



**ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
химико-технологический университет
Кафедра «Промышленная экология»
МБОУ «Средняя школа № 26» г. Иваново**



**Всероссийский конкурс юных исследователей окружающей
среды им. Б.В. Всесвятского (с международным участием)**

Направление «Зелёная инженерия»

**Проектная работа на тему:
«Разработка 3Д-модели кейса для электронных
датчиков контроля вредных веществ в воздухе»**

Выполнил:
ученик 10 класса
СШ № 26 г. Иваново
Буймов Станислав Дмитриевич

Руководитель:
к.х.н., доцент каф. ПЭ ИГХТУ
Буймова Светлана Александровна

Иваново, 2025

АННОТАЦИЯ

Проектная работа посвящена разработке 3Д-модели универсального переносного кейса для электронных датчиков контроля вредных веществ в воздухе. В программе *Blender 3D* были построены 3Д-модели датчиков, применяемые для фиксирования наличия в атмосферном воздухе углекислого газа (CO₂) и метана (CH₄). <https://drive.google.com/drive/folders/1CPQhVD6iG1IrPjAnEYwrIDfr2UR5Goy?usp=sharing>. Аналогичные датчики применяются для контроля содержания формальдегида (НСОН) и других веществ, поступающих в окружающую среду с газовыми выбросами от промышленных предприятий, различных установок и автотранспорта.

Работа изложена на 25 стр., содержит 2 таблицы и 9 рисунков.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Введение	4
Глава 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	5
1.1. Уровень загрязнения атмосферного воздуха	5
1.2. Оборудование для контроля уровня загрязнения атмосферного воздуха	10
Глава 2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	18
Построение 3D-модели в программе Blender 3D	18
Глава 3. ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ	19
ВЫВОДЫ	24
ПЕРСПЕКТИВЫ РАБОТЫ	24
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	24

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение воздуха – это основная причина глобальной экологической угрозы. Чаще всего и больше всего загрязняют атмосферу: углекислый газ (CO_2), двуокись серы (SO_2), оксиды азота (N_xO_y), пыль (твёрдые взвешенные частицы – ТВЧ) и некоторые органические вещества.

Воздух загрязняют любые вещества: газообразные, твёрдые и жидкие, если они содержатся в нём в количествах, превышающих их среднее содержание. Загрязнение воздуха – это наиболее опасное из всех видов загрязнений, поскольку оно мобильно и может загрязнять практически все компоненты окружающей среды (водные объекты, почвенный и растительный покров) путём трансграничного переноса вредных веществ на больших территориях.

Поэтому осуществлять постоянный контроль (экологический мониторинг) за состоянием окружающего атмосферного воздуха (в частности содержанием вредных примесей) в городах и сельской местности, а также на территории промышленных предприятий, является актуальной практической задачей.

Для этого применяются различные виды приборов и оборудования, в том числе электронные датчики, фиксирующие наличие различных компонентов и их концентрацию в воздухе. Однако не существует универсального переносного прибора, позволяющего измерить концентрацию сразу нескольких веществ. В настоящее время применяются электронные датчики, фиксирующие концентрацию отдельных компонентов, и они являются стационарными, требующими подключения к постоянному источнику тока.

В связи с этим **целью работы** было разработать 3Д-модель универсального переносного кейса для нескольких электронных датчиков контроля вредных веществ в воздухе. Для этого были поставлены следующие **задачи**:

- изучить модификации различных электронных датчиков, которые применяются для фиксирования содержания загрязняющих веществ в воздухе;
- визуализировать электронные датчики, построив 3Д-модель в программе *Blender*;
- разработать и выполнить построение 3Д-модели универсального переносного кейса, рассчитанного для нескольких датчиков;
- напечатать на 3Д-принтере полученную модель кейса, который можно применять в полевых условиях для замеров уровня концентраций вредных веществ в воздухе.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. УРОВЕНЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Причины загрязнения атмосферы

Атмосфера Земли — защитная газовая оболочка нашей планеты, состоящая преимущественно из азота (N_2) и кислорода (O_2). Атмосфера защищает Землю от губительного ультрафиолетового излучения Солнца. Только благодаря её защите возможно существование жизни на Земле. Ухудшение состояния атмосферы — это одна из наиболее важных проблем для всего человечества. Загрязнение воздуха представляет собой одну из самых серьёзных угроз для здоровья людей.

Существуют различные причины загрязнения атмосферной оболочки Земли. Все они делятся на 2 группы:

1. **Естественные** — источником загрязнения выступают природные явления.
2. **Антропогенные** — являются следствием деятельности человека.

По времени воздействия загрязнения делятся на 2 типа:

1. Единичные.
2. Постоянные.

Например, авария, которая привела к разовому выбросу вредных газов в атмосферу — это единичное загрязнение. Если в результате деятельности промышленного предприятия в атмосферный воздух ежедневно поступают вредные соединения, то говорят о постоянном загрязнении [1].

Основные источники атмосферного загрязнения

Загрязнители делятся на 3 вида:

1. **Химические** — это химические вещества, которые попадают в атмосферу в виде газообразных веществ или аэрозолей.
2. **Биологические** — представляют собой результат деятельности живых организмов. Биологическое загрязнение воздуха происходит через вирусы, споры грибов и бактерий, токсины.
3. **Физические** — обусловлены разнообразными физическими явлениями.

К физическим загрязнителям относятся подвиды:

- механические — это пыль и твёрдые частицы, поднимаемые в воздух;
- тепловые выбросы;
- электромагнитные волны;
- шумовое воздействие;
- радиоактивное излучение [1].

Главным фактором ухудшения атмосферы является **антропогенная деятельность** — любое воздействие человека на природу, связанное с

реализацией его экономических, рекреационных, культурных и других интересов.



Антропогенные источники загрязнения атмосферы:

1. **Промышленные предприятия** — в результате их производственной деятельности в воздух поступают вредные газообразные вещества и твёрдые частицы. Особенно большой вред оказывают металлургические и химические предприятия.
2. **ТЭС** — тепловые электростанции являются одним из главных источников загрязнения. Они выбрасывают в атмосферу большое количество углекислого и угарного газа, соединения тяжёлых металлов, частицы несгоревшего топлива.
3. **Транспорт** — выхлопные газы загрязняют атмосферу высокотоксичными соединениями свинца, оксидами азота, углеводородами и другими опасными веществами. Пятая часть парниковых газов в мире обусловлена транспортной деятельностью.
4. **Добыча полезных ископаемых** — при добыче разных видов минеральных и энергетических ресурсов происходит загрязнение воздуха. Например, при разработке нефтегазовых месторождений из-за разницы в давлении наружу выбрасывается горячий фонтан. При добыче разных видов руды мелкие частицы минерального сырья оседают в воздухе и затрудняют дыхание.
5. **Сельскохозяйственная деятельность** — метановые выделения крупного рогатого скота приводят к увеличению парникового эффекта, а пестициды попадают почвенный и растительный покров, а также водные объекты.
6. **Захоронения отходов** — на полигонах по хранению и захоронению отходов последние разлагаются, выделяя токсичные газы.

В России почти половина вредных выбросов в воздух связана с деятельностью предприятий добывающей и металлургической отрасли.

Существует три основных вида источников выбросов в атмосферу:

- **точечные** – это крупные промышленные предприятия, выделяющие пыль, диоксид серы, оксид азота, оксид углерода, соединения тяжёлых металлов;
- **площадные (рассеянные)** – это локальные котельные, небольшие промышленные предприятия, выделяющие в основном пыль и диоксид серы;
- **линейные** – это загрязняющие источники, которые имеют большую протяжённость. Ответственные за выбросы оксидов азота, оксидов углерода, ароматических углеводородов, соединений тяжёлых металлов (прежде всего свинца, а также платины, палладия и родия из автомобильных катализаторов) [2].

Вещества, загрязняющие атмосферу

По химическому составу основными загрязнителями воздуха являются следующие вещества:

1. **Угарный газ (CO)** — токсичное вещество без цвета и запаха. Образуется в результате неполного сгорания угля, газа, нефти и других видов ископаемого топлива. При вдыхании образует соединения с гемоглобином крови, препятствуя поступлению кислорода. В больших концентрациях приводит к гибели от удушья.
2. **Углекислый газ (CO₂)** — бесцветный газ без запаха, является одним из источников парникового эффекта.
3. **Диоксид серы (SO₂)** — образуется при сжигании серосодержащего топлива и переработке сернистых руд. Причина образования кислотных дождей. При длительном воздействии оказывает негативное влияние на работу дыхательной и сердечно-сосудистой системы.
4. **Оксиды азота (N_xO_y)** — образуются в процессе сгорания, а также при получении азотных удобрений. Главный источник оксидов азота — это выхлопные выбросы автомобильного транспорта. Являются активным компонентом смога, вызывают ряд хронических заболеваний.
5. **Соединения свинца (Pb²⁺)** — относится к тяжёлым металлам. 80 % свинца попадает в воздух из выхлопных газов транспорта, остальная часть связана с выбросами на химическом производстве. Попадая в организм человека, соединения свинца оказывают токсическое воздействие на работу центральной нервной системы.
6. **Углеводороды (в т.ч. летучие органические соединения)** — органические соединения, состоящие из разных комбинаций углерода и водорода. Попадают в атмосферу из несгоревшего бензина и др. видов топлива и как побочный продукт химической промышленности. Вызывают нарушения в экосистемах, оказывают негативное влияние на здоровье человека.

7. **Пыль (твёрдые взвешенные частицы – ТВЧ)** – образуется при сгорании твёрдых видов топлива. При вдыхании вызывает бронхо-лёгочные заболевания [3].

Негативное влияние на окружающую среду

Загрязнение воздуха грозит появлением многих опасных последствий, например:

1. **Истончение озонового слоя.** Озоновый слой (O_3) — это часть атмосферы на высоте от 20 до 40 км в основном на Южном полюсе, является «защитным экраном», предохраняющим Землю от сильного ультрафиолетового излучения со стороны Солнца. Под воздействием вредных веществ озоновый слой истощается, что приводит к повышению естественной радиации. Скорость снижения составляет около 3 % в год. Наибольшее значение в этом процессе имеют хлорфторуглероды (фреоны), из которых выделившийся хлор (под воздействием ультрафиолетового излучения) атакует молекулы озона, что приводит к выделению кислорода (O_2) и оксида хлора(II) (ClO).
2. **Глобальное потепление (парниковый эффект).** Из-за выбросов парниковых газов (которые ограничивают тепловое излучение от поверхности Земли и нижней атмосферы в космос) температура на планете постоянно повышается. Это может привести к глобальному изменению климата. За этим могут последовать различные природные катаклизмы, в том числе таяние ледников, наводнения и т. д.
3. **Кислотные дожди** – осадки с низким уровнем величины рН. Вредные выбросы участвуют в формировании осадков, меняя их состав. Они содержат серную кислоту (H_2SO_4), образованную в атмосфере, загрязнённой оксидами серы в результате сжигания сульфатированного угля, а также азотную кислоту (HNO_3), образованную из оксидов азота. Кислотные дожди приводят к гибели наземной и водной флоры и фауны, негативно сказываются на здоровье людей.
4. **Смог** – загрязненный воздух, содержащий высокую концентрацию пыли и токсичных газов, источником которого являются в основном автомобили и промышленные предприятия. Загрязнение воздуха, вызванное автомобилями, является причиной около 1/4 смертей в крупных городах.
5. **Влияние на экосистемы.** Природные экосистемы сбалансированы и основаны на круговороте веществ. Изменение одного из компонентов может привести к нарушению функционирования всей системы в целом. Загрязненные частицы из атмосферного воздуха вместе с осадками попадают в почву и подземные воды. Это может вызывать гибель живых существ и нарушение пищевых цепочек [4].

Негативное влияние на здоровье

В организм человека токсические вещества из воздуха попадают двумя основными способами:

1. Прямой путь — через дыхательные пути.
2. Косвенный путь — через пищу. Вредные частицы из воздуха попадают в водоём, почву и растения, становятся частью пищевой цепочки.

Загрязнённый воздух оказывает негативное воздействие на весь организм человека, но особенно страдают органы дыхания и сердечно-сосудистая система. На сегодняшний день установлена прямая связь между вдыханием загрязнённого воздуха и развитием следующих заболеваний: бронхитов; астмы; атеросклероза; инсультов; рака лёгких.

По данным ВОЗ ежегодно от последствий вредных выбросов в атмосферу и других причин загрязнения воздуха погибает около 7 млн. человек. Особенно остро стоит проблема загрязнения воздуха в крупных городах. Выбросы опасных веществ там во много раз превышают норму.

Ухудшение состояние здоровья из-за отсутствия доступа к чистому воздуху негативно сказывается и на экономике. Люди больше времени проводят на больничном, снижается работоспособность и производительность труда. По данным Минздрава в России от последствий загрязнения воздуха ежегодно умирает не менее 120 тысяч человек [4].

Пути решения проблемы загрязнения атмосферы

Существуют разные способы уменьшения нагрузки на атмосферу и улучшения качества воздуха:

1. Обновление природоохранного законодательства.
2. Сокращение количества промышленных выбросов.
3. Создание экологически безопасных производств, использующих наилучшие доступные технологии.
4. Переход на альтернативную энергетику.
5. Изменение структуры работы транспорта.
6. Увеличение количества зелёных насаждений.
7. Вторичная переработка отходов.

Почему во многих странах проблема загрязнения воздуха не решается

Большая часть вредных выбросов в атмосферу образуется на промышленных и добывающих предприятиях. Главы крупных компаний и корпораций не готовы терять свои доходы, поэтому тормозят развитие экологической индустрии. Поэтому необходима консолидация всего общества. С этой целью следует:

- создавать и поддерживать работу общественных организаций по охране природы;
- проводить законодательные инициативы в области экологии;

- формировать ответственное отношение бизнеса к природе через систему штрафов и поощрений [4].

Таким образом, основными источниками загрязнения воздуха являются: индустриализация и растущее население, энергетическая отрасль, транспорт, природные источники. Для улучшения экологической обстановки необходима комплексная работа, включающая непрерывный мониторинг состояния объектов окружающей природной среды, разработку и установку систем очистки газовых выбросов, внедрение наилучших доступных технологий, а также просветительская работа в сфере экологии.

1.2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Газоанализаторы атмосферного воздуха – критически важные приборы для мониторинга загрязнения окружающей среды. Они позволяют обнаруживать и количественно определять присутствие опасных газов, таких как угарный газ (CO), сероводород (H₂S), различные оксиды азота (NO_x) и серы (SO_x), а также летучие органические соединения (VOCs) и многие другие. С помощью этих устройств можно следить за соблюдением экологических норм и предотвращать воздействие вредных веществ на здоровье человека и окружающую среду.

Газоанализаторы воздуха применяются не только для мониторинга загрязнений в атмосфере, но и для контроля уровня газов на промышленных объектах, в зонах с высоким риском утечек, на транспорте, в жилых и общественных зданиях. Их мобильность и возможность интеграции с системами автоматического контроля делают их незаменимыми для обеспечения экологической безопасности и оперативного реагирования на чрезвычайные ситуации.

Точность и надёжность газоанализаторов постоянно улучшаются благодаря развитию технологий. На сегодняшний день эти приборы являются неотъемлемой частью систем экологического мониторинга, помогая сохранять качество воздуха и предотвращать экологические катастрофы.

На сегодняшний день на рынке представлен широкий ассортимент систем контроля качества воздуха. Приведём примеры некоторого оборудования.

Стационарные газоанализаторы

Предназначены для непрерывного автоматического отслеживания загазованности в рабочих зонах промышленных предприятий, в химических лабораториях, шахтах, жилищно-коммунальных хозяйствах, крытых парковках. При превышении допустимого процента содержания опасных веществ срабатывает световой и/или звуковой сигнал оповещения, а также приводится в действие внешнее оборудование, например, вытяжные

вентиляторы. Для безопасности контроля предусмотрено дистанционное управление с помощью инфракрасного пульта.



Рис. 1.1. Примеры стационарных газоанализаторов от компании ПКФ «ТОП-СЕНС» [5]

Стационарные газоанализаторы — это высокотехнологичные устройства, предназначенные для автоматического и непрерывного контроля концентрации кислорода, горючих и токсичных газов в воздухе рабочей зоны. Установка и эксплуатация этих приборов осуществляется на фиксированном месте, а в случае превышения пороговых значений опасных веществ, они подают световую и звуковую сигнализацию. При наличии соответствующих систем, газоанализаторы также могут активировать вентиляционные и другие системы безопасности.

Преимущества стационарных газоанализаторов:

- высокая точность измерений и надежность работы;
- долговечность и доступная цена;
- возможность одновременного анализа нескольких компонентов газовой смеси;
- дистанционное управление датчиками и внешними устройствами.

Области применения стационарных газоанализаторов:

- топливная и химическая промышленность;
- горнодобывающие предприятия;
- энергетические компании и теплоэлектростанции;
- склады ГСМ (горюче-смазочных материалов) и трубопроводы;
- объекты ЖКХ и водоканалы;
- судоходство, порты и танкеры.

Представленные на рис. 1.1 модели газоанализаторов позволяют одновременно контролировать уровень таких газов, как оксид углерода (CO), сероводород (H₂S), кислород (O₂) и метан (CH₄). Приборы имеют

межповерочный интервал и могут быть настроены для анализа других токсичных веществ, таких как аммиак (NH_3) и хлор (Cl_2).

Срок службы не менее 10 лет. Работа газоанализаторов позволяет осуществлять постоянный мониторинг выбросов и изменения в рабочей зоне в режиме реального времени [5].

Стационарная система контроля качества воздуха «АТМОСФЕРА» от НПО ПРИБОР ГАНК (производитель газоаналитического оборудования)



Рис. 1.2. Внешний вид и устройство стационарной системы контроля качества воздуха «АТМОСФЕРА» [6]

Стационарная система контроля качества воздуха "Атмосфера" состоит из газоанализаторов ГАНК-4, счётчика взвешенных частиц, метеостанции, радиомодема, станции связи, сервера с интернетом, пользовательского ПО, для удалённого контроля, управления работой каждого стационарного поста и интеграцией в существующие информационные системы. Отличительной особенностью является модульная конструкция, которая позволяет дальнейшее изменение или расширение перечня измеряемых компонентов. Удаленное управление, обработка или передача данных. Простота и удобство работы с веб интерфейсом.

Измеряемые вещества: оксид углерода (CO), диоксид углерода (CO_2), диоксид серы (SO_2), сероводород (H_2S), диоксид азота (NO_2), аммиак (NH_3), метан (CH_4), озон (O_3), формальдегид (CH_2O), взвешенные частицы $\text{PM}_{2,5}$; PM_{10} и др. вещества.

PM_{10} – фракция PM с размером до 10 микрон и $\text{PM}_{2.5}$ – размер до 2,5 микрон. Средний человеческий волос составляет 70 микрон в диаметре. Что, примерно, в 30 раз больше самого большого диаметра $\text{PM}_{2.5}$. Размер важен. Это довольно мало, чтобы быть вдыхаемым глубоко в лёгкие, где возможно проникновение в кровоток.

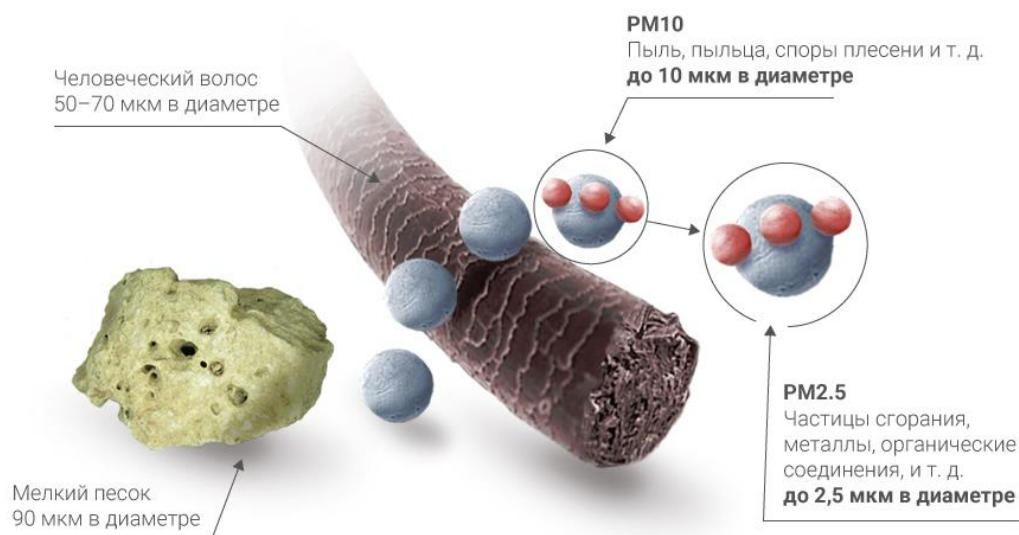


Рис. 1.3. Размеры ТВЧ: PM 2,5 в сравнении с человеческим волосом, пляжным песком и средними частицами (PM 10)

Измеряемые метеоданные: температура, влажность, атмосферное давление, скорость и направление ветра.

Корпус стационарного поста состоит из обогреваемого шкафа (класс пылевлагозащиты IP 54, взрывозащиты 1EXedIICT4Gbx), вандалоустойчивый.

Интерфейсы: стандартные (4-20 мА , RS485 Modbus RTU), настройки через API и другие интерфейсы и, помимо обмена данными, возможность управления внешними исполнительными устройствами (вентиляцией, сигнализацией и т.п.).

Напряжение питания: 90 – 250 В

Частота тока питания: 50 Гц

Рабочий диапазон температур нижняя граница/: не ниже -50 °С
верхняя граница: не выше +50 °С

Поддерживаемые протоколы беспроводной связи: GSM, LoRaWAN, NB-IoT

Продолжительность автономной работы: ≥ 12 ч

Дополнительно к стационарному экопосту контролю качества воздуха компания предлагает клиентское программное обеспечение:

- визуализация результатов измерений и отчёты для дальнейшей обработки;
- удалённый контроль состояния приборов внутри стационарного поста и управление их работой;
- различные виды представления информации на сервере (таблицы, графики, диаграммы и т.д.);
- управление пользовательским доступом к полученной информации;
- возможность проведения аналитики прошедших и текущих показателей, а так же возможность предсказательного анализа;
- интеграция с различными информационными системами;

- гибкое расширение функционала и создание дашбордов за счёт платформенных решений [6].

Отметим, что представленное оборудование является стационарным и не даёт возможность оперативно определить уровень загрязнения в полевых условиях или на выезде.

Портативные (переносные) газоанализаторы

Используются для периодического контроля воздуха рабочей зоны, атмосферы. Отслеживают токсичные, горючие вещества, выхлопные газы, летучие органические соединения. Фиксируют уровень кислорода. Портативный (переносной) газоанализатор оповещает о превышении установленных порогов срабатывания звуковым, световым сигналами или вибрацией. Выводят результаты на цифровой экран. Источник питания — аккумуляторная батарея. Используемые способы отбора проб газа: принудительная и естественная диффузия.



Рис. 1.4. Примеры портативных (переносных) газоанализаторов от компании ПКФ «ТОП-СЕНС» [5]
а – одноканальные; б – многоканальные

Портативные газоанализаторы являются незаменимыми приборами для контроля качества воздуха в рабочей зоне, обеспечивая мониторинг кислорода, токсичных и горючих газов. Эти устройства отображают результаты на цифровом экране и подают звуковые, световые или вибрационные сигналы тревоги при превышении допустимых уровней.

Газоанализаторы предлагаются в двух типах: с системой принудительного отбора проб и диффузионного отбора проб. Переносные газоанализаторы позволяют контролировать как воздух на рабочем месте, так и окружающий воздух, включая отработанные газы и пары. Приборы обладают компактным дизайном, что позволяет удобно закреплять их на рабочей одежде.

Одноканальные модели позволяют точно измерять концентрацию одного газа, лёгкие и мобильные, не требуют сложных калибровок и настройки.

Количество измеряемых веществ на многоканальных моделях варьируется от одного до шести. Все модели газоанализаторов являются взрывозащищенными и имеют высокий класс защиты от пыли и влаги [5].

Однако подобные модели газоанализаторов имеют недостатки: низкая точность и высокая погрешность измерений.

Крупной компанией по производству мобильных лабораторий и поставке промышленного оборудования является НПП АЛЕРОМ [7]. На официальном сайте компании представлен широкий ассортимент газоанализаторов.



GAMMA-100

Многофункциональный газоанализатор многокомпонентных смесей



DUSTMATE

Автоматический анализатор пыли



Метан-CH4

Газоанализатор переносной



GC 5000 BTEX

Поточный газовый хроматограф концентраций органических веществ в диапазоне C6-C12 в атмосферном воздухе и промышленных выбросах



Shepherd FTIR

Система непрерывного мониторинга примесей в воздухе в режиме реального времени



Teledyne T100.200.300.400

Газоанализаторы оксида серы SO₂, оксидов азота NO/NO₂/Nox, монооксида углерода и озона в атмосферном воздухе



Serinus

Газоанализатор для точного измерения диоксида серы и сероводорода в атмосферном воздухе на принципе флуоресценции



Serinus 10

Газоанализатор для точного измерения озона в атмосферном воздухе на принципе ультрафиолетовой абсорбции



Serinus 30.40.44

Газоанализаторы воздуха



AL4021

Система для непрерывного измерения концентрации формальдегида (НСОН) в газах и жидкостях

Рис. 1.5. Виды газоанализаторов от компании НПП АЛЕРОМ [7]

Недостатки некоторых датчиков (на примере приборов по контролю ТВЧ РМ 10):

Многие датчики твёрдых частиц (РМ) являются фотометрами. Это означает, что они оценивают количество РМ в воздухе на основе того, сколько света от лазера или светодиода блокируется или рассеивается, когда этот свет проводят через воздух. Есть много факторов, которые могут вмешиваться в эти процессы, такие как:

- различные виды твёрдых частиц могут рассеивать свет по-разному в зависимости от их размера, формы и цвета. Например, частицы более

тёмного цвета будут рассеивать меньше света, чем частицы более светлого цвета. Калибровка по этим факторам необходима для высокоточных оценок;

- некоторые очень маленькие РМ могут быть пропущены светом, прошедшим через воздух;
- некоторые РМ настолько велики, что они могут не попасть в камеру датчика;
- частицы пыли сами по себе могут накапливаться на устройстве с течением времени и блокировать датчик. Одним из способов может быть очистка сжатым воздухом;
- источник света LED или лазер из-за временного затемнения могут дать неточную информацию для оценки;
- датчик нуждается в разумном количестве воздуха, проходящего в его камеру обнаружения и выходящего из неё, чтобы произвести надёжные оценки уровней загрязнения, поскольку они изменяются с течением времени. Если он находится в месте, где поток воздуха заблокирован или существенно уменьшен, то возможна недооценка концентрации частиц;
- влажность и температура могут сильно повлиять на показания приборов. Например, если вы принесёте датчик рядом с душем, он будет «чувствовать» много твёрдых частиц в воздухе, но на самом деле он обнаруживает водяной пар.

Недостатки некоторых портативных датчиков (на примере приборов по контролю за ЛОС)

Мониторы, которые показывают концентрацию таких газов, как СО и NO₂, как правило, стоят дорого. Портативные датчики ЛОС (летучих органических соединений) являются менее дорогими, но имеют ограничения из-за сложности, необходимой для измерения концентрации газа. Некоторые датчики ЛОС потребительского класса не очень чувствительны. Ограничения включают:

- как правило, портативный датчик ЛОС не будет измерять один конкретный ЛОС. Вместо этого он, скорее всего, будет измерять общую смесь нескольких ЛОС (называемых ТЛОС). Если это так, то датчик может варьировать свою реакцию на различные типы летучих органических соединений. Например, он может увеличить оценку одного соединения по сравнению с другим, возможно, на значительный коэффициент. Тогда итоговое значение может быть завышено. Это становится очень важным, потому что некоторые ЛОС более опасны, чем другие;
- загрязнение от других газов может дать неточные данные. Например, при измерении ЛОС, датчик может обнаружить другие газы, такие как СО и NO₂, которые внесут вклад в значение на приборе и оно будет завышенным;

- газовые датчики должны регулярно калиброваться для поддержания их надёжности. В противном случае их измерения могут «дрейфовать» и со временем становиться менее точными;
- температура и влажность должны контролироваться или калиброваться при использовании газового датчика, иначе это может повлиять на показания прибора [8].

ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Построение 3D-модели в программе Blender 3D

Преимуществом использования программы Blender 3D является её быстрая и простая установка на любой компьютер. Моделирование позволяет создавать, трансформировать, моделировать и редактировать 3D-объекты. В Blender 3D предусмотрены следующие инструменты для моделирования:

1. Горячие клавиши.
2. Нгоны — сетка модели из многоугольников.
3. Заливка сетки.
4. Скрипты Python для пользовательских инструментов и надстроек.
5. Модификаторы — инструменты, которые позволяют менять объекты без изменения их геометрии (например, можно менять свойства, размер и форму).

6. UV-развёртка — процесс, при котором 3D-модель «разворачивается» на 2D-плоскость для правильного нанесения текстур. Таким образом, можно создавать проекции быстрого куба, цилиндра и сферы. В Blender предусмотрены конформная и угловая развёртки (со швами по краям и закреплением вершин) и возможность захватывать, зажимать и сглаживать UV-развёртки.

Рисование и скульптинг — позволяет создавать сложные формы и детали. В Blender 3D предусмотрены следующие инструменты для цифровых скульптур и рисунков:

1. Grease Pencil — позволяет рисовать в трёхмерном пространстве с помощью имитации карандаша. Объект Grease Pencil имеет три основных компонента: точки, линии редактирования и штрихи. Может использоваться для создания традиционной 2D-анимации, вырезной анимации, анимированной графики или в качестве инструмента раскадровки.

2. Режим рисования — это режим Grease Pencil, с помощью которого можно рисовать в 3D-виде.

3. Режим скульптуры — похож на режим редактирования из анимации, но вместо работы с отдельными элементами (точками и линиями редактирования) область модели изменяется с помощью кисти.

4. Визуальные эффекты — позволяют применять размытие, пикселизацию, волновое искажение и др.

5. Материалы — определяют цвет, текстуру штрихов и заполненных областей.

Рендеринг — генерация фотореалистичных изображений и анимации с использованием встроенных рендеров. В Blender есть стандартный движок Cycles с поддержкой нескольких графических процессоров: NVIDIA (CUDA, OptiX), AMD (HIP), Intel (OneAPI), Apple (Metal). В программу включены несколько рендеров:

1. Геометрия штрихов.
2. Перемещение — включает схемы, смещение и отображение рельефов.
3. Затенение — источники света на основе узлов, распределение сияния (BSDF).
4. Освещение — точечное, солнечное, зональное и глобальное освещение. Также в рендер входят сетчатые фонари, окружающий свет, модель неба.
5. Камера и эффекты — перспективные, орфографические, панорамные камеры.
6. Размытие в движении.
7. Текстуры изображений карты окружающей среды, процедурные текстуры.

ГЛАВА 3. ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе применялись следующие датчики.

Датчик метана 0-100LEL CH₄, детектор концентрации RS485 0-5 в 0-10 в 4-20 мА, датчик газа с цифровым дисплеем на выходе [9]

Описание модели и её функциональные особенности

Датчик метана использует профессиональный высокочувствительный датчик обнаружения горючего газа. Данная модель имеет широкий диапазон измерения, обладает высокой точностью, датчик универсален, удобен для использования и установки, работает на большом расстоянии.

Внешний вид датчика метана представлен на рис. 3.1.



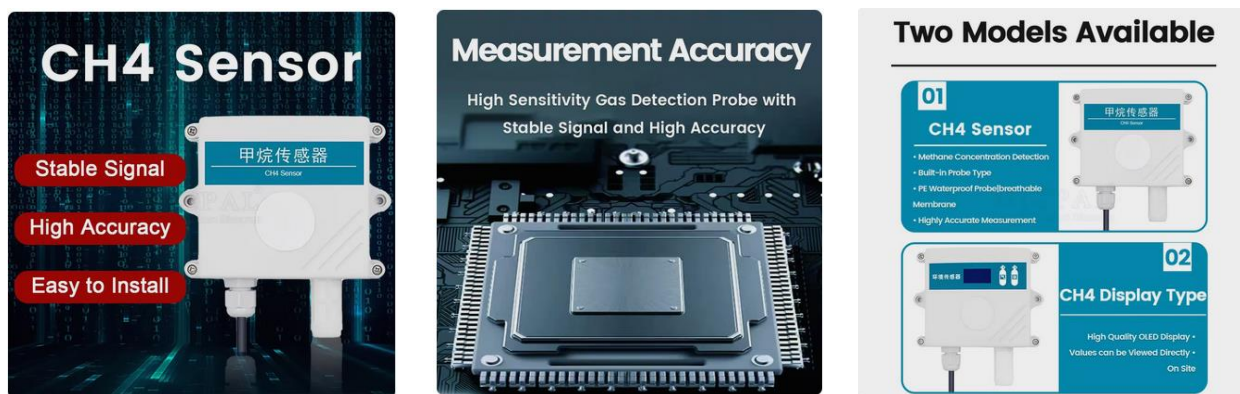


Рис. 3.1. Внешний вид датчика метана с цифровым дисплеем

Основные параметры работы датчика метана с цифровым дисплеем приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Основные параметры работы датчика метана

Источник питания	10 – 30 В постоянного тока	
Выходной сигнал	485	
Потребляемая мощность	0,9 W	
Диапазон	Температура	-40 ° C ~ + 80 ° C
	Влажность	0 ~ 100 % Rh ¹
	Метан	0 – 100 % LEL ²
Точность	Температура	± 0,5 ° C (25 ° C)
	Влажность	± 3% Rh ¹ (60 % Rh ¹ , 25 ° C)
	Метан	± 5% FS ³ , не менее 5% объёмной доли кислородной среды
Рабочая температура	От -20 до +40 ° C	
Рабочая влажность	0 ~ 95% Rh ¹ без конденсации	
Диапазон давления	80 – 116 кПа	
Стабильность ⁴	≤ 7 % значение сигнала/год	
Воспроизводимость ⁵	≤ 2 %	
Время отклика	≤ 15 с	
Время разогрева	≥ 5 минут	
Нулевой дрейф метана ⁶	± 0.06 % ≤ 2 % ≤ 15 с ≥ 5 минут	
Срок службы	24 месяца	
Разрешение	1 % LEL ²	

Примечания:

¹ **Относительная влажность (Rh)** – отношение массовой доли водяного пара в воздухе к максимально возможной при данной температуре (измеряется в %).

² **Low Explosion Level (нижний концентрационный предел распространения пламени – НКПР)** — минимальное значение концентрации горючего компонента в газовой смеси, которого достаточно для того, чтобы запущенный процесс горения мог распространиться от искрового разряда к любому участку газовой смеси. Таким образом,

если концентрация горючего компонента смеси не достигла НКПР, смесь не будет гореть и не создаст опасность взрыва. Также относительно безопасной является смесь, в которой концентрация вещества, подверженного горению, превышает верхний концентрационный предел распространения пламени — в этом случае для сгорания без остатка не хватит окислителя, которого в смеси слишком мало по отношению к горючему компоненту.

Данный показатель является жизненно важным и требует непрерывного отслеживания и регулирования [10].

³ **FS (Full Scale «полная шкала»)**. Прибор может иметь отклонения показаний до 5 % от предела диапазона измерения.

⁴ **Стабильность сигнала датчика** — это характеристика, которая указывает на то, насколько воспроизводимы или согласованы значения выходного сигнала датчика.

Если преобразовать одно и то же значение физической величины одним и тем же датчиком несколько раз, выходной сигнал каждого датчика будет хоть немного отличаться. Если эти изменения невелики, датчик стабилен, если значительны — нестабилен.

Также выделяют **краткосрочную и долгосрочную стабильность** (дрейф) — характеристики точности датчиков, описывающие изменения рабочих характеристик датчиков в течение коротких (минуты, часы, дни) или длинных (до нескольких лет) промежутков времени. Долгосрочная стабильность зависит от процессов старения, которые изменяют электрические, механические, химические и термические свойства материалов, из которых изготовлен датчик.

⁵ **Воспроизводимость сигнала датчика** — это способность датчика при соблюдении одинаковых условий выдавать идентичные результаты.

Воспроизводимость результатов определяется по максимальной разности выходных значений датчика, полученных в двух циклах калибровки. Обычно выражается в процентах от максимального значения входного сигнала.

⁶ **Нулевой дрейф метана** — это параметр, который указывает на постепенное смещение нулевой (базовой) линии, соответствующее нулевой концентрации анализируемого вещества.

Датчик углекислого газа RS485 Modbus [11]

Описание модели и её функциональные особенности

Датчик использует технологию инфракрасной проверки для измерения концентрации CO₂, обладает высокой чувствительностью, по сравнению с электрохимическим датчиком работает дольше. Отличается наличием аналоговой или 485 связи, обладает стандартным протоколом связи ModBus-RTU, может быть установлен адрес связи и скорость передачи данных, максимальное расстояние составляет 2000 метров. Оборудование имеет 10 – 30 В источник питания, корпус имеет высокую степень защиты.

Внешний вид датчика углекислого газа представлен на рис. 3.2.





Рис. 3.2. Внешний вид датчика углекислого газа с цифровым дисплеем

Основные параметры работы датчика углекислого газа с цифровым дисплеем приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Основные параметры работы датчика углекислого газа

Источник питания	10 ~ 30 В постоянного тока (0-10 в 24 В)	
Выход сигнала	4 ~ 20 мА/0 ~ 5 В/0 ~ 10 В/RS485(Modbus-RTU)	
Уровень защиты	IP65, используется для снега и дождя	
Рабочая среда	0 ~ 70 , 0 ~ 95% Rh (без конденсации)	
Диапазон измерения CO ₂	0 ~ 5000ppm (можно настроить)	
Точность CO ₂	± (40ppm + 3% F·S) (25)	
Максимальное энергопотребление	RS485	0,4 Вт
	4-20мА/0-5 В/0-10 В	1,2 Вт

Таким образом, можно отметить, что представленные модели датчиков имеют ряд **достоинств**: приемлемая стоимость (около 3000 руб. на 11.2024 г), портативность, высокая точность и низкая погрешность, однако имеются и **недостатки**, такие как, необходимость подключения к источнику тока (работают не на батарейках), некоторые модели датчиков без цифрового дисплея, поэтому необходимо дополнительное подключение цифрового табло для вывода результата, необходима дополнительная мобильная конструкция для переноса и транспортировки.

Полученные результаты работы в программе Blender 3D

По реальным образцам была построена 3D-модель датчиков (рис. 3.3) и универсального переносного кейса (рис. 3.4) для нескольких электронных датчиков контроля вредных веществ в воздухе. <https://drive.google.com/drive/folders/1CPQhVD6iG1IrPjA-nEYwrIDfr2UR5Goy?usp=sharing>



Рис. 3.3. 3D-модель датчика углекислого газа, построенная в программе Blender 3D

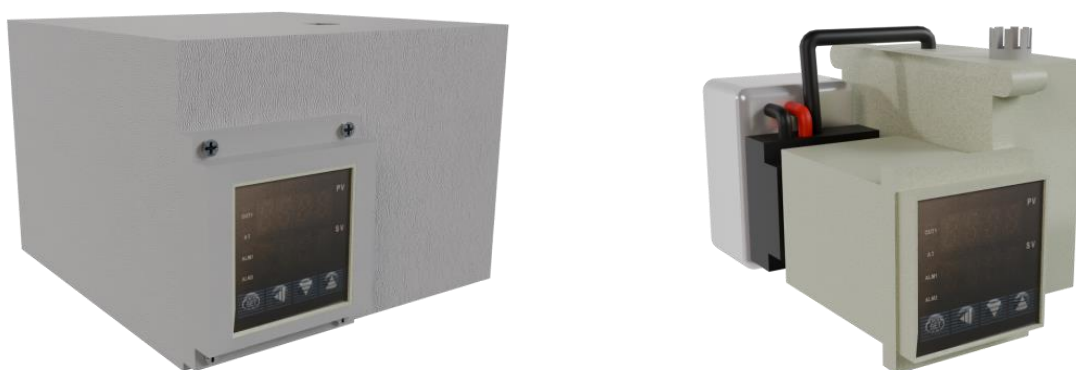


Рис. 3.4. 3D-модель универсального переносного кейса для электронных датчиков контроля вредных веществ в воздухе (внешний вид снаружи и внутри)

ВЫВОДЫ:

1. Изучены модификации различных электронных датчиков и газоанализаторов (стационарные и портативные/переносные), применяемых для контроля содержания загрязняющих веществ в воздухе.
2. В программе *Blender 3D* визуализированы электронные датчики контроля углекислого газа и метана в воздухе, построены 3D-модели.
3. Выполнена разработка и построение 3D-модели универсального мобильного переносного кейса, рассчитанного для нескольких электронных датчиков контроля метана и углекислого газа, который можно применять в полевых условиях для замеров уровня концентраций вредных веществ в воздухе.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАБОТЫ

В дальнейшем планируется печать разработанного кейса на 3D-принтере и размещение в нём одновременно нескольких датчиков для контроля уровня загрязнения воздуха. Это универсальное мобильное переносное устройство позволит оперативно и быстро в любом месте (на предприятии, на открытой площадке, в помещении) измерять концентрацию компонентов (таких как метан – CH_4 , углекислый газ – CO_2 , формальдегид – НСОН и др.) в атмосферном воздухе населённых мест, воздухе рабочей зоны, на границе СЗЗ в приземном слое воздуха и т.п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Борисов, А.С. Загрязнение атмосферы и потепление климата Земли: [Текст] / Борисов А.С., Боровский М.Я., Нуриева Е.М., Андреева Е.Е. // Управление техносферой. – 2023. – Т. 6. – № 2. – С. 194 – 204.
2. Битюкова, В.Р. Загрязнение атмосферы от сжигания топлива на стационарных источниках в регионах России: масштабы и динамика: [Текст] / Битюкова В.Р., Кравчик А.И. // Экология и промышленность России. – 2023. – Т. 27. – № 11. – С. 46 – 53.
3. Хазинс, В.М. Загрязнение приповерхностного слоя атмосферы частицами пыли микронного размера в результате массовых взрывов на открытых карьерах: [Текст] / Хазинс В.М., Соловьев С.П., Локтев Д.Н., Крашенинников А.В., Шувалов В.В. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2022. – № 4. – С. 170 – 185.
4. Зубова, С.В. Глобальное загрязнение атмосферы как угроза экологической безопасности Российской Федерации: [Текст] / Зубова С.В., Симонов Н.Е. // ОБЖ: Основы безопасности жизни. – 2022. – № 3. – С. 44 – 50.

5. URL://<https://topsense.ru/katalog/stacionarnye-gazoanalizatory> – официальный сайт компании ПКФ «ТОП-СЕНС» [дата обращения 09.11.2024].
6. URL:// <https://www.gank4.ru/product/posty-ekologicheskogo-kontrolya/atmosfera-statsionarnaya-sistema-kontrolya-kachestva-vozdukha> - официальный сайт компании НПО ПРИБОР ГАНК (производитель газоаналитического оборудования) [дата обращения 10.11.2024].
7. URL://<https://nppalerom.ru/oborudovanie/kontrol-zagryazneniya-atmosfery/geolan-1p-geolan-1pv> – официальный сайт компании НПП АЛЕРОМ [дата обращения 11.11.2024].
8. URL:// <https://atmeex.ru/blog/potrebitelskie-datchiki-kachestva-vozduxa?ysclid=m3cwbu1mo0871143395> – официальный сайт компании АТМЕЕХ [дата обращения 11.11.2024].
9. URL://https://aliexpress.ru/item/1005007007779381.html?sku_id=12000039041007432&spm=a2g2w.productlist.search_results.7.6b56469aoqt7Ob – датчик метана [дата обращения 13.11.2024].
10. URL://<https://drom-service.ru/chto-takoe-lel-na-gazoanalizatore/> – LEL в газоанализаторах [дата обращения 13.11.2024].
11. URL://https://aliexpress.ru/item/1005004181912743.html?sku_id=12000028306991849&spm=a2g2w.productlist.search_results.9.130a421ftQygu3 – датчик углекислого газа [дата обращения 13.11.2024].