические размеры воздухоочистителя, при которых время достижения ПДК оксида углерода является минимальным: длина трубки 1 м 50 см, диаметр 8 мм.

Для определения времени достижения ПДК непосредственно при работе воздухоочистителя в салоне кабины и КУНГе автомобиля воспользуемся коэффициентом пропорциональности, обоснованном в п. 3.1. Коэффициент этот равен 2,5, следовательно, время достижения ПДК по угарному газу в реальном автомобиле составит (при температуре +20 °C) 9,06 мин.

#### 4.2 Проверка воспроизводимости опытов

Проверка воспроизводимости опытов проводилась в следующей последовательности [56]:

1. Находим среднеарифметическое  $n_{e\text{ ср}}$  из  $m$  повторностей ( $m = 5$ ):
2. Находим квадраты отклонений  $(n_{ei} - n_{e\text{ нд}})^2$  по пяти повторностям.
3. В каждой строке находим сумму квадратов отклонений:

$$\sum_{i=1}^m (n_{ei} - n_{e\text{ нд}})^2 = \sum_{i=1}^m \Delta n_e^2. \quad (4.3)$$

4. Находим построчную дисперсию  $S_n^2$ :

$$S_m^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m \Delta n_e^2. \quad (4.4)$$

5. Находим сумму построчных дисперсий  $\sum_{n=1}^N S_n^2$  для  $N$  опытов ( $N = 55$ ).

6. Определяем расчетное значение критерия Кохрена:

$$n_{\text{max}} = \frac{S_{n\text{ max}}^2}{\sum_{i=1}^m S_n^2}, \quad (4.5)$$

где  $S_{n\text{ max}}^2$  – максимальное значение  $S_n^2$  из всех строчек.

Расчетное значение  $n_{\text{max}}$  равно 0,058.

Полученное значение критерия Кохрена сравнивается с табличным. Если опыт воспроизводим, то  $p_{\max} \leq p_{\max \text{ табл.}}$ . Если условие не выполняется, то опыт не воспроизводим и его результатам доверять нельзя.

Для определения табличного значения критерия Кохрена предварительно находим число степеней свободы  $\gamma_1 = m - 1 = 5 - 1 = 4$ , а  $\gamma_2 = N = 55$ .

В результате  $p_{\max \text{ табл.}} = 0,74$ .

Поскольку  $0,74 > 0,058$ , то опыты воспроизводимы и их результатам можно доверять.

#### 4.3 Оценка экономической эффективности использования фотокаталитического воздухоочистителя

Результаты теоретических и экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что очистка воздуха от угарного газа позволяет улучшить условия и безопасность труда персонала ОВБ. Под оптимальными параметрами разработанного фотокаталитического воздухоочистителя принимаются такие, при сочетании которых выбранный критерий эффективности, а именно время достижения ПДК оксида углерода, достигает минимума. Поэтому оценка экономической эффективности применения фотокаталитического воздухоочистителя в салонах кабин и КУНГах автомобилей ОВБ производилась с учетом известных рекомендаций [130].

Как уже указывалось выше, внедрение разработанного устройства приведет к снижению производственно-обусловленной заболеваемости работников, включая производственный травматизм. Формирующийся при этом экономический эффект традиционными методами определить достаточно сложно из-за нестационарности рабочего места водителя и персонала ОВБ в целом. Поэтому оценивать экономическую эффективность мероприятий по безопасности и охране труда предлагается на основе интегральной оценки условий труда, позволяющей выделять из всей заболеваемости работников ту заболеваемость, которая связана с производством [6].

Специалистами разработаны многочисленные методики расчета экономического эффекта, учитывающие последствия внедрения нового оборудования. Данные методики учитывают как получаемую экономию от внедрения, так и формирующиеся затраты. Для определения экономического эффекта  $\mathcal{E}_r$  используется следующее выражение

$$\mathcal{E}_r = B_3 \cdot (P_6 - P_n), \quad (4.8)$$

где  $B_3$  – годовая наработка предлагаемого устройства в условиях данной природно-климатической зоны, ед. наработки/год;

$P_6$  и  $P_n$  – приведенные затраты на единицу наработки базового и нового варианта, соответственно, руб./ед. наработки.

Приведенные затраты учитывают объем капитальных вложений и прямых эксплуатационных издержек

$$P = I + E \cdot K, \quad (4.9)$$

где  $I$  – прямые эксплуатационные издержки на единицу наработки, руб./ед.наработки;

$E$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (для энергетики  $E = 0,15$ );

$K$  – капитальные вложения на единицу наработки, руб./ед.наработки;

$$I = Z + P, \quad (4.10)$$

где  $Z$  – затраты на оплату труда, руб./ед. наработки;

$P$  – затраты на реновацию, техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонты, руб./ед. наработки.

Однако при определении экономического эффекта необходимо учитывать составляющую, формирующуюся при улучшении условий и охраны труда. Внедрение разработки понижает класс условий труда и класс травмобезопасности, а следовательно, повышает уровень безопасности работников в целом. Повышение уровня безопасности ведет к снижению производственно-обусловленной заболеваемости работников, включая

производственный травматизм. Чем меньше работник вследствие травмы либо заболевания находится на больничном, тем больше времени он трудится на своем рабочем месте, и тем выше его производительность труда. Таким образом формируется дополнительный экономический эффект.

Данный эффект можно определить при помощи методики интегральной оценки условий труда на основе норматива потерь рабочего времени от заболеваемости с временной утратой трудоспособности [6]. Поскольку данная методика позволяет определять производственно-обусловленную заболеваемость работников, на рабочих местах которых внедряется разработка, ее можно применить для оценки экономической эффективности при улучшении условий труда. Для этого необходим сбор статистических данных о количестве дней нетрудоспособности работников организации до внедрения разработки (фотокаталитического воздухоочистителя), и после. Это позволит определить нормативную и фактическую временные утраты трудоспособности работников [6].

Нормативная и фактическая временные утраты трудоспособности работников до внедрения фотокаталитического воздухоочистителя определяются с помощью выражений

$$\text{ВУТ}_n^{\text{д}} = \sum_{i=1}^n \text{ВУТ}_{ni}^{\text{д}}, \quad (4.11)$$

$$\text{ВУТ}_f^{\text{д}} = \sum_{i=1}^n \text{ВУТ}_{fi}^{\text{д}}, \quad (4.12)$$

где  $\text{ВУТ}_n^{\text{д}}$  – суммарная нормативная временная утрата трудоспособности работников, чел.·дней/год;

$\text{ВУТ}_f^{\text{д}}$  – суммарная фактическая временная утрата трудоспособности работников, чел.·дней/год;

$\text{ВУТ}_{ni}^{\text{д}}$  – нормативная временная утрата трудоспособности  $i$ -го работника, чел.·дней/год;

$\text{ВУТ}_{\phi i}^{\text{д}}$  – фактическая временная утрата трудоспособности  $i$ -го работника, чел.·дней/год;  $n$  – количество работников в ОВБ, чел.

Исходя из выражений (4.11) и (4.12), определим сверхнормативную (производственно-обусловленную) заболеваемость работников до внедрения разработки  $\text{ВУТ}_{\text{сн}}^{\text{д}}$

$$\text{ВУТ}_{\text{сн}}^{\text{д}} = \text{ВУТ}_{\phi}^{\text{д}} - \text{ВУТ}_{\text{н}}^{\text{д}} = \sum_{i=1}^n \text{ВУТ}_{\phi i}^{\text{д}} - \sum_{i=1}^n \text{ВУТ}_{\text{н}i}^{\text{д}}. \quad (4.13)$$

Отсюда средняя производственно-обусловленная заболеваемость  $\text{ВУТ}_{\text{сред}}^{\text{д}}$

$$\text{ВУТ}_{\text{сред}}^{\text{д}} = \frac{\text{ВУТ}_{\text{сн}}^{\text{д}}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{ВУТ}_{\phi i}^{\text{д}} - \sum_{i=1}^n \text{ВУТ}_{\text{н}i}^{\text{д}}}{n}. \quad (4.14)$$

Эти же выражения позволяют определить нормативную и фактическую временные утраты трудоспособности работников организации после внедрения разработки

$$\text{ВУТ}_{\text{н}}^{\text{п}} = \sum_{i=1}^m \text{ВУТ}_{\text{н}i}^{\text{п}}, \quad (4.15)$$

$$\text{ВУТ}_{\phi}^{\text{п}} = \sum_{i=1}^m \text{ВУТ}_{\phi i}^{\text{п}}, \quad (4.16)$$

где  $\text{ВУТ}_{\text{н}}^{\text{п}}$  – суммарная нормативная временная утрата трудоспособности работников, чел.·дней/год;

$\text{ВУТ}_{\phi}^{\text{п}}$  – суммарная фактическая временная утрата трудоспособности работников, чел.·дней/год;

$\text{ВУТ}_{\text{н}i}^{\text{п}}$  – нормативная временная утрата трудоспособности  $i$ -го работника, чел.·дней/год;

$\text{ВУТ}_{\phi i}^{\text{п}}$  – фактическая временная утрата трудоспособности  $i$ -го работника, чел.·дней/год;  $m$  – количество работников в ОВБ, чел.

Из выражений (4.15) и (4.16) определяется сверхнормативная (производственно-обусловленная) заболеваемость работников после внедрения разработки  $ВУТ_{сн}^п$

$$ВУТ_{сн}^п = ВУТ_{ф}^п - ВУТ_{н}^п = \sum_{i=1}^m ВУТ_{\phi i}^п - \sum_{i=1}^m ВУТ_{н i}^п. \quad (4.17)$$

Формула (4.17) позволяет определить среднюю производственно-обусловленную заболеваемость  $ВУТ_{ср}^п$  после внедрения воздухоочистителя

$$ВУТ_{ср}^п = \frac{ВУТ_{сн}^п}{m} = \frac{\sum_{i=1}^m ВУТ_{\phi i}^п - \sum_{i=1}^m ВУТ_{н i}^п}{m}. \quad (4.18)$$

С учетом выражений (4.14) и (4.18) снижение средней сверхнормативной (производственно-обусловленной) заболеваемости после внедрения разработки  $ВУТ_{ср}$  определяется следующим образом

$$ВУТ_{ср} = ВУТ_{ср}^д - ВУТ_{ср}^п = \frac{\sum_{i=1}^n ВУТ_{\phi i}^д - \sum_{i=1}^n ВУТ_{н i}^д}{n} - \frac{\sum_{i=1}^m ВУТ_{\phi i}^п - \sum_{i=1}^m ВУТ_{н i}^п}{m}. \quad (4.19)$$

Зная величину заработной платы одного члена бригады, определяем дополнительную годовую экономию  $\mathcal{E}_{доп}$

$$\mathcal{E}_{доп} = ВУТ_{ср} \cdot C_{чел.дн.} \cdot m, \quad (4.20)$$

где  $C_{чел.дн.} = B_c / T$  – средняя стоимость одного человека-дня, руб./чел.·день;

$B_c$  – стоимость выполняемых услуг за год, руб./год;

$T$  – число отработанных человеко-дней за год, чел.·дней/год.

Справочник нормативной заболеваемости содержит показатели нормативной утраты трудоспособности членов ОБ. Количество дней нетрудоспособности в год, как указывалось выше, определяется по больничным листам работников [6].

Из выражений (4.19) и (4.20) определяем дополнительную годовую экономию  $\mathcal{E}_{доп}$

$$\mathcal{E}_{\text{доп}} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \text{ВУТ}_{\text{фи}}^{\text{д}} - \sum_{i=1}^n \text{ВУТ}_{\text{ни}}^{\text{д}}}{n} - \frac{\sum_{i=1}^m \text{ВУТ}_{\text{фи}}^{\text{п}} - \sum_{i=1}^m \text{ВУТ}_{\text{ни}}^{\text{п}}}{m} \right) \cdot C_{\text{чел.дн.}} \cdot m. \quad (4.21)$$

Тогда основной экономический эффект  $\mathcal{E}_{\text{осн}}^{\Gamma}$  от внедрения фотокаталитического воздухоочистителя находим по выражению (4.8)

$$\mathcal{E}_{\text{осн}}^{\Gamma} = B_3 \cdot (\Pi_6 - \Pi_n). \quad (4.22)$$

При этом общий годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_{\text{общ}}^{\Gamma}$

$$\mathcal{E}_{\text{общ}}^{\Gamma} = \mathcal{E}_{\text{осн}}^{\Gamma} + \mathcal{E}_{\text{доп}}^{\Gamma}. \quad (4.23)$$

Выражение (4.23) позволяет учесть дополнительную составляющую  $\mathcal{E}_{\text{доп}}^{\Gamma}$ , связанную с созданием более безопасных условий труда при внедрении разработанного фотокаталитического воздухоочистителя.

При использовании выражения (4.21) для определения годового экономического эффекта  $\mathcal{E}_{\text{охр}}^{\Gamma}$  от создания более безопасных условий труда за счет внедрения разработки, необходимо учесть объем капитальных вложений [6]. Тогда

$$\mathcal{E}_{\text{охр}}^{\Gamma} = \mathcal{E}_{\text{доп}}^{\Gamma} - \frac{1}{C} \cdot K_{\text{охр}} \cdot B_{\text{охр}}, \quad (4.24)$$

где  $C$  – срок окупаемости капитальных вложений в мероприятия по охране труда, лет;

$K_{\text{охр}}$  – капитальные вложения в мероприятия по охране труда, отнесенные к единице наработки, руб./ед. наработки;

$B_{\text{охр}}$  – наработка нового варианта в течении срока окупаемости (после внедрения мероприятий по охране труда), ед. наработки.

Годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_{\text{охр}}^{\Gamma}$ , с учетом выражений (4.21) и (4.24)

$$\mathcal{E}_{\text{охр}}^{\Gamma} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \text{ВУТ}_{\text{фи}}^{\text{д}} - \sum_{i=1}^n \text{ВУТ}_{\text{ни}}^{\text{д}}}{n} - \frac{\sum_{i=1}^m \text{ВУТ}_{\text{фи}}^{\text{п}} - \sum_{i=1}^m \text{ВУТ}_{\text{ни}}^{\text{п}}}{m} \right) \cdot C_{\text{чел.дн.}} \cdot m - \frac{1}{C} \cdot K_{\text{охр}} \cdot B_{\text{охр}}. \quad (4.25)$$

Исходные данные и расчет годового экономического эффекта от внедрения фотокаталитического воздухоочистителя сведены в таблицу 4.11.

Себестоимость изготовления одного фотокаталитического воздухоочистителя на 01 января 2012 г. составляла 15300 руб. Данные о заболеваемости работников ОАО «МРСК Урала – Челябинэнерго» (членов ОВБ) были собраны по листам нетрудоспособности сотрудников до и после внедрения разработки.

Как видно из таблицы 4.11, годовой экономический эффект от установки фотокаталитических воздухоочистителей составляет 3200 рублей на одну машину.

Таблица 4.11 – Исходные данные и годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_{\text{охр}}^{\Gamma}$  от установки фотокаталитических воздухоочистителей (отнесены на одну машину)

| Наименование мероприятий                                         | $\sum_{i=1}^n \text{ВУТ}_{\text{фи}}^{\text{д}},$<br>чел.дн./год | $\sum_{i=1}^n \text{ВУТ}_{\text{ни}}^{\text{д}},$<br>чел.дн./год | $\sum_{i=1}^m \text{ВУТ}_{\text{фи}}^{\text{п}},$<br>чел.дн./год | $\sum_{i=1}^m \text{ВУТ}_{\text{ни}}^{\text{п}},$<br>чел.дн./год | $K_{\text{охр}} \cdot B_{\text{охр}},$<br>руб. | $\mathcal{E}_{\text{охр}}^{\Gamma},$<br>руб/год |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Установка фотокаталитического воздухоочистителя в кабине и КУНГе | 10                                                               | 2,1                                                              | 6                                                                | 2,1                                                              | 15300<br>(45900 –<br>3<br>изделия)             | 3200                                            |

Примечание: величина  $C_{\text{чел.дн.}}$  для расчетов принята равной 2000 руб./чел.·дн.,

величина  $C = 6,7$  года,

$n = 3$  чел.,

$m = 3$  чел.

#### 4.4 Выводы

1. Экспериментально установлены геометрические размеры воздухоочистителя, при которых время достижения ПДК оксида углерода является минимальным (длина трубки 1,5 метра, внутренний радиус 8 мм), и подтверждена зависимость фотокаталитической активности диоксида титана от температуры окружающей среды. При указанных размерах время достижения ПДК при температуре +20 °С составляет (с учетом коэффициента пропорциональности 2,5) 9,06 мин. Данное время более чем в три раза ниже опасного порогового значения (30 минут непрерывного дыхания при 5-ти ПДК).

2. Экономический эффект от установки трех фотокаталитических воздухоочистителей (один – в кабине водителя, два – в КУНГе) составит 3200 руб. на одну машину.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача, состоящая в обосновании и разработке устройства, обеспечивающего улучшение условий и охраны труда персонала ОВБ за счет снижения концентрации оксида углерода в воздухе кабин и КУНГов мобильных машин.

Выполненная работа позволяет сформулировать следующие основные результаты и выводы:

1. Анализ особенностей транспортировки персонала ОВБ показал, что при работе двигателей внутреннего сгорания, либо при обогреве с помощью органического топлива через неплотные соединения происходит проникновение в кабины и КУНГи отработанных газов, содержащих значительное количество оксида углерода (угарного газа). При этом в летнее время концентрация СО колеблется в пределах 0,7...1,5 ПДК (14...30 мг/м<sup>3</sup>), а в зимнее – 2...2,5 ПДК (40...50 мг/м<sup>3</sup>).

2. На основе анализа способов очистки воздуха от угарного газа установлено, что наиболее эффективным является фотокаталитический способ, при применении в качестве катализатора диоксида титана.

3. Обоснована необходимость применения в качестве источника ультрафиолетовых лучей светодиодных лент, как имеющих многочисленные преимущества перед газоразрядными лампами, в т.ч. высокую механическую прочность, вибростойкость, длительный срок службы, низкое энергопотребление и отсутствие в составе вредного вещества – ртути.

4. Выполнено обоснование параметров фотокаталитического воздухоочистителя с ультрафиолетовой светодиодной лентой и его схемы управления, при которых время достижения ПДК по угарному газу будет минимальным.

5. Разработана установка – светодиодный фотокаталитический воздухоочиститель, содержащий в качестве источника ультрафиолетовых лучей светодиодную ленту. Разработка защищена патентами РФ.

6. Экспериментально установлены геометрические размеры воздухоочистителя, при которых время достижения ПДК оксида углерода является минимальным (длина трубки 1,5 метра, внутренний диаметр 16 мм), и подтверждена зависимость фотокаталитической активности диоксида титана от

температуры окружающей среды При указанных размерах время достижения ПДК при температуре +20 °С составляет 9,06 мин. Данное время более чем в три раза ниже опасного порогового значения (30 минут непрерывного дыхания при 5-ти ПДК).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Артемьев, Ю.М. Введение в гетерогенный фотокатализ / Ю.М. Артемьев, В.К. Рябчук. – С.Пб.: Изд. С.-Петерб. ун-та, 1999. – 304 с.
2. Ахметов, Н.С. Общая и неорганическая химия / Н.С. Ахметов. – 5-е изд., испр. – М.: Высш. школа, 2003. – 743 с.
3. Балабанов, Д.С. Перенос и рассеяние над урбанизированной территорией отработанных газов автомобильного транспорта: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.02.05 / Балабанов Денис Сергеевич. – Пермь, 2011. – 28 с.
4. Баратов, А.Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: в 2-х книгах; Книга 2 / А.Н. Баратов. – М.: Химия, 1990 – 384 с.
5. Берлин, А.А. Полимерные Композиционные Материалы: свойства, структура, технологии / А.А. Берлин. – СПб.: Профессия, 2008. – 560 с.
6. Богданов, А.В. Оценка экономической эффективности от внедрения нового оборудования с учетом изменений условий труда / А.В. Богданов, А.В. Старцев, С.Ю. Попова // Безопасность жизнедеятельности. –2006. – № 8. – С. 42–44.
7. Борисов, Л.Г. Охрана труда в энергетике / Л.Г. Борисов, Б.А. Князевский, С.М. Кучерук. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 376 с.
8. Бухтояров, В.И. Разведывательные химические машины / В.И. Бухтояров. – изд. второе, перераб. и доп. – М.: Военное изд-во Министерства обороны СССР, 1988.– 263 с.
9. Бухтояров, В.Ф. Синтез логических моделей организации безопасного выполнения работ в электроустановках / В.Ф. Бухтояров. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика», вып. 17. – № 16, 2012. – С. 88–91.
10. Бухтояров, В.Ф. Управление безопасностью производства работ в электроустановках / В.Ф. Бухтояров, И.В. Бухтояров. / Челяб. ин-т путей сообщения. – Челябинск: ЧИПС, 2011. – 130 с.
11. Вагина, М.Л. Современные теоретические модели адсорбции в пористых средах / М.Л. Вагина, Б.С. Воронцов, О.В. Филистеев // Материалы V Всероссийского симпозиума. – М., 1999. – С. 114.

12. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – 9-е изд., стереотипн. – М.: Колос, 2005. – 168 с.
13. Возмилов, А.Г. Электроочистка и электрообеззараживание воздуха в промышленном животноводстве и птицеводстве: дис. д-ра техн. наук: 05.20.02 / Возмилов Александр Григорьевич. – Челябинск, 1993. – 268 с.
14. Воронцов, А.В. Гетерогенная фотокаталитическая окислительная деструкция углеродсодержащих соединений на чистом и платинированном диоксиде титана. дис... д-ра хим. наук: 02.00.15 / Воронцов Александр Валерьевич. – Новосибирск, 2009. – 317 с.
15. Вячеславов, А.С. Определение площади поверхности и пористости материалов методом сорбции газов / А.С. Вячеславов, М.С. Ефремова. – М.: МГУ, 2011. – 65 с.
16. Гейтс, Б. Химия каталитических процессов / Б. Гейтс, Дж.Г. Кетцир. – М.: Мир, 1981. – 551 с.
17. Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» (введены в действие Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 30.04.2003 г., № 76 с 15 июня 2003 г.
18. ГОСТ Р 51945-2002. Аспираторы. Общие технические условия. Дата введения 01.07.2003. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 16 с.
19. ГОСТ Р 22.9.09–2005. Безопасность в ЧС. Средства индивидуальной защиты населения в чрезвычайных ситуациях. Самоспасатели фильтрующие. Общие технические требования.– М.:Стандартинформ, 2005. – 17 с.
20. ГОСТ Р 8.759-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение энергетической освещенности и энергетической экспозиции ультрафиолетового излучения в фотобиологии. Методика измерений. Дата введения 01.01.2013. – М.: Стандартинформ, 2011. – 14 с.
21. ГОСТ 8.332-78. Государственная система обеспечения единства измерений. Световые измерения. Значения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения.

22. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Дата введения 01.01.1989. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 71 с.
23. ГОСТ Р 54350-2011 Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний. Дата введения 01.07.2012. – М.: Стандартинформ, 2011. – 43 с.
24. ГОСТ 17677–82. Светильники. Общие технические условия. Дата введения 01.01.1983. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 71 с.
25. ГОСТ 12.4.160-90 ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующие. Метод определения времени защитного действия фильтрующе-поглощающих коробок по оксиду углерода. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 8 с.
26. ГОСТ Р 12.4.194-99 ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Фильтры противоаэрозольные. Общие технические условия. – Постановление Госстандарта России от 28 декабря 1999 г. № 734-ст.
27. ГОСТ 6651-2009 ГСИ. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний. Дата введения 01.01.2011. – М.: Стандартинформ, 2011. – 32 с.
28. ГОСТ Р 53261–2009. Техника пожарная. Самоспасатели фильтрующие для защиты людей от токсичных продуктов горения при эвакуации из задымленных помещений во время пожара. Общие технические требования. Методы испытаний. – М.:Стандартинформ, 2009. – 12 с.
29. ГОСТ ИСО 14644-1-2002. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Дата введения 01.04.2004. – М.: Стандартинформ, 2004. – 20 с.
30. Горбунов, А.А. Разработка способа измерения количества ртути в люминесцентных лампах диаметром 16 мм / А.А. Горбунов // Вестник Мордовского университета. – 2014. – № 1–2. – С. 81–84.
31. Грег, С. Адсорбция, удельная поверхность, пористость / С Грег, К. Синг. – М.: Мир, 1984. – 310 с.

32. Гузенберг, А.С. Адаптация низкотемпературного способа регенерации поглотителя вредных примесей к системам очистки атмосферы гермообъектов / А.С. Гузенберг, С.И. Еремеев, Д.А. Крыченков, А.А. Кутьев. – М.: Биология, 2001. – 267 с.
33. Гуськова, Т.А. Токсикология лекарственных средств / Т.А. Гуськова. – М.: Рус. врач, 2003. – 154 с.
34. Гухман, А.А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло-массообмена / А.А. Гухман. – М.: Высшая школа, 2010. – 330 с., ил.
35. Денисов, В.П. Технология и производство электрических источников света / В.П. Денисов, Ю.Ф. Мельников. – М., Энергоатомиздат, 1983. – 384 с.
36. Долин, П.А. Основы техники безопасности в электроустановках / П.А. Долин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448 с, ил.
37. Дьяконов, В.П., MathCAD 7.0 в математике, физике и Internet / В.П. Дьяконов, И.В. Абраменкова – М.: Нолидж, 1999. – 352 с.
38. Евсина, Е.М. Новый сорбент для очистки воздуха от паров воды, кислых газов и микроорганизмов в салонах (кабинах) транспортных средств и в помещениях / Е.М. Евсина, Н.М. Алыков, С.Н. Алыков, Н.Н. Алыков, А.М. Евсин // Химия и химические технологии. – 2010. – № 1. – С. 22–27.
39. Емцев, Б.Т. Техническая гидромеханика / Б.Т. Емцев. – М.: Машиностроение, 1987. – 440 с.
40. Жуков, Ю.И. Пути совершенствования охраны труда в энергетике: дис... канд. техн. наук: 05.26.01 / Жуков Юрий Иванович. – М., 2002. – 156 с.
41. Завадский, А.В. Удельная поверхность и теплота погружения гопкалита / А.В. Завадский, С.Н. Ткаченко, С.Г. Киреев, В.М. Мухин, В.В. Чебыкин, В.Н. Клушин, Д.Э. Тепляков // Вестн. Моск. ун-та, сер. 2. Химия. – 2001. – Т. 42, № 6 – С. 379–381.
42. Зайдель, А.П. Таблицы спектральных линий / А.П. Зайдель, В.П. Прокофьев, С.М. Райский, В.А. Слитый, Е.Я. Шрейдер. – 4-е изд. – М.: Наука, 1977. – 800 с.

43. Зайнишев, А.В. Использование фотокаталитических воздухоочистителей для удаления оксида углерода и паров органических веществ из воздуха кабин мобильных машин / А.В. Зайнишев, Г.А. Полунин // Материалы LI международной науч.-техн. конференции "Достижения науки – агропромышленному производству". – Ч. VI. – Челябинск: ЧГАА, 2012. – С. 207–211.
44. Зайнишев, А.В. Перспективный способ очистки воздуха производственных помещений и кабин мобильных агрегатов от оксида углерода / А.В. Зайнишев, Г.А. Полунин // Материалы L международной науч.-техн. конференции "Достижения науки – агропромышленному производству". – Ч. VI. – Челябинск: ЧГАА, 2011. – С. 116–121.
45. Зайнишев, А.В. Применение ультрафиолетовых светодиодных лент в фотокаталитических воздухоочистителях для очистки воздуха кабин мобильных машин / А.В. Зайнишев, Г.А. Полунин // Материалы LII международной науч.-техн. конференции "Достижения науки – агропромышленному производству". Ч. VI. – Челябинск: ЧГАА, 2013. – С. 114.
46. Зайнишев, А.В. Применение ультрафиолетовых светодиодов в фотокаталитических воздухоочистителях для очистки воздуха кабин мобильных машин [Электронный ресурс] / А.В. Зайнишев, Г.А. Полунин // Технологии техносферной безопасности. – Издательство: Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Москва) ISSN: 2071-7342. – 2012. – № 6 (46). – С. 12. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-6/12-06-12.ttb.pdf>.
47. Зайнишев, А.В., Юсупов Р.Х., Старших В.В., Полунин Г.А. Фотокаталитический воздухоочиститель / А.В. Зайнишев, Р.Х. Юсупов, В.В. Старших, Г.А. Полунин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2014. – № 2. – С. 27–30.

48. Зайнишев, А.В. Особенности воздушного потока в спиральном фотокаталитическом воздухоочистителе / А.В. Зайнишев, Г.А. Полунин // Материалы LIII международной науч.-техн. конференции "Достижения науки – агропромышленному производству". Ч. IV. – Челябинск: ЧГАА, 2014 – С. 121.
49. Зайнишев, А.В. Определение гидравлического сопротивления фотокаталитического воздухоочистителя / А.В. Зайнишев, Г.А. Полунин, Р.Х. Юсупов, В.И. Панферов // Техника в сельском хозяйстве. – 2014. – № 4, – С. 17–18.
50. Зайнишев, А.В. Схема управления фотокаталитическим воздухоочистителем / А.В. Зайнишев, Г.А. Полунин // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования: сборник науч. трудов международной научно-практической конференции «АПК России: прошлое, настоящее, будущее», Ч. I / СПбГАУ. – СПб., 2015. – С. 487–490.
51. Зайнишев, А.В. Повышение безопасности труда оперативно-выездных бригад / А.В. Зайнишев, Г.А. Полунин // Электробезопасность. – 2015. – № 2. – С. 43–48.
52. Зверева, Г.Н. Использование вакуумного ультрафиолетового излучения для получения высокореактивных радикалов / Г.Н. Зверева // Оптический журнал. – 2012. – № 8. – С. 45–54.
53. Зонд угарного газа FYA 600 CO: Артикул FYA600COB1. Паспорт. Сенсорика-М, 2013. – 14 с.
54. Иванов, В.К. Функциональные наноматериалы на основе диоксидов церия и элементов подгруппы титана: синтез, исследование структуры и размерных эффектов: дис... д-ра хим. наук: 02.00.21 / Иванов Владимир Константинович– М., 2011. – 292 с.
55. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с., ил.
56. Изаков, Ф.Я. Планирование эксперимента и обработка опытных данных / Уч. пособие для магистрантов и аспирантов./ Ф.Я. Изаков – Челябинск: ЧГАУ, 1997. – 40 с.
57. Иконен, Э. Моделирование зависимости освещенности, создаваемой светодиодом, от расстояния / Э. Иконен, П. Кэрхэ, П. Маннинен // Светотехника. – 2007. – № 6. – С. 46–49.

58. Имянитов, Н.С. Системы из нескольких катализаторов в металлокомплексном катализе / Н.С. Имянитов // Координационная химия. – 1984. – Т. 10. – № 11 – С. 1443–1454.
59. Исаев, А.Б. О фотокатализе на наночастицах / А.Б. Исаев// Вестник ФГБОУ ВПО «Дагестанский государственный университет». – Махачкала, 2001.
60. Испытательная техника: справочник. В 2-х кн. / Под ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1982, кн. 1. 1982. – 540 с.
61. Испытательная техника: справочник. В 2-х кн. / Под ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1982, кн. 2. 1982. – 560 с.
62. Како, Н. Я. Датчики и микро-ЭВМ / Н. Како, Я. Яманэ. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1986. – 120 с.
63. Карнаухов, А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов / А.П. Карнаухов. – Новосибирск: Наука. 1999. – 470 с.
64. Кассандрова, О.Н. Обработка результатов наблюдений / О.В. Кассандрова, В.В. Лебедев. – М.: Наука, 1970. – 104 с.
65. Каталог изделий компании по производству оборудования для светодиодного освещения и подсветки Arlight – <http://www.arlight.ru/catalog/otkrytye-rt-12v-60-351>.
66. Каталог изделий компании по производству пластиковой и полиэтиленовой тары TARAPLASTIC, входящей в международную торгово-промышленную ассоциацию Delfin Group – [http://www.taraplastic.ru/?page=katalog\\_plastikovo\\_j\\_tary](http://www.taraplastic.ru/?page=katalog_plastikovo_j_tary).
67. Каталог изделий компании по производству промышленного оборудования – [http://voronej.oborudunion.ru/i\\_store/item\\_1000487704/mikrokompressor-tipa-mk-06-12.html](http://voronej.oborudunion.ru/i_store/item_1000487704/mikrokompressor-tipa-mk-06-12.html).
68. Каталог изделий компании по производству средств индивидуальной и коллективной защиты ГеоСорб – <http://www.mtkisorbent.ru/protivogazy-samospasateli-respiratory-komplektuyushchie/respiratory/respirator-pylezashchitnyj-analog-f-62sh-detail>.
69. Каттралл, Роберт В. Химические сенсоры / Роберт В. Каттралл. – М.: Научный мир, 2000. – 144 с.

70. Кельцев, Н.В. Основы адсорбционной техники. / Н.В. Кельцев. – М.: Химия, 1984. – 592 с.
71. Киреев, С.Г. Актуальные проблемы адсорбционных процессов / С.Г. Киреев, В.М. Мухин // Материалы IV Всероссийского симпозиума. – М., 1998. – С. 102.
72. Князевский, Б.А. Охрана труда в электроустановках / Б.А. Князевский. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.
73. Колесник, И.В. Мезопористые материалы на основе диоксида титана: дис... канд. хим. наук: 02.00.21 / Колесник Ирина Валерьевна. – М., 2010. – 155 с.
74. Колесников, И.М. Катализ и производство катализаторов / И.М. Колесников. – М.: Техника, 2004. – 400 с.
75. Крашевский, Р.А. Новая серия датчиков угарного газа TGS5042 от компании FigaroEngineering / Р.А. Крашевский // CHIP NEWS Украина. –2012. – № 4 (114), май. – С. 44–46.
76. Крылов, О.В. Гетерогенный катализ / О.В. Крылов. – М.: «Академкнига», 2004. – 679 с.
77. Кузнецов, А.И. Техника безопасности в электрических установках / А.И. Кузнецов. – М.-Л.: Гогэнергоиздат, 1952. – 352 с.
78. Кузык, Б.Н. Россия: стратегия перехода к водородной энергетике / Б.Н. Кузык, Ю.В. Яковец. – М.: Институт экономических стратегий. 2007. – 400 с.
79. Лоран, П.Ж. Аппроксимация и оптимизация / П.Ж. Лоран. – М.: Мир, 1975. – 496 с.
80. Манойлов, В.Е. Основы электробезопасности / В.Е. Манойлов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 344 с.
81. Михайлов, А.К. Компрессорные машины / А.К. Михайлов, В.П. Ворошилов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 288 с.
82. Морозов, А.Н. Синтез и каталитические свойства наноструктурированных покрытий диоксида титана: дис... канд. хим. наук: 05.17.01 / Морозов Александр Николаевич. – М., 2014. – 160 с.
83. Мухутдинов, Р.Х. Теория и практика каталитической очистки отходящих газов / Р.Х. Мухутдинов, Н.А. Самойлов. – Уфа: Изд-во Гилем, 2002. – 252 с.

84. Новицкий, П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.
85. Окись углерода (угарный газ) // Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей/ Под ред.. Лазарева Н.В и. Гадаскиной И.Д. – 7-е изд. – Л.: Химия, 1977. – 608 с.
86. Оксид углерода // Российская энциклопедия по охране труда / Отв. ред. Сафонов А.Л.. – 2-е изд. – М.: НЦ ЭНАС, 2007. – Т. 2. – 408 с.
87. Отравление монооксидом углерода (угарным газом) / Под редакцией председателя Иркутского отделения МБО «Ассоциация клинических токсикологов», кандидата медицинских наук, доцента Иркутского государственного медицинского университета Ю.В. Зобнина. – Санкт-Петербург, 2011. – 86 с.
88. Оура, К. Введение в физику поверхности / К. Оура, В.Г. Лифшиц, А.А. Саранин и др. / Под ред. Сергиенко В. И. – М.: Наука, 2006. – 490 с.
89. Пармон, В.Н. Разработка физико-химических основ преобразования солнечной энергии путем разложения воды в молекулярных фотокаталитических системах: дис... д-ра хим. наук: 05.17.01 / Пармон Валентин Николаевич. – Новосибирск, 1984. – 680 с.
90. Патент № 2497584RUC1 Российская Федерация, МПК В01J. Фотокаталитический воздухоочиститель [Текст] / А.В. Зайнишев, Г.А. Полунин. – № 2012119643; заявл. 12.05.12.; опубл. 10.11.13, Бюл. № 31, 11 стр.
91. Патент 2319622 Российская Федерация, МПК В60Н3/06, F24F3/16. Способ и устройство очистки воздуха [Текст] / С.А. Сайкин, А.М. Сайкин.: заявитель и патентообладатель С.А. Сайкин, А.М. Сайкин. – №2006110408/11; заяв. 03.04.06; опубл. 20.03.06, 13 стр.
92. Патент 2161567 Российская Федерация, МПК В60Н3/06. Способ очистки воздуха от вредных примесей и устройство для его реализации [Текст] /Злотопольский В.М., Гузенберг А.С., Крыченков Д.А., Еремеев С.И., Кутьев А.А., Маркин С.В., Гаврилов Л.И., Жинжиков Л.А.: заявитель и патентообладатель Кутьев Анатолий Анатольевич, Злотопольский

Владимир Матвеевич, Гузенберг Аркадий Самуилович, Крыченков Дмитрий Анатольевич, Еремеев Сергей Иванович, Маркин Сергей Владимирович, Гаврилов Лев Иванович, Жинжиков Леонид Александрович- № 2000114229/28; заяв. 07.06.2000; опубл. 10.01.2001, 3 стр.

93. Патент 94017415 Российская Федерация, МПК В60Н3/06. Установка для обработки воздуха, подаваемого в обитаемый отсек транспортного средства[Текст] / Антонов В.В., Вдовенко Л.В., Попов П.Ф., Потешкин А.М., Цурков В.Д., Шаповалов С.И., Шутов А.А.: заявитель и патентообладатель Акционерное общество "Литмаш"- № 94017415/11; заяв. 11.05.1994; опубл. 20.03.1996, 1 стр.

94. Петухов, Д.И. Синтез и исследование свойств пленок пористого  $TiO_2$ , полученных анодным окислением / Д.А. Петухов, И.В. Колесник, А.А. Елисеев, А.Б. Лукашин, Ю.Д. Третьяков // Альтернативная энергетика и экология.– 2007. – № 1. – С. 65-69.

95. Полищук, А.Г. Светодиодные светильники – эффективный метод решения проблемы энергосбережения / А.Г. Полищук, А.Н. Туркин // Энергосбережение. – 2008. – № 3. – С. 30–31.

96. Полезная модель: Зайнишев, А.В. Фотокаталитический воздухоочиститель (полезная модель). Патент № RU156652U1 В01D 53/86/ / А.В. Зайнишев, Г.А. Полунин. // № 2015106508/05; заявл. 25.02.15.; опубл. 10.11.15, Бюл. № 31.

97. Полканов, И.П. Методические указания по оценке результатов исследований / И.П. Полканов. – Ульяновск: Цитата, 1993. – 21 с.

98. Положение об оперативно-выездной бригаде района электрических сетей. – М.: Энергоатомиздат, 2011. – 10 с.

99. Райзер, Ю.П. Физика газового разряда / Ю.П. Райзер. – Долгопрудный: Издательский Дом "Интеллект", 2009. – 736 с.

100. Распоряжение правительства Москвы «Об организации работ по сбору, транспортировке и переработке отработанных люминесцентных ламп» от 20 декабря 1999 г. № 1010-РЗП.

101. Ревякин, А.И. Электробезопасность и противопожарная защита в электроустановках / А.И Ревякин, Б.И. Кашолкин. – М.: Энергия, 1980. – 160 с., ил.

102. Рипан, Р. Неорганическая химия. Химия металлов / Р. Рипан, И. Четяну. – М.: Мир, 1971. – Т. 1. – 561 с.
103. Романова, И.А. Высокочувствительные датчики газа, новинки от FIGARO ENGINEERING / И.А. Романова // Электроника: НТВ. – 2011. – № 1 (00107). – С. 64–70.
104. Рябцев, А.Н. Ультрафиолетовое излучение / А.Н. Рябцев // Физическая энциклопедия / Гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. – Т. 5. – С. 221. – 760 с.
105. Савинов, Е.Н. Фотокаталитические методы очистки воды и воздуха / Е.Н. Савинов // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – Т. 6. – № 11. – С. 52–56.
106. Сайкин, А.М. Обоснование и разработка комплексных методов снижения загрязнения воздуха в кабинах карьерных самосвалов отработанными газами дизелей: дис. д-ра техн. наук: 05.05.03, 05.04.02 / Сайкин Андрей Михайлович. – М., 2010. – 382 с.
107. Савинов Е.Н. Фотокатализ окислительно-восстановительных реакций в водных растворах с участием дисперсных металлов и полупроводников: дис. д-ра хим. наук: 02.00.15 / Савинов Евгений Николаевич. – Новосибирск, 1993. – 344 с.
108. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г. N 21). – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 42 с.
109. Секундомер электронный «Интеграл С-01» первого класса точности: Артикул 44154-10. Паспорт. РУП «Завод Электроника», Минск. – 17 с.
110. Сидоров, А.И. О логико-вероятностном моделировании для оценки вероятностей вредного воздействия на человека опасных техногенных факторов [Электронный ресурс] / А.И. Сидоров, И.С. Окраинская, О.В. Номоконова // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» (<http://ipb.mos.ru/ttb>), вып. 1(41), 2012. – С. 1–5. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-1/10-01-12.ttb.pdf>.

111. Сидоров, А.И. Обеспечение электробезопасности в системах электроснабжения. Монография / А.И. Сидоров, В.И. Петуров, А.В. Пичуев, И.Ф. Суворов. – Чита: РИК ЧитГУ, 2009. – 268 с.
112. Сидоров, А.И. О системе предупреждения опасных действий персонала на предприятиях электроэнергетики [Электронный ресурс] / А.И. Сидоров, А.Б. Тряпицын, Д.И. Боровик // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» (<http://ipb.mos.ru/ttb>), февраль 2011. – С. 30–36. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2011-1/16-01-11.ttb.pdf>.
113. Слепцов, В.И. Газопылеочистка воздуха в кабинах горных машин / В.И. Слепцов // Горная промышленность. – 2002. – № 1. – С. 16–22.
114. Спирин, Н.А., Лавров В.В. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента / Н.А. Спирин, В.В. Лавров // Под.общ. ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. – 257 с.
115. Строительные нормы и правила Российской Федерации СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Дата введения 01.01.2004. – М.: Стандартинформ, 2004. – 49 с.
116. Типовая инструкция по охране труда для электромонтера оперативно-выездной бригады ТИ РМ-071-2002. Министерство труда и социального развития Российской Федерации, Министерство энергетики Российской Федерации, 2002.
117. Трушкина, Л.Ю. Гигиена и экология человека / Л.Ю. Трушкина, А.Г. Трушкин, Л.М. Демьянова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ростов н/Д.: Феникс. – 2003 г. – 448 с.
118. Туркин, А.Н. Полупроводниковые светодиоды: история, факты, перспективы / А.Н. Туркин // Полупроводниковая светотехника: журнал. – 2011. – № 5. – С. 28–33.
119. Федеральный закон РФ от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".
120. Фролов, Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Ю.Г. Фролов. – М.: Химия, 1989. – 464 с.

121. Халин, Е.В. Основы электрической безопасности. Монография / Е.В. Халин, Д.С. Стребков, Н.Н. Липантьева, С.И. Коструба. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. – 484 с.
122. Хохряков, В.П. Исследование и разработка устройств обеспыливания вентиляционного воздуха в кабинах транспортных машин: дис... канд. техн. наук: 05.26.01 / Хохряков Владимир Петрович. – М., 1983. – 211 с.
123. Цапенко, Е.Ф. Электробезопасность на горных предприятиях / Е.Ф. Цапенко, С.З. Шкундин. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2006. – 104 с.
124. Чандаева, С.А. Физика и человек / С.А. Чандаева. – М.: АО Аспект Пресс, 1994. – 335 с.
125. Черчинцев, В.Д. Реконструкция системы очистки газов и аспирационного воздуха технологических агрегатов вторичной обработки электростали ОАО «ММК» / В.Д. Черчинцев, А.М. Гусев, И.А. Афонин, О.Ф. Дробный // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2008. – № 2. – С. 72–74.
126. Шевченко, А.О. Современное состояние и перспективы развития теории адсорбции / А.О. Шевченко, Г.К. Ивахнюк, К.Г. Ивахнюк // Материалы IX Международной конференции по теоретическим вопросам адсорбции и адсорбционной хроматографии. – М., 2001. – С. 120.
127. Шепеленков М.А. Что такое КУНГ? [Электронный ресурс] / М.А. Шепеленков // Грузовик Пресс. – 2008. – № 3. Режим чтения – [http://www.gruzovikpress.ru/article/history/2008\\_03\\_A\\_2008\\_12\\_09-11\\_26\\_33/](http://www.gruzovikpress.ru/article/history/2008_03_A_2008_12_09-11_26_33/).
128. Шуберт, Ф.Е. Светодиоды / Ф.Е. Шуберт. – М.: Физматлит, 2008. – 496 с.
129. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96. – М.: Минздрав России, 1996. – 8 с.
130. Эффективность капитальных вложений. Сборник методических рекомендаций.– М.: Экономика, 1999. – 128 с.
131. Яблонский, Г.С. Кинетические модели каталитических реакций / Г.С. Яблонский, В.И. Быков, А.Н. Горбань. – Новосибирск: Наука (Сиб. отделение), 1983. – 255 с.

132. Янин, Е.П. Ртутные лампы как источник загрязнения окружающей среды / Е.П. Янин. – М.: ИМГРЭ, 2005. – 28 с.
133. Bougrov, V. In Properties of Advanced Semiconductor Materials GaN, AlN, InN, BN, SiC, SiGe. Eds. / V. Bougrov, M.E. Levinshtein, S.L. Rumyantsev, A. Zubrilov, M.E. Levinshtein, S.L. Rumyantsev, Shur M.S., John Wiley & Sons, Inc., New York, 2001, 1–30.
134. Chen, X. Titanium Dioxide Nanomaterials: Synthesis, Properties, Modifications, and Applications / X. Chen, S.S. Mao // Chemical Reviews. – 2007. – V. 107. – № 7.–P. 2891–2959.
135. Habisreutinger, S.N. Photocatalytic reduction of CO on TiO<sub>2</sub> and other semiconductors / S.N. Habisreutinger, L.S. Mende, J.K. Stolarczyk // Angewandte Chemie International Edition. – 2013. – V.52. – P.2-39.
136. Kandiel, T.A. Brookite versus anatase TiO<sub>2</sub> photocatalysts: phase transformations and photocatalytic activities / T.A. Kandiel, L. Robben, A. Alkaimad, D. Bahnemann // Photochemical and Photobiological Sciences. – 2013. – V.12. – № 4. – P. 602–609.
137. Karakitsou, K.E. Effects of intervalentcation doping of TiO<sub>2</sub> on its performance as a photocatalyst for water cleavage / K.E. Karakitsou, X.E. Verykios // Journal of Physical Chemistry. – 1993. – V.97. – P. 1184-1189.
138. Landmann, M. The electronic structure and optical response of rutile, anatase and brookite TiO<sub>2</sub> / M. Landmann, E. Rauls, W.G. Schmidt // Journal of Physics: Condensed Matter. 2012. V.24. №19.P. 1-6.
139. Linsebigler, A.L. Photocatalysis on TiO<sub>2</sub> Surfaces: Principles, Mechanisms, and Selected Results / A.L. Linsebigler, G. Lu, J.T. Yates // Chemical Reviews. – 1995. – V.95. – P. 735-758.
140. MasachikaShibuyaandMasahiroMiyauchi.Site-Selective Deposition of Metal Nanoparticles on Aligned WO<sub>3</sub>Nanotrees for Super-Hydrophilic Thin Films // Advanced Materials. – Volume 21, Issue 13, pages 1373-1376, April 6, 2009.
141. Mo, S. Electronic and optical properties of three phases of titanium dioxide: Rutile, anatase and brookite / S. Mo, W. Ching // Physical Review B. – 1995. – V.51. – №19. – P. 13023-13032.

142. Oppenlander, Th. Photochemical Purification of Water and Air. Wiley / Th. Oppenlander. – VCH. 2003. Weinheim. – 368 p.
143. Tang, H. Electrical and optical properties of  $\text{TiO}_2$  anatase thin films / H. Tang, K. Prasad, R. Sanjines, P.E. Schmid, F. Levy // Journal of Applied Physics. – 1994. – V.75. – №.4. – P. 2042-2047.
144. T., Harafuji. Molecular dynamics simulation for evaluating melting point of wurtzite-type GaN crystal / T. Harafuji, J. Kawamura.: Appl. Phys. – 2004. – C. 2501.
145. Thompson, T.L. Surface Science Studies of the Photoactivation of  $\text{TiO}_2$  -New Photochemical Processes / T.L. Thompson, J.T. Yates // Chemical Reviews. – 2006. – V.106. – №10. – P. 4428-4453.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

## Фотокаталитические воздухоочистители

| Воздухо-<br>очиститель            | Внешний вид                                                                         | Изготовитель | Напряжение<br>питания, В /<br>потребляемая<br>мощность, Вт | Источник УФ-<br>излучения/длина<br>волны, нм | Эффективная<br>площадь<br>очистки, м <sup>2</sup> /<br>объем<br>очистки, м <sup>3</sup> | Габаритные<br>размеры, мм | Масса,<br>кг |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------|
| AirComfort<br>GH-2121             |    | Китай        | 12 / 1,5                                                   | лампа/185...254                              | 4/нет данных                                                                            | 160x52x50                 | 0,1          |
| AirComfort<br>GH-2130             |    | Китай        | 12 / 5                                                     | лампа/185...254                              | нет данных/20                                                                           | 68x173x119                | 0,3          |
| AirComfort /<br>NeoTec XJ-<br>800 |   | Италия       | 12 / 3                                                     | лампа/185...254                              | 10/нет данных                                                                           | 140x90x50                 | 0,2          |
| AirComfort /<br>NeoTec XJ-<br>801 |  | Италия       | 12 / 2                                                     | лампа/185...254                              | нет данных/35                                                                           | 120x100x50                | 0,175        |
| AirComfort<br>XJ-802              |  | Италия       | 12 / 1,5                                                   | лампа/185...254                              | 10/нет данных                                                                           | 110x81x58                 | 0,13         |

|                        |                                                                                     |          |                       |                 |               |               |      |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------|-----------------|---------------|---------------|------|
| AirComfort<br>XJ-803   |    | Италия   | 12 / 5                | лампа/185...254 | нет данных/20 | 130 x 56 x 94 | 0,18 |
| AirComfort<br>XJ-1000  |    | Италия   | 12 / 3,4              | лампа/185...254 | 15/нет данных | 205x125x70    | 0,75 |
| Air Comfort<br>XJ-2000 |    | Китай    | 12 / 6                | лампа/320..400  | 25/нет данных | 300x180x95    | 1,28 |
| Cyclone<br>CN-25       |   | Австрия  | Сеть 220,<br>12 / 1,5 | лампа/185...254 | 4/нет данных  | 160x52x50     | 0.1  |
| Cyclone<br>CN-31       |  | Австрия  | 12 / 8                | лампа/185...254 | нет данных/15 | 190x48x130    | 0,5  |
| Атмос Вент<br>801      |  | Германия | 12 / 4                | лампа/380       | нет данных/60 | 121x193x53    | 0,3  |

|                                   |                                                                                     |          |                                                      |                 |               |             |      |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------|-----------------|---------------|-------------|------|
| АТМОС-ВЕНТ-1103                   |    | Германия | 12<br>(Адаптер<br>на 220В<br>в блоке<br>питания) / 7 | лампа/254       | нет данных/40 | 265x140x120 | 1    |
| АТМОС<br>(Автомобиль-<br>комната) |    | Россия   | Сеть 220,<br>12 / 3,5                                | лампа/380       | 15/нет данных | 200x124x73  | 0,4  |
| Bork A601                         |   | Китай    | 12 / 2,7                                             | лампа/254       | 10/нет данных | 150x62x62   | 0,27 |
| Bork<br>AP NNC 1700<br>SI         |  | Китай    | 12 / 10                                              | лампа/185...254 | 5/нет данных  | 170x158x70  | 0,45 |
| KANGBAO<br>56S                    |  | Китай    | 12 / 0,3                                             | лампа/185...254 | нет данных/25 | 110x100x46  | 0,4  |

|                        |                                                                                     |                     |               |                 |               |             |      |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------|-----------------|---------------|-------------|------|
| Vectra<br>VCP-71 Solar |    | Велико-<br>британия | 12 / 7        | лампа/185...254 | нет данных/20 | 190x135x45  | 0.51 |
| Vitek VT-<br>1777      |    | Китай               | 12 / 8        | лампа/185...254 | 15/нет данных | 14x60x23    | 1.5  |
| Intego AC-42           |    | Китай               | 12 / 5        | лампа/185...254 | нет данных/10 | 5,5x23x19   | 0.35 |
| AIC GH-2156            |   | Италия              | Сеть 220 / 10 | лампа/185...254 | нет данных/30 | 401x117x190 | 1.7  |
| AIC XJ-2200            |  | Италия              | Сеть 220 / 25 | лампа/185...254 | нет данных/25 | 380x105x245 | 1.87 |
| Fresh Air<br>to Go     |  | США                 | 12 / 10       | лампа/254       | 15/нет данных | 100x150x30  | 0,23 |



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 497 584** <sup>(13)</sup> **C1**(51) МПК  
*B01F 20/00* (2006.01)  
*B01D 53/86* (2006.01)**(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21)(22) Заявка: 2012119643/05, 12.05.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
12.05.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.05.2012

(45) Опубликовано: 10.11.2013 Бюл. № 31

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 74826 U1, 20.07.2008, RU 115661 U1,  
10.05.2012, RU 2375112 C1, 10.12.2009, US  
6358374 B1, 19.03.2002.

Адрес для переписки:

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 75, кафедра  
БЖ, ФГБОУ ВПО "Челябинская  
государственная агроинженерная академия"

(72) Автор(ы):

Зайнишев Альфред Варисович (RU),  
Полунин Георгий Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Челябинская государственная  
агроинженерная академия" (RU)**(54) ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЙ ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЬ****(57) Формула изобретения**

1. Фотокаталитический воздухоочиститель, включающий корпус, насос-вентилятор, фотокаталитический блок, пылевой фильтр с органическим или неорганическим адсорбентом, отличающийся тем, что корпус воздухоочистителя выполнен в виде закрученной в спираль постоянной по площади поперечного сечения трубки, образующей фотокаталитический блок, внутренняя поверхность которого покрыта слоем фотокатализатора, а на стороне поверхности, расположенной ближе к центру фотокаталитического блока, на всем его протяжении прикреплена светодиодная лента с ультрафиолетовыми светодиодами.

2. Фотокаталитический воздухоочиститель по п.1, отличающийся тем, что форма поперечного сечения трубки может быть выполнена прямоугольной, трапециевидной или сегментной.

3. Фотокаталитический воздухоочиститель по п.1, отличающийся тем, что в качестве фотокатализатора используется диоксид титана.

4. Фотокаталитический воздухоочиститель по п.1, отличающийся тем, что расстояние между ультрафиолетовыми светодиодами на светодиодной ленте не превышает 30 мм.

RU 2 497 584 C1

RU 2 497 584 C1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 497 584** <sup>(13)</sup> **C1**

(51) МПК  
B01J 20/00 (2006.01)  
B01D 53/86 (2006.01)

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2012119643/05, 12.05.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
12.05.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.05.2012

(45) Опубликовано: 10.11.2013 Бюл. № 31

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 74826 U1, 20.07.2008. RU 115661 U1,  
10.05.2012. RU 2375112 C1, 10.12.2009. US  
6358374 B1, 19.03.2002.

Адрес для переписки:

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 75, кафедра  
БЖ, ФГБОУ ВПО "Челябинская  
государственная агроинженерная академия"

(72) Автор(ы):

Зайнишев Альфред Варисович (RU),  
Полунин Георгий Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Челябинская государственная  
агроинженерная академия" (RU)

**(54) ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЙ ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЬ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области  
воздухоочистки и вентиляции и может найти  
применение в быту, лечебных учреждениях, в  
производственных помещениях и т.д.  
Фотокаталитический воздухоочиститель  
включает корпус, который выполнен в виде  
закрученной в спираль постоянной по  
площади поперечного сечения трубки,  
образующей фотокаталитический блок,  
внутренняя поверхность которого покрыта  
слоем фотокатализатора, насос-вентилятор и

пылевой фильтр с органическим или  
неорганическим адсорбентом. При этом на  
внутренней поверхности трубки корпуса,  
расположенной ближе к центру  
фотокаталитического блока, на всем его  
протяжении прикреплена светодиодная лента с  
ультрафиолетовыми светодиодами.  
Изобретение обеспечивает более интенсивное  
очистление воздуха, экономичный расход  
электроэнергии, надежность и долговечность  
работы. 3 з.п. ф-лы, 2 ил.

RU 2 497 584 C1

Изобретение может быть использовано в области воздухоочистки и вентиляции и может найти применение в быту, лечебных учреждениях, в производственных помещениях, в ремонтных мастерских, в гаражах, кабинах мобильных агрегатов и т.д., то есть везде, где в воздух выделяются угарный газ и органические соединения.

Известна конструкция фотокаталитического очистителя воздуха, состоящего из ультрафиолетовой лампы, угольного носителя типа пчелиные соты с нанесенным слоем диоксида титана и вентилятора (К.-И/ Suzuki. Photocatalytic Purification on  $\text{TiO}_2$  Coated Honeycomb Support. In: (Photocatalytic Purification and Treatment of Water and Air, Eds. D. Follis, H. Al-Ekabi, Elsevier, 1993, p.421-434).

Недостатком конструкции является отсутствие пылевого фильтра и малая производительность, что не позволяет использовать ее в бытовых и промышленных помещениях.

Известно адсорбционно-фотокаталитическое устройство для очистки воздуха от летучих загрязнителей (RU №74826, МПК<sup>7</sup> B01J 20/00, F24F 3/16, 20.07.2008), взятое в качестве прототипа, которое содержит корпус, вентилятор, фотокаталитический блок, пылевой фильтр, включающий органический или неорганический адсорбент с теплотой адсорбции органических загрязнителей от 5 до 12 ккал/моль.

Недостатком указанного выше технического решения является использование в фотокаталитическом блоке ультрафиолетовой лампы, содержащей пары ртути и имеющей хрупкий стеклянный корпус, что создает определенные ограничения по условиям эксплуатации и может представлять угрозу жизни и здоровью человека при нарушении герметичности корпуса лампы. Кроме того, учитывая относительно низкую удельную скорость разложения органических загрязнений при фотокатализе, в указанном выше техническом решении воздух за один проход может не успеть очиститься до приемлемых значений.

Задачей предлагаемого изобретения является создание фотокаталитического очистителя воздуха, способного более интенсивно обезвреживать периодические выбросы летучих загрязнений (угарного газа и паров органических веществ) за счет увеличения фотокаталитической площади поверхности воздухоочистителя, кроме того снижение энергоемкости, повышение надежности, долговечности и безопасности воздухоочистителя.

Задача решается следующим образом: в фотокаталитическом воздухоочистителе, включающем корпус, насос-вентилятор, фотокаталитический блок, пылевой фильтр с органическим или неорганическим адсорбентом, в отличие от прототипа корпус воздухоочистителя выполнен в виде закрученной в спираль постоянной по площади поперечного сечения трубки, образующей фотокаталитический блок, внутренняя поверхность которого покрыта слоем фотокатализатора, а на стороне поверхности, расположенной ближе к центру фотокаталитического блока, на всем его протяжении прикреплена светодиодная лента с ультрафиолетовыми светодиодами.

Форма поперечного сечения трубки может быть выполнена прямоугольной, трапециевидной или сегментной.

В качестве фотокатализатора используется диоксид титана.

Расстояние между ультрафиолетовыми светодиодами на светодиодной ленте не превышает 30 мм.

За счет выполнения корпуса в виде трубки спиралевидной формы увеличивается площадь фотокаталитической поверхности, что позволяет более интенсивно и качественно очистить воздух от вредных примесей. Кроме того, светодиоды долговечны, ударопрочны, не содержат паров ртути, опасных для человека,

отличаются низким энергопотреблением, не требуют для работы дорогостоящей пускорегулирующей аппаратуры и работоспособны в более широком температурном диапазоне.

5 Расстояние между ультрафиолетовыми светодиодами на светодиодной ленте не должно превышать 30 мм, поскольку при расстоянии больше, чем 30 мм возможно возникновение «мертвых зон», в которых процесс фотокатализа будет нарушен. Выполнение площади поперечного сечения трубки постоянной по всей длине обеспечивает работоспособность фотокаталитического блока.

10 На степень очистки воздуха влияют количество витков спирали, площадь поперечного сечения воздушной камеры и производительность насоса-вентилятора.

В результате проведенного патентного поиска авторами не обнаружено идентичное заявляемому устройство.

15 Совокупность заявляемых признаков воздухоочистителя не известна и не следует явным образом из уровня техники, что позволяет сделать вывод о соответствии заявляемого технического решения критериям «новизна» и «изобретательский уровень».

20 Схема фотокаталитического воздухоочистителя представлена на фиг.1 - внешний вид воздухоочистителя, на фиг.2 - варианты поперечных сечений трубки. Фотокаталитический воздухоочиститель состоит из корпуса 1, выполненный в виде закрученной в спираль трубки, образующей фотокаталитический блок, внутренняя поверхность которого покрыта слоем фотокатализатора 2, в качестве которого используется диоксид титана. Для закачивания загрязненного воздуха внутрь корпуса 25 воздухоочистителя используется насос-вентилятор 3, расположенный на выходе воздухоочистителя. Для предварительной очистки воздуха от пыли на входе воздухоочистителя установлен пылевой фильтр 4 с органическим или неорганическим адсорбентом. На внутренней поверхности корпуса, расположенной ближе к центру фотокаталитического блока, на всем его протяжении прикреплена светодиодная 30 лента 5 с ультрафиолетовыми светодиодами 6 (фиг.2), расстояние между которыми не превышает 30 мм. Форма поперечного сечения корпуса может быть выполнена прямоугольной, трапециевидной или сегментной (фиг.2).

35 Фотокаталитический воздухоочиститель работает следующим образом. Загрязненный воздух, пройдя через пылевой фильтр 4, очищается от пыли, которая снижает фотокаталитическую активность диоксида титана. Очищенный от пыли, но содержащий угарный газ и пары органических соединений воздух, прокачиваемый насосом-вентилятором 3, расположенным на выходе трубки, проходит сквозь 40 спиралевидную трубку и за счет центробежной силы прижимается к внутренней поверхности данной трубки, расположенной дальше от центра спирали. Ультрафиолетовые лучи от светодиодов 6, попадая на диоксид титана, омываемый очищаемым воздухом, активизируют фотокаталитические реакции: при этом угарный газ доокисляется до углекислого, а пары органических соединений распадаются до 45 углекислого газа и водяного пара. Пройдя несколько витков спирали, загрязненный воздух за счет увеличения площади поверхности более интенсивно очищается от вредных примесей. В результате из насоса-вентилятора 3 выходит очищенный воздух.

50 Использование воздухоочистителя представляет интерес для народного хозяйства, так как позволяет значительно улучшить условия труда работников за счет более интенсивного очищения воздуха, снижения концентрации угарного газа и органических паров до безопасных величин, обеспечивает экономичный расход электроэнергии, повышает надежность и долговечность работы воздухоочистителя.

RU 2 497 584 C1

## Формула изобретения

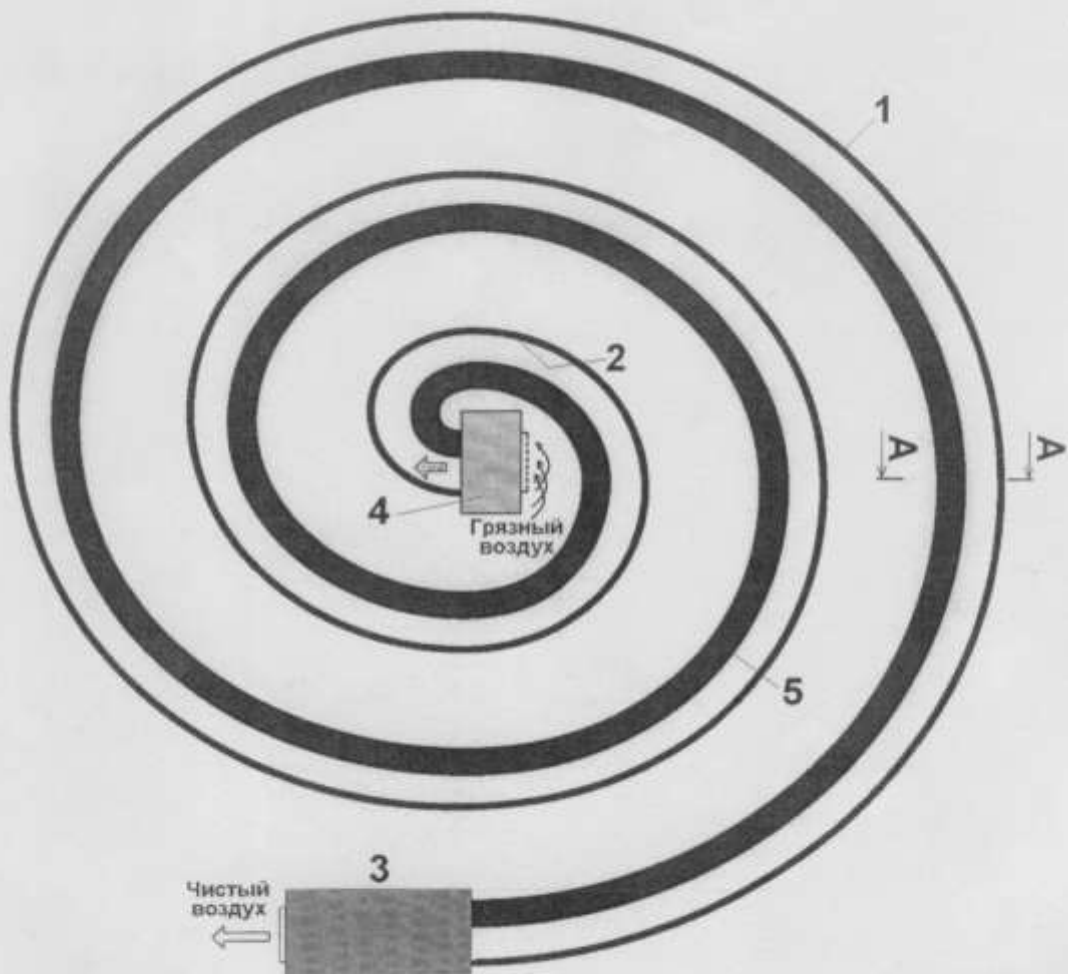
1. Фотокаталитический воздухоочиститель, включающий корпус, насос-вентилятор, фотокаталитический блок, пылевой фильтр с органическим или неорганическим адсорбентом, отличающийся тем, что корпус воздухоочистителя выполнен в виде закрученной в спираль постоянной по площади поперечного сечения трубки, образующей фотокаталитический блок, внутренняя поверхность которого покрыта слоем фотокатализатора, а на стороне поверхности, расположенной ближе к центру фотокаталитического блока, на всем его протяжении прикреплена светодиодная лента с ультрафиолетовыми светодиодами.

2. Фотокаталитический воздухоочиститель по п.1, отличающийся тем, что форма поперечного сечения трубки может быть выполнена прямоугольной, трапециевидной или сегментной.

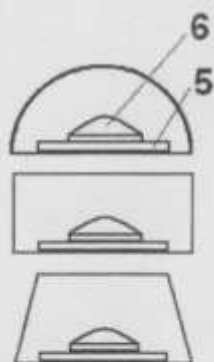
3. Фотокаталитический воздухоочиститель по п.1, отличающийся тем, что в качестве фотокатализатора используется диоксид титана.

4. Фотокаталитический воздухоочиститель по п.1, отличающийся тем, что расстояние между ультрафиолетовыми светодиодами на светодиодной ленте не превышает 30 мм.

RU 2 497 584 C1



Фиг. 1  
A-A



Фиг. 2



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** <sup>(11)</sup>**156 652** <sup>(13)</sup> **U1**

(51) МПК

*B01D 53/86* (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2015106508/05, 25.02.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
25.02.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.02.2015

(45) Опубликовано: 10.11.2015 Бюл. № 31

Адрес для переписки:

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 75, ФГБОУ  
ВО Южно-Уральский ГАУ, кафедра БЖ

(72) Автор(ы):

Зайнишев Альфред Варисович (RU),  
Полунин Георгий Александрович (RU)

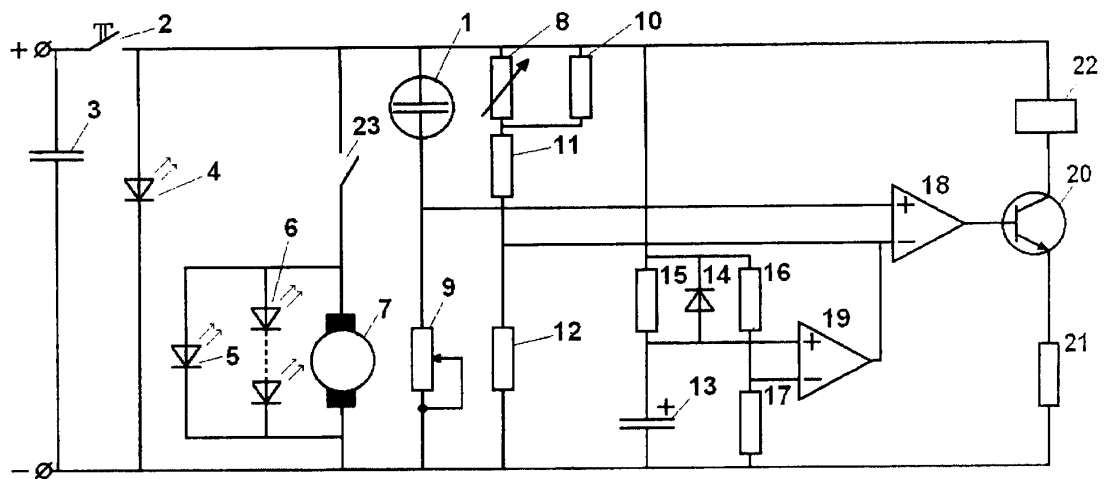
(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Южно-Уральский  
государственный агроинный университет"  
(ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ) (RU)**(54) ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИЙ ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЬ****(57) Формула полезной модели**

1. Фотокаталитический воздухоочиститель, включающий корпус, насос-вентилятор, фотокаталитический блок, пылевой фильтр с органическим или неорганическим адсорбентом, корпус воздухоочистителя выполнен в виде закрученной в спираль постоянной по площади поперечного сечения трубки, образующей фотокаталитический блок, внутренняя поверхность которого покрыта слоем фотокатализатора, а на стороне поверхности, расположенной ближе к центру фотокаталитического блока, на всем его протяжении прикреплена светодиодная лента с ультрафиолетовыми светодиодами, отличающийся тем, что дополнительно установлен блок управления, включающий датчик, реагирующий на изменение концентрации угарного газа и органических соединений, и схему управления светодиодной лентой и насосом-вентилятором.

2. Фотокаталитический воздухоочиститель по п. 1, отличающийся тем, что схема управления содержит конденсатор для защиты электрической схемы от перенапряжений, подключенный к источнику питания, сигнальные светодиоды, резисторы, электролитический конденсатор, диод, компараторы, передающие сигнал на транзистор, соединенный с реле с нормально разомкнутым контактом, включенным последовательно с сигнальным светодиодом, светодиодной лентой и электродвигателем насоса-вентилятора.

RU 156652 U1



RU 1 5 6 6 5 2 U 1



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ  
СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ УРАЛА  
ФИЛИАЛ «ЧЕЛЯБЭНЕРГО»  
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ЧЕЛЯБИНСКИЕ ГОРОДСКИЕ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ  
454080, ЧЕЛЯБИНСКАЯ ОБЛАСТЬ,  
Г. ЧЕЛЯБИНСК, УЛ. III ИНТЕРНАЦИОНАЛА, 114  
ТЕЛ: (351) 267-82-82, ФАКС: (351) 267-88-08  
E-MAIL: UO007884@CHEMRSK-URAL.RU

№ \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Утверждаю:

Главный инженер ПО «ЧГЭС»  
Филиал «Челябэнерго»  
ОАО «МРСК Урала»



М.П.Швец

« 04 » 02 2015 г.

### Акт

внедрения научно-исследовательской работы  
«Улучшение условий и охраны труда персонала оперативных выездных бригад  
применением фотокаталитического воздухоочистителя  
для снижения концентрации оксида углерода  
в кабинах и кузовах мобильных машин»

Комиссия в составе:

Представители ОАО «МРСК Урала»-«Челябэнерго» ПО ЧГЭС:  
главный инженер М.П.Швец  
начальник СМиТ А.А.Гергерт

Представители ЮУрГАУ:  
доцент кафедры БЖ, к.т.н. А.В.Зайнишев  
соискатель Г.А.Полунин

составили настоящий акт о том, что на предприятии внедрены рекомендации по очистке воздуха разработанным фотокаталитическим воздухоочистителем в кабинах и КУНГах мобильных машин, предназначенных для транспортировки персонала оперативных выездных бригад.

Технико-экономические показатели внедрения позволили снизить концентрацию угарного газа до предельно допустимой, что положительно влияет на улучшение условий труда на рабочих местах и способствует увеличению производительности труда. В процессе испытаний фиксировалось снижение концентрации оксида углерода с 38 до 11 мг/м<sup>3</sup>.

Представители  
ЮУрГАУ:

А.В.Зайнишев  
Г.А.Полунин

Представители  
ОАО «МРСК Урала»-«Челябэнерго»  
ПО ЧГЭС:

М.П.Швец  
А.А.Гергерт



СЕРТИФИЦИРОВАНО  
РУССКИМ РЕГИСТРОМ



**ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»**  
**Челябинское отделение филиала «Уральский территориальный округ» федерального**  
**государственного унитарного предприятия «Предприятие по обращению с**  
**радиоактивными отходами «РосРАО»**  
**(Челябинское отделение филиала «Уральский территориальный округ» ФГУП**  
**«РосРАО»)**

УТВЕРЖДАЮ:

Директор Челябинского отделения филиала  
 «Уральский территориальный округ» ФГУП  
 «РосРАО»



Н.Н. Донов  
 « 11 » 03 20 15 г.

**Акт**

внедрения научно-исследовательской работы  
 «Улучшение условий и охраны труда персонала оперативных выездных бригад применением  
 фотокаталитического воздухоочистителя для снижения концентрации оксида углерода  
 в кабинах и кузовах мобильных машин»

Комиссия в составе:

Представители Челябинского отделения  
 филиала «Уральский территориальный округ»  
 ФГУП «РосРАО»:  
 Директор Н.Н. Донов  
 Начальник ПХРО С.В. Божко

Представители ЮУрГАУ:  
 Доцент кафедры БЖ, к.т.н. А.В. Зайнишев  
 Соискатель Г.А. Полунин

составили настоящий акт о том, что на предприятии внедрены рекомендации по очистке воздуха в КУНГах мобильных машин, предназначенных для предупреждения вреда здоровью оперативного персонала обслуживающего ДЭС при производстве работ без остановки дизеля.

Технико-экономические показатели внедрения: использование разработанного фотокаталитического воздухоочистителя позволяет снизить концентрацию угарного газа с 40 мг/м.куб. до 17 мг/м.куб., что положительно влияет на улучшение условий труда на рабочих местах и способствует увеличению производительности труда.

Представители ЮУрГАУ:

 А.В. Зайнишев  
 Г.А. Полунин

Представители ФГУП «РосРАО»:

 Н.Н. Донов  
 С.В. Божко

Утверждаю:  
Директор НП «СЦ АТТ»  
к.т.н. Бондарь В.Н.

«5 августа 2018 г.  
МП

АКТ  
внедрения результатов диссертационной работы Г.А. Полунина  
«Улучшение условий и охраны труда персонала оперативных выездных бригад  
применением фотокаталитического воздухоочистителя  
для снижения концентрации оксида углерода  
в кабинах и кузовах мобильных машин»

Комиссия в составе:

Представители ЮУрГАУ:  
Доцент кафедры БЖ, к.т.н. А.В. Зайнишев  
Соискатель Г.А. Полунин

Представители НП «СЦ АТТ»:  
Главн. научн. сотр., д.т.н. А.А. Малозёмов  
Зав. лабораторией ДВС, к.т.н. О.И. Быстров

составила настоящий акт о том, что в работе НП «СЦ АТТ» используются рекомендации диссертационной работы Г.А. Полунина «Улучшение условий и охраны труда персонала оперативных выездных бригад применением фотокаталитического воздухоочистителя для снижения концентрации оксида углерода в кабинах и кузовах мобильных машин» в части касающейся снижения токсичности отработавших газов поршневых двигателей внутреннего сгорания и разработки систем их очистки от оксида углерода (II).

Представители ЮУрГАУ:

А.В. Зайнишев

Г.А. Полунин

Представители НП «СЦ АТТ»

А.А. Малозёмов

О.И. Быстров

«25» марта 2015 г.

Ю.А. Пашков

внедрения научно-исследовательской работы «Улучшение условий и охраны труда персонала оперативных выездных бригад применением фотокаталитического воздухоочистителя для снижения концентрации оксида углерода в кабинах и кузовах мобильных машин»

Представители ФГКУ «в/ч 2357»:  
Старший инженер АТО Д.А. Габдрафиков  
Инженер АТО Ю.В. Мальцев  
Представители ЮУрГАУ:  
Доцент кафедры БЖ, к.т.н. А.В. Зайнишев  
Соискатель Г.А. Полунин

Технико-экономические показатели: использование разработанного фотокаталитического воздухоочистителя позволило снизить концентрацию угарного газа до предельно-допустимой (от  $35 \text{ мг/м}^3$  до  $8 \text{ мг/м}^3$ ), что положительно влияет на улучшение условий труда на рабочих местах водителя и специалистов в КУНГе грузового специализированного автомобиля, способствует увеличению производительности их труда.

Представители ЮУрГАУ:  
А.В. Зайнишев  
Г.А. Полунин

Представители ФГКУ «в/ч 2357»:  
Д.А. Габдрафиков  
Ю.В. Мальцев



Утверждаю:  
Начальник ЧОТШ ДОСААФ России  
А.В. Байбородин

«26» 06/19 2015 г.

# АКТ

внедрения результатов диссертационной работы Г.А. Полунина  
«Улучшение условий и охраны труда персонала оперативных выездных бригад  
применением фотокаталитического воздухоочистителя  
для снижения концентрации оксида углерода  
в кабинах и кузовах мобильных машин»

Комиссия в составе:

Представители ЮУрГАУ:  
Доцент кафедры БЖ, к.т.н. А.В. Зайнишев  
Соискатель Г.А. Полунин

Представители ЧОТШ ДОСААФ России:  
Начальник учебного отдела А.В. Рябиничев  
Мастер производственного обучения А.В. Королев

составила настоящий акт о том, что в работе ЧОТШ ДОСААФ России используются рекомендации диссертационной работы Г.А. Полунина направленные на улучшение условий и охраны труда мастеров производственного обучения вождению, применением фотокаталитического воздухоочистителя для снижения концентрации оксида углерода в производственных помещениях технического обслуживания автомобилей при проведении работ в части касающейся снижения токсичности отработавших газов двигателей внутреннего сгорания.

Представители ЮУрГАУ:

А.В. Зайнишев  
Г.А. Полунин

Представители ЧОТШ ДОСААФ России

А.В. Рябиничев  
А.В. Королев

# ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «ЭКСПЕРТ-СЕРВИС»

454025, г. Челябинск, ул. Аджарская, д.2 тел. 735-18-47

Утверждаю:  
Директор ООО  
«Эксперт - сервис»  
Ш.Г. Хужиахметов  
« 24 »  2017 г.

## Акт

внедрения научно-исследовательской работы  
«Улучшение условий и охраны труда персонала оперативных выездных  
бригад применением фотокаталитического воздухоочистителя  
для снижения концентрации оксида углерода  
в кабинах и кузовах мобильных машин»

Комиссия в составе:

Представители ООО «Эксперт - сервис»  
Директор Ш.Г.Хужиахметов  
Начальник ПТО А.Н. Ткаченко

Представители ЮУрГАУ:  
Доцент кафедры БЖ, к.т.н. А.В. Зайнишев  
Соискатель Г.А. Полунин

составили настоящий акт о том, что на предприятии внедрены рекомендации по очистке воздуха в кабинах и КУНГах мобильных машин, предназначенных для транспортировки персонала оперативных выездных бригад.

Технико-экономические показатели внедрения: использование разработанного фотокаталитического воздухоочистителя позволяет снизить концентрацию угарного газа до предельно-допустимой концентрации, что положительно влияет на улучшение условий труда на рабочих местах и способствует увеличению производительности труда.

Представители ЮУрГАУ:

А.В. Зайнишев

Г.А. Полунин

Представители ООО «Эксперт - сервис»:

Ш. Г. Хужиахметов

А.Н. Ткаченко

# ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «А-СЕРВИС»

454031, г. Челябинск, ул. Дегтярева, 65-а, тел. 233-44-96, 735-07-21

Утверждаю:

Генеральный директор

ООО «А-сервис»

А.А. Крыленко

06 2015 г.



Акт

внедрения научно-исследовательской работы  
«Улучшение условий и охраны труда персонала оперативных выездных бригад  
применением фотокаталитического воздухоочистителя  
для снижения концентрации оксида углерода  
в кабинах и кузовах мобильных машин»

Комиссия в составе:

Представители ООО «А-сервис»:

Главный механик А.А. Дмитриев

Начальник ПТО И.А. Приставко

Представители ЮУрГАУ:

Доцент кафедры БЖ, к.т.н. А.В. Зайнишев

Соискатель Г.А. Полунин

составили настоящий акт о том, что на предприятии внедрены рекомендации по очистке воздуха в кабинах и КУНГах мобильных машин, предназначенных для транспортировки персонала оперативных выездных бригад.

Технико-экономические показатели внедрения: использование разработанного фотокаталитического воздухоочистителя позволяет снизить концентрацию угарного газа до предельно-допустимой концентрации, что положительно влияет на улучшение условий труда на рабочих местах и способствует увеличению производительности труда.

Представители ЮУрГАУ:

А.В. Зайнишев

Г.А. Полунин

Представители ООО «А-сервис»:

А.А. Дмитриев

И.А. Приставко

ИП Черников Сергей Николаевич  
Свидетельство о гос. регистрации ИП 304744833800171  
Адрес: г. Челябинск, ул. Островского, 5-8.

ИНН 744807483887  
Банк ЗАО "ЧЕЛЯБИНВЕСТБАНК",  
г. Челябинск, 454113, пл. Революции, 8  
БИК 047501779 ИНН 7421000200 КПП 745301001  
кор.сч. 301018104000000000779 ГРКЦ ГУ Банка России  
Р.сч. 40802810290140000659  
ОГРН 1027400001650 ОКПО 09801575 ОКВЭД 16.12.

Утверждаю:  
Директор ИП Черников



Акт  
внедрения научно-исследовательской работы  
«Улучшение условий и охраны труда персонала оперативных выездных бригад  
применением фотокаталитического воздухоочистителя  
для снижения концентрации оксида углерода  
в кабинах и кузовах мобильных машин»

Комиссия в составе:

Представители ИП С.Н. Черников:  
Директор С.Н. Черников  
Главный инженер А.В. Бабушкин

Представители ЮУрГАУ:  
Доцент кафедры БЖ, к.т.н. А.В. Зайнишев  
Соискатель Г.А. Полунин

составили настоящий акт о том, что на предприятии внедрены рекомендации по очистке воздуха в кабинах и КУНГах мобильных машин, предназначенных для транспортировки персонала оперативных выездных бригад.

Технико-экономические показатели внедрения: использование разработанного фотокаталитического воздухоочистителя позволяет снизить концентрацию угарного газа до предельно-допустимой концентрации, что положительно влияет на улучшение условий труда на рабочих местах и способствует увеличению производительности труда.

Представители ЮУрГАУ:

А.В. Зайнишев

Г.А. Полунин

Представители ИП Черников С.Н.:

С.Н. Черников

А.В. Бабушкин

# ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «АРТПРОФСЕРВИС»

454053, г. Челябинск, ул. Троицкий тракт, 48б, оф. 302, тел. 729-21-44,

Утверждаю:  
Директор  
ООО «АРТПРОФСЕРВИС»  
*А.Ю. Бурцев*  
«19» 2015 г.



## Акт

внедрения научно-исследовательской работы  
«Улучшение условий и охраны труда персонала оперативных выездных бригад  
применением фотокаталитического воздухоочистителя  
для снижения концентрации оксида углерода  
в кабинах и кузовах мобильных машин»

Комиссия в составе:

Представители ООО «АРТПРОФСЕРВИС»:  
Главный механик К.А. Бурцев  
Механик П.А. Шадрин

Представители ЮУрГАУ:  
Доцент кафедры БЖ, к.т.н. А.В. Зайнишев  
Соискатель Г.А. Полунин

составили настоящий акт о том, что на предприятии внедрены рекомендации по очистке воздуха в кабинах и КУНГах мобильных машин, предназначенных для транспортировки персонала оперативных выездных бригад.

Технико-экономические показатели внедрения: использование разработанного фотокаталитического воздухоочистителя позволяет снизить концентрацию угарного газа до предельно-допустимой концентрации, что положительно влияет на улучшение условий труда на рабочих местах и способствует увеличению производительности труда.

Представители ЮУрГАУ:

А.В. Зайнишев

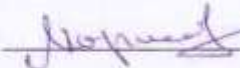
Г.А. Полунин

Представители ООО «АРТПРОФСЕРВИС»:

К.А. Бурцев

П.А. Шадрин

Утверждаю:  
Директор ООО «Компания Крафтер»

 Морозов А.А.  
« 28 » сентября 2015 г.

МП



### Акт

внедрения научно-исследовательской работы  
«Улучшение условий и охраны труда персонала оперативных выездных бригад  
применением фотокаталитического воздухоочистителя  
для снижения концентрации оксида углерода  
в кабинах и кузовах мобильных машин»

Комиссия в составе:

Представители ООО «Компания Крафтер»:

Менеджер Чхартишвили Б.М.

Инженер Лаевский М.С.

Представители ЮУрГАУ:

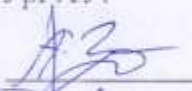
Доцент кафедры БЖ, к.т.н. А.В. Зайнишев

Соискатель Г.А. Полунин

составили настоящий акт о том, что на предприятии внедрены рекомендации по очистке воздуха в кабинах автомобильных машин, предназначенных для междугородных перевозок.

Технико-экономические показатели внедрения: использование разработанного фотокаталитического воздухоочистителя позволяет снизить концентрацию угарного газа до предельно-допустимой концентрации, что положительно влияет на улучшение условий труда на рабочих местах и способствует увеличению производительности труда.

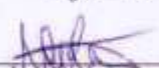
Представители ЮУрГАУ:

А.В. Зайнишев 

Г.А. Полунин 

Представители ООО Компания Крафтер

Чхартишвили Б.М. 

Лаевский М.С. 

Утверждаю:

ИП Пчельников «такси  
Круиз»

« 25.08.2015 г.

МП

## Акт

внедрения научно-исследовательской работы  
«Улучшение условий и охраны труда водителей легковых автомобилей такси с  
применением фотокаталитического воздухоочистителя  
для снижения концентрации оксида углерода  
в кабинах машин»

Комиссия в составе:

Представитель И.П. Пчельников Ю.И. «такси Круиз»:  
Директор Пчельников Ю.И.  
Начальник СМиТ А.А. Гергерт

Представители ЮУрГАУ:  
Доцент кафедры БЖ, к.т.н. А.В. Зайнишев  
Соискатель Г.А. Полунин

составили настоящий акт о том, что на предприятии внедрены рекомендации по  
очистке воздуха в кабинах автомобилей такси, предназначенных для перевозки  
пассажиров.

Технико-экономические показатели внедрения: использование  
разработанного фотокаталитического воздухоочистителя позволяет снизить  
концентрацию угарного газа до предельно-допустимой концентрации, что  
положительно влияет на улучшение условий труда на рабочих местах и  
способствует увеличению производительности труда.

Представители ЮУрГАУ:

А.В. Зайнишев

Г.А. Полунин

Представитель

ИП. Пчельников Ю.И. «такси Круиз»

Ю.И. Пчельников

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе  
ФГОУ ВПО «Южно-Уральский  
государственный университет»  
(национальный исследовательский университет),  
доктор технических наук, профессор  
Радионова А.А.  
«08» 09 2015 г.



## СПРАВКА

о внедрении результатов

диссертационной работы Г.А. Полунина

**«Улучшение условий и охраны труда персонала оперативных выездных бригад применением фотокаталитического воздухоочистителя для снижения концентрации оксида углерода в кабинах и кузовах мобильных машин»**

Результаты диссертационной работы Полунина Георгия Александровича «Улучшение условий и охраны труда персонала оперативных выездных бригад применением фотокаталитического воздухоочистителя для снижения концентрации оксида углерода в кабинах и кузовах мобильных машин» внедрены в учебный процесс Южно-Уральского государственного университета, в частности:

– при изучении студентами направления «Электроэнергетика и электротехника» дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» – анализ существующих методов и средств защиты персонала оперативно-выездных бригад от воздействия опасных и вредных химических соединений, образующихся при работе двигателей внутреннего сгорания;

– при изучении студентами направления «Техносферная безопасность» дисциплины «Основы электробезопасности» – влияние оксида углерода на сопротивление тела и цветовосприятие электротехнического персонала.

Заведующий кафедрой  
«Безопасность жизнедеятельности»  
ФГБОУ ВПО ЮУрГУ (НИУ),  
доктор технических наук, профессор

Сидоров А.И.

## СПРАВКА

об использовании материалов кандидатской диссертации  
Полунина Георгия Александровича  
«Улучшение условий и охраны труда персонала оперативных выездных бригад  
применением фотокаталитического воздухоочистителя для снижения  
концентрации оксида углерода в кабинах и кузовах мобильных машин»  
в учебном процессе кафедры «Безопасность жизнедеятельности»  
ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

С 2012 года по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» преподается материал из кандидатской диссертации Полунина Г.А., связанный с устранением вредного воздействия на человека оксида углерода (угарного газа) в кабинах и кузовах мобильных машин.

Декан факультета ТСС



С.А. Барышников

Заведующий кафедрой

А.В. Богданов

МИНИСТЕРСТВО ТРУДА И СОЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ ОХРАНЫ И ЭКОНОМИКИ ТРУДА»  
ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ФИЛИАЛ  
(ЮУрФ ФГБУ «ВНИИ охраны и экономики труда» Минтруда России)

---

СПРАВКА

Об использовании материалов кандидатской диссертации Г.А.Полунина «Улучшение условий и охраны труда персонала оперативно-выездных бригад применением фотокаталитического воздухоочистителя для снижения концентрации оксида углерода в кабинах и кузовах мобильных машин»  
в процессе повышения квалификации руководителей и специалистов  
в области охраны труда  
в ЮУрФ ФГБУ «ВНИИ охраны и экономики труда»

С 2014 года при проведении курсов «Охрана труда», «Пожарная безопасность», «Электробезопасность» преподавателями используются материалы из кандидатской диссертации Полунина Г.А., связанные с улучшением условий и охраны труда на рабочих местах персонала.

Директор ЮУрФ

ФГБУ «ВНИИ охраны и экономики труда»



/ Е.Г. Колганов