

**ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ,
ПРОЕКТНЫХ И ТВОРЧЕСКИХ РАБОТ ОБУЧАЮЩИХСЯ
«ОБРЕТЁННОЕ ПОКОЛЕНИЕ»**

Направление: технологии и техническое творчество

Тема: Оценка качества воздуха с применением дрона

Соискатель: Кузьмина Светлана Васильевна, ученица 10 класса МОБУ «Физико-технический лицей им. В.П. Ларионова»

Научный руководитель: Данилов Денис Алексеевич, педагог дополнительного образования МАНОУ «ДДТ им. Ф.И. Авдеевой» ДТ «Кванториум

Место выполнения работы: МАНОУ «ДДТ им. Ф.И. Авдеевой» ДТ «Кванториум»

Оглавление

Введение	3
1.1 Исследование контролируемых величин и их влияния на организм человека	4
1.2 Сравнение с существующими реализованными аналогами	4
2. Анализ итогов первых спринтов	5
3.1 Программирование датчиков.....	5
3.2 Программирование дрона	6
4. Конструкция установки датчиков на дрон	6
Проведение измерений при опытах	7
5. Изучение данного способа измерения	7
Опыт №1: «Изучение стратификации воздуха».....	8
Опыт №2 «Определение изменения показаний концентрации загрязняющих веществ при циркуляции воздуха потоками, создаваемыми дроном»	8
6. Тестирование устройства при низких температурах.....	10
7. Мероприятия по информированию	10
8. Использование результатов	11

Аннотация. Осведомление о степени загрязненности воздуха предотвратит пагубное воздействие частиц на здоровье горожан. В проекте рассматривается способ экологической оценки качества воздуха с применением беспилотного летательного аппарата (далее – дрон), оснащенного датчиками для измерения концентрации загрязнителей. Традиционные методы мониторинга имеют следующие ограничения: зачастую они расположены в ограниченных географических зонах и не могут отражать полную картину загрязнения. Дроны позволяют перемещаться на большие расстояния и собирать больше данных для анализа качества воздуха, требуя при этом минимальные ресурсы. В ходе проекта проведено исследование контролируемых величин и их влияния на организм, проведен обзор и анализ готовых аналогов, собран прототип, в который внедрены датчики для определения следующих параметров: диоксид углерода, угарный газ, твердые частицы, влажность, температура, изучено изменение качества воздуха с высотой, сделаны тестирование данного способа измерения качества воздуха, тестирование устройства при низких температурах. Проект также включает в себя информационные кампании для повышения осведомленности населения о проблемах экологии и их влиянии на здоровье.

Ключевые слова: качество воздуха, загрязняющие вещества, дрон, датчики, измерительная станция, стратификация

Введение

Здоровье горожан напрямую зависит от качества воздуха, данный фактор влияет на уровень жизни. Применяя меры по защите организма от загрязнения воздуха, можно снизить риск возникновения таких заболеваний, как инсульт, сердечно-сосудистые болезни, рак легких и других серьезных недугов [1]. Однако существующая сеть станций мониторинга в нашем регионе слишком разрежена и не отражает полную картину загрязнения. При этом оснастить территорию достаточным количеством таких станций дорого и ресурсоёмко. Использование дронов предполагает экономичный и мобильный подход: вместо множества статичных датчиков мы создаём перемещаемую измерительную станцию на базе дрона. Это позволяет максимально эффективно использовать имеющиеся у нас ограниченные ресурсы, превращая один комплект газоанализаторов в инструмент для оперативного обследования всей площади. Существующие исследования показывают, что использование дронов для мониторинга качества воздуха начало развиваться во всем мире. Однако многие вопросы в исследуемой области остаются нерешенными: недостаточно изучен данный способ оценки качества воздуха, влияние различных факторов на точность измерений.

Цель: разработать способ экологической оценки качества воздуха с применением дрона.

Задачи:

1. Исследовать контролируемые величины и их влияние на человека
2. Найти готовые аналоги
3. Программировать датчики
4. Сделать конструкцию для установки датчиков на дрон
5. Программировать дрон
6. Провести испытания на работоспособность
7. Тестировать данный способ измерения качества воздуха

8. Тестировать устройства при низких температурах
9. Создать сайт
10. Создать справочник-путеводитель
11. Сделать информационный постер

Гипотеза: Созданный нами дрон-эколог сможет заменить работу целой станции, автоматизирует данный процесс и за короткий промежуток времени можно получить необходимую информацию об экологическом состоянии воздуха.

Практическая ценность: Получаемые данные можно использовать с целью создания информационной основы принятия решений в области охраны природы, контроля предприятий природопользования и экологической безопасности. Использование дронов позволяет перемещаться на большие расстояния по территории города, используя минимальные ресурсы, мобильность измерительной станции позволяет получать больше данных для анализа.

Методы исследования: анализ и синтез, наблюдение, сравнение, измерение, эксперимент, тестирование.

1.1 Исследование контролируемых величин и их влияния на организм человека

1. Диоксид углерода (IV)- кратковременное вдыхание здоровыми людьми двуокиси углерода в этих концентрациях вызывает отчетливые сдвиги в функции внешнего дыхания, кровообращения и значительные ухудшения электрической активности головного мозга [2].



2. Оксиды азота - взаимодействуя с парами воды в воздухе, разрушают легочную ткань, вызывая хронические заболевания, отек легких. Наибольшую опасность оксиды азота представляют в качестве активного компонента смога, приводя к раздражению дыхательной системы, осложнению заболеваний, затруднению дыхания, кашлю и удушью, тошноте, боли в животе. Контакт кожи и глаз вызывает раздражение и ожоги [3].

3. Твердые частицы представляют собой жидкие и твердые частиц, взвешенные в воздухе. Эти вещества могут проникать глубоко в легкие и затем в кровоток. Это может привести к астме, бронхиту, раку легких и крови. Они могут варьироваться от микроскопических частиц до дыма, сажи, жидких частиц и пыли [3, 4].

4. Угарный газ может повлиять на память, работоспособность мозга, поведение и сознание. Высокая концентрация газа незамедлительно приводит к смерти. При небольшом количестве газа может появиться пульсация в висках, слабость, головная боль, нарушение равновесия, звон в ушах, мерцание перед глазами, слабость в ногах, тошнота, рвота, слезы, позывы к кашлю [п4, п5].

1.2 Сравнение с существующими реализованными аналогами

Фото	Название	Фирма	Плюсы	Минусы

	Дрон для мониторинга качества воздуха	PranaAir, Индия	Возможности пространственного картографирования с высоким разрешением доступ в отдаленные районы	Точность датчиков указана без численных значений. Интеграция с ГИС и детали калибровки неясны.
	Платформа DJI Matrice 300 RTK с газоанализатором Sniffer4D V2.0	BRLab Лаборатория дронов	Устройство имеет активный воздухозаборник. Газоанализатор легко снимается	Привязан к конкретной платформе (DJI Matrice). Стоимость высокая, данные по калибровке поверхностны.

2. Анализ итогов первых спринтов

В начале проекта был составлен план первого спринта (Таблица 1). Из найденных датчиков я отобрала подходящие и перешла к этапу тестирования и программирования следующих датчиков: паров спирта, угарного газа, метана, водорода, температуры. Изначально работа велась с дроном Призрак-2 (Рис.1). С данным прототипом я участвовала в Лаврентьевских чтениях и поняла, что данные компоненты не подходят для реализации проекта: при получении данных с датчиков не выстраивается «полная картина» экологической ситуации. По итогам первого спринта была выявлена проблема: недостаточное количество деталей для реализации проекта.

Для решения данной проблемы я купила недостающие детали из интернет-магазинов, составили смету (Таблица 2). В качестве замены Призрака-2 ввиду недостаточной грузоподъемности рассматривались дроны Фантом-4, октокоптер и Клевер-4 (Рис. 1). но из-за ошибок подключения с первыми двумя моделями начали работать, и я приступила к Клеверу-4, составлен план работы на второй спринт (Таблица 3).

Так как масса дрона Клевер-4 с собранным полезным грузом была близка к предельной взлетной массе мы рассмотрели более мощные модели и выбор пал на Phantom 4 Pro. Обозначили задачи на третий спринт и составлен план работы (Таблица 4)

3.1 Программирование датчиков

Для программирования датчиков был освоен инструментарий среды разработки Arduino IDE. В рамках подготовки был проведён тест отдельных датчиков и модулей. В ходе тестирования были выявлены следующие проблемы: отсутствие устойчивого сигнала в GSM-модуле, а также утеря датчика температуры и влажности DHT22. На основании этого были дополнительно приобретены необходимые компоненты, составлена смета (Таблица 5). Перед началом измерений все датчики прошли процедуру прогрева ("прожиг") в течение 48 часов для стабилизации выходных сигналов. Газовые анализаторы были дополнительно откалиброваны с помощью специального кода в условиях проветриваемого помещения. Программная часть реализовывалась поэтапно. Сначала

датчики были последовательно соединены в единый код. На заключительном этапе к объединённой программе сбора данных был подключен GSM-модуль для передачи данных (Рис. 2)

3.2 Программирование дрона

Изначально у нас возникли трудности с подключением пульта к дрону Phantom 4, однако после того как мы нашли ему замену, работа наконец-то началась. Далее мы последовательно выполнили все необходимые этапы. Сначала была проведена настройка через приложение DJI GO. Затем мы перешли к подготовке самого дрона: установили пропеллеры, вставили и активировали аккумулятор. После этого подключили и включили новый пульт управления. Следующим ключевым шагом стало сопряжение пульта с дроном для обеспечения устойчивой связи. Далее мы приступили к важной процедуре калибровки датчиков, в рамках которой откалибровали компас и инерциальный модуль (IMU). Финальным этапом стала детальная настройка параметров полёта: мы установили ограничения по высоте и дальности, выбрали подходящий режим полёта и настроили параметры камеры для съёмки.

Программа и методика испытаний на работоспособность

Факторы для оценки качества работы дрона

- 1. Грузоподъемность** - способность дрона поднять в воздух массу датчиков
- 2. Емкость аккумулятора** - способность аккумулятора дрона обеспечивает требуемую продолжительность полета
- 3. Эффективность системы управления и навигации** - обеспечение точности управления полетом, определения местоположения БПЛА и выполнение задач с высокой точностью

Факторы для оценки качества работы датчиков

- 1. Прецизионность** – возможность повторного измерения с заданной точностью
- 2. Время отклика** – интервал между входным и выходным сигналами

Результаты тестирования на работоспособность

Взлет дрона прошел успешно, я убедилась в факторах для оценки качества работы дрона. В результате тестирования датчиков я убедилась в факторах для оценки качества работы датчиков, далее, соединив их с GSM-модулем, удостоверилась в стабильном сигнале и работе GSM-модуля, сообщения приходят с заданным интервалом времени. Процесс получения данных о качестве воздуха систематизирован, производится автоматически.

4. Конструкция установки датчиков на дрон

4.1 Изготовление конструкции №1

Для полета важно было обеспечить стабильность и устойчивость при взлете и посадке. Первым этапом проектирования был чертеж модели, затем макет из картона, ввели корректировки в чертеж и отправились в НИ-ТЕСН цех для реализации проекта на лазерном гравере. Для скрепления частей между собой был использован метод шип-паз и специальный клей для столярных работ (Рис 3, 4, 5).

4.2 Тестовые взлеты с конструкцией №1

Тестовые взлеты состояли из удержания заданной позиции, движение по прямой, наклон, повороты, подъем/спуск. При взлете с закрепленными датчиками дрон колеблется из стороны в сторону. Конструкция имеет ряд существенных недостатков. Смещённый центр тяжести, и нехватка мощности двигателей вызывают вибрации. Габариты создают турбулентность, ухудшая управление. Датчики уязвимы к загрязнению и ударам. Установленная коробка увеличивает тормозной путь, ограничивает обзор камеры и блокирует датчик позиционирования, что снижает стабильность на малой высоте. Исходя из результатов тестовых взлетов, было принято решение пересмотреть этапы изготовления и смоделировать другую конструкцию.

4.3 Этапы создания конструкции №2

Учитывая ошибки, допущенные при проектировании конструкции №1, был сделан эскиз, где датчики расположены сверху, в центре исходя из анализа недостатков предыдущей конструкции. Сначала был сделан макет из картона, были сделаны тестовые взлеты проверка стабильности взлетами с зависанием, поворотами, различными траекториями. С данной конструкцией дрон сохраняет стабильность. Изготовление корпуса: вырезали на лазерном станке ЧПУ акриловый пластик (ППМА) (Рис.6), а также распечатали на 3D принтере корпус для аккумулятора (Рис. 7). Рассмотрели способы закрепления грузов на дронах: встроенный отсек и защелка, стяжки и резинки, Velcro-лента. Была выбрана Velcro-лента, ввиду возможности моментальной установки и демонтажа батареи (Рис. 8).

Проведение измерений при опытах

1. Перед началом измерений датчики MQ-7 и MQ-135 были прогреты после включения в течение 2 минут в соответствии с инструкцией по эксплуатации, чтобы получать стабильные показания.
2. Измерения каждой величины проводились не менее 5 раз для последующего статистического анализа. Первичные данные вносились непосредственно в таблицы измерений.
3. Каждый результат измерения связан с погрешностью, которая выражается в тех же единицах, что и сама величина.

Для нахождения погрешности использовались следующие формулы:

(1) $x_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ - среднее значение пяти измерений – принимается как показание качества воздуха в рассматриваемой точке

(2) $\Delta x_i = x_i - x_{cp}$ – отклонение каждого из пяти измерений

(3) $\Delta x_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_{cp}$ – погрешность измерения

5. Изучение данного способа измерения

Воздушные потоки, создаваемые при полете дрона, могут изменить показание концентрации в воздухе вследствие двух процессов. Воздушный поток от дрона разбавляет пробы воздуха вблизи датчика, приводя к занижению показаний концентрации загрязняющих веществ. Было достигнуто максимальное расстояние между датчиком и дроном в ходе проектирования конструкции №2, при котором это влияние становится незначимым. Воздушные потоки перемешивают воздух. Ключевая проблема измерений качества воздуха с помощью дрона заключается в том, что естественное распределение загрязняющих веществ в атмосфере неоднородно по высоте (стратификация).

Стратификация обусловлена следующими факторами:

1. Локализацией источников загрязнения: высота загрязнителя определяет, в каком слое атмосферы первоначально попадают загрязняющие вещества. Большинство основных источников загрязнения находятся на уровне земли. Это приводит к максимальной концентрации загрязняющих веществ в нижнем слое [6, 7].
2. Метеорологические параметры: температурная инверсия - это повышение температуры воздуха с высотой, обратное нормальному для тропосферы распределению. Приземные инверсии подавляют вертикальные движения воздуха, препятствуя рассеиванию водяного пара, пыли и загрязняющих веществ [8, 9]. Для высоких источников выброса (промышленные трубы) характерна парадоксальная зависимость: при высокой скорости ветра у земли наблюдается большая концентрация примеси. Горячая газовоздушная смесь из трубы получает дополнительную плавучесть, что создает поле вертикальных скоростей и эффективно уносит факел вверх. При слабом ветре подъем факела усиливается, и концентрация у земли снижается [10]. Атмосферное давление связано с количеством молекул воздуха в определенном объеме, что влияет на его плотность и вес [11].
3. Физико-химические свойства веществ: плотность и молекулярная масса веществ влияют на их распределение по высоте. В более высоких слоях атмосферы концентрация более тяжелых газов убывает быстрее по мере удаления от поверхности Земли [11]. Например, тяжелые газы (SO_2 , Cl_2) склонны скапливаться в нижних слоях, а легкие (CH_4 , H_2) — рассеиваться вверх. Температура кипения и летучесть вещества тесно связаны и существенно влияют на скорость его рассеивания в окружающей среде. Эти параметры определяют, насколько быстро вещество переходит из жидкого или твердого состояния в газообразное, что, в свою очередь, влияет на его распространение в атмосфере, стойкость и потенциальное воздействие на окружающую среду [8].

Воздух с разных слоев поднимается наверх, перемешивается с тем, что был выше, при низкой высоте поднимаются частицы с земли. Таким образом, датчики берут показания из зоны интенсивного перемешивания, получается усредненная концентрация.

Опыт №1: «Изучение стратификации воздуха»

Цель: измерить изменение концентрации загрязняющих веществ при изменении высоты.

В каждой точке брались 5 показаний и записывался результат вычислений по формулам 1,2,3 в таблицу №6. Далее вычислили разницу между показаниями для наглядности (Таблица 7).

Вывод: наблюдается температурная стратификация с инверсионным слоем выше 2м. Из-за температурной инверсии подавляется вертикальное перемешивание. Слой теплого воздуха действует как крышка, не позволяя выбросам от земли рассеиваться вверх. При наличии источников загрязнения это привело бы к накоплению вредных веществ в приземном слое.

Опыт №2 «Определение изменения показаний концентрации загрязняющих веществ при циркуляции воздуха потоками, создаваемыми дроном»

Цель: Оценить изменения концентрации загрязняющих веществ при измерениях качества воздуха в статистическом положении и в динамическом положении, определить точку минимальной разницы.

Сначала мы измеряли качество воздуха на определенной высоте, затем в течение минуты запустили дрон и произвели измерение в состоянии полета. Показания отражены в таблице №8 и №9.

Для определения высоты полета дрона, на которой влияние аэродинамических факторов минимально, найдено значение μ - величина, характеризующая относительное изменение показаний датчиков при измерениях в статике и динамике.

$$\mu = \frac{\Delta m}{m_{\text{стат}}} \cdot 100\% = \frac{|m_{\text{стат}} - m_{\text{дин}}|}{m_{\text{стат}}} \cdot 100\%$$

Были найдены значения μ на каждой высоте (Таблица 10).

Для выбора оптимальной высоты применён комплексный подход, включающий следующие показатели:

1. Среднее значение - общий уровень влияния
2. Медиана - типичное влияние
3. Стандартное отклонение - однородность работы датчиков, разброс между датчиками

1. Среднее значение

Чтобы найти минимум общего уровня влияния на датчики, надо найти средние значения по следующей формуле:

$$\mu_{\text{ср}} = \frac{\sum \mu_i}{n}$$

Общее влияние минимально при высоте, равной 2 метра (Рис. 9, таблица 11).

2. Медиана

Медиана рассчитывалась по высотам - для оценки типичного поведения датчиков на каждой высоте.

Были получены следующие результаты (Рис.10, таблица 12):

1. Высота 1,0 м имеет формально низкую медиану (0,78%), но относительное изменение показания CO высокое $\mu_{\text{CO}}=75\%$, высота 3,0 м имеет среднюю медиану (2,97%), но относительное изменение показания температуры высокое $\mu_t=16,1\%$
2. Высота 2,0 м имеет низкую медиану (1,61%), значит типичный датчик работает отлично.
3. Высоты 1,5 м и 2,5 м имеют высокие медианы, не подходят для измерений.
4. Умеренные значения при высоте 0,5 м и 3,5м.

3. Стандартное отклонение

Стандартное отклонение показывает, насколько сильно данные разбросаны вокруг среднего, оценивает однородность системы - все ли датчики одинаково реагируют на дрон. Нам нужно, чтобы все датчики (CO_2 , CO , твёрдые частицы, температура) показывали примерно одинаковые значения μ на одной высоте. Это значит, что стандартное отклонение (σ) должно быть минимальным.

Для каждой высоты стандартное отклонение (σ) рассчитано по формуле по четырем параметрам: CO_2 , CO , твёрдые частицы и температура, относительно среднего значения $\mu_{\text{ср}}$ (Таблица 13).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(\mu_i - \mu_{cp})^2}{n}},$$

где μ_i - значения параметров, μ_{cp} - среднее значение, N - количество параметров.

Оптимальные высоты для измерений: 0,5 м, 2,0 м (Рис. 11). При измерениях на данных высотах различие между относительными изменениями показаний μ минимально.

Вывод: на основании комплексного анализа высота 2,0 м является оптимальной (Рис.12), так как общее влияние минимально (среднее $\mu = 2,40\%$), медиана низкая (1,61%), что указывает на стабильность измерений, стандартное отклонение невелико (2,84%), что подтверждает согласованность работы датчиков. Высота 0,5 м также показывает хорошие результаты (низкое σ , умеренное влияние), однако на такой низкой высоте возможны дополнительные помехи от поверхности земли. Высоты 1,0 м, 1,5 м, 2,5 м и 3,0 м имеют существенные недостатки: высокий разброс данных, аномальные выбросы по отдельным датчикам, что делает их непригодными для точных измерений (Таблица 14).

6. Тестирование устройства при низких температурах

Так как при низких температурах батарея разряжается быстрее из-за того, что уменьшается скорость химических реакций, аккумулятор не может в прежнем режиме давать энергию, поэтому мы утеплили аккумулятор, который питает датчики, пенополиуретаном (Рис. 13). Благодаря своей структуре, пенополиуретан обладает отличными теплоизоляционными свойствами, также он имеет низкую плотность, является лёгким материалом, что уменьшает нагрузку дрона. В первый раз датчики проработали 11 минут при температуре -30 , но мы не проверили начальный заряд аккумулятора. Поняв свою ошибку, зарядили аккумулятор на полную мощность и повторили эксперимент при температуре -35°C (Рис. 14).

Основная цель исследования заключалась в оценке стабильности работы и реакционной способности датчиков при низких температурах.

Результаты показали, что большинство датчиков демонстрировали удовлетворительную производительность при температурах до -35°C . Заряд батареи продержался 46 минут, этого достаточно для проведения измерений. Благодаря теплоизоляционному слою осуществилась длительная работа датчиков при низких температурах. В дальнейшем планируется проводить исследования для оптимизации характеристик существующих моделей или разработки новых, более устойчивых к температурным колебаниям.

7. Мероприятия по информированию Создание справочника и постера

В ходе работы мною был сделан печатный справочник-путеводитель и постер с целью распространения информации о загрязняющих воздух веществах и их вреде, о мерах безопасности при повышенных концентрациях в воздухе (Рис.15, 16).

Создание сайта

На данном сайте размещена информация о качестве воздуха в разных районах, о причинах загрязнения воздуха, загрязняющих веществах, рекомендации для здоровья, о систематизации экологического мониторинга качества воздуха с использованием дрона. Сайт имеет удобный

механизм общения с системой, каждый гражданин может сообщить об экологической проблеме. Ссылка: <https://kachestvvozdukha.tilda.ws/>.

8. Использование результатов Области применения

Данный способ измерения качества воздуха может быть успешно интегрирован в различные сферы, в особенности в труднодоступные территории, ведь сбор данных в зонах с отсутствующей инфраструктурой минимизирует необходимость в сложных и опасных наземных экспедициях.

1. Городская среда: обеспечивает оперативный анализ воздуха в разных районах для выявления очагов загрязнения и отслеживания распространения вредных веществ и установления их источников.
2. Малонаселенные пункты республики Саха (Якутия): значительная экономия ресурсов за счет использования одного дрона для обслуживания группы соседних деревень. Мобильность позволяет отказаться от установки дорогостоящих станций в каждом малом пункте, обеспечивая при этом надежный мониторинг последствий лесных пожаров, переноса воздушных масс в малонаселенных пунктах, имеющих высокую социальную значимость для региона.
3. Пожароопасные периоды: оценка задымленности и состояния атмосферы для обоснования ограничительных мер и повышения оперативности решений при ЧС.
4. Особо охраняемые природные территории: проведение экологического мониторинга в заповедниках и национальных парках без нарушения экосистем для оценки воздействия на уникальные природные объекты.

Анализ бизнес-привлекательности разработки

Потенциальные заказчики

1. Государственные органы (Министерство экологии): для контроля соблюдения экологических норм, формирования отчетности о состоянии атмосферы и мониторинга зон ЧС.
2. Промышленные предприятия (заводы, добывающие компании): для контроля выбросов в санитарно-защитных зонах, соблюдения квот и предотвращения штрафов.
3. Муниципальные администрации: для оперативной проверки жалоб жителей на качество воздуха и защиты населения в периоды лесных пожаров.
4. Природоохранные структуры (заповедники, лесничества): для дистанционного экологического мониторинга территорий без вмешательства в экосистему.

Преимущества внедрения

- Снижение расходов: один дрон заменяет сеть стационарных станций мониторинга. Это избавляет от необходимости строить фундаменты, подводить электричество и связь к каждой точке в удаленных населенных пунктах. Сокращаются траты на логистику и оплату труда экспедиционных групп.
- Использование дрона позволяет не отправлять сотрудников в опасные зоны с высокой концентрацией загрязняющих веществ. Это сохраняет жизнь и здоровье сотрудников, избавляя

компанию от расходов на оплату больничных, дорогостоящего лечения и страховых выплат за вредные условия труда.

- Раннее обнаружение превышения предельно допустимой концентрации позволяет оперативно остановить загрязнение, избежать экологической катастрофы, многомиллионных штрафов и затрат на ликвидацию последствий для населения.

Выводы

1. Собран и запрограммирован прототип дрона-эколога, в который внедрены датчики для определения следующих параметров: угарный газ, твердые частицы, влажность, температура.
2. Исследование подтвердило, что выбор высоты измерений критически важен для минимизации помех, создаваемых дроном. Комплексный подход с использованием нескольких статистических метрик позволил объективно определить оптимальную высоту.
3. Благодаря теплоизоляционному слою осуществилась длительная работа датчиков при температуре -35°C.
4. Разработан сайт, с помощью которого люди могут узнать информацию о качестве воздуха и позаботиться о своем здоровье, обратиться напрямую о возникшей проблеме.
5. В дальнейшем будет реализоваться работа с службами по охране экологии Якутска, создание эффективной системы практик предотвращения загрязнения воздуха.
6. В дальнейшем планируется проведение систематических исследований методической погрешности, обусловленной влиянием БПЛА на измеряемые параметры атмосферы. Это станет основой для возможной сертификации методики измерений с использованием БПЛА.

Использованная литература

1. Как загрязнение воздуха разрушает наше здоровье : [Электронный ресурс] / Всемирная организация здравоохранения: [сайт] — URL: https://www.who.int/ru/health-topics/air-pollution#tab=tab_1 (дата обращения: 28.11.2023). - Текст: электронный.
2. Мансуров, Р. Ш., Гурин, М. А., Рубель Е. В. Влияние концентрации углекислого газа на организм человека/ Р. Ш. Мансуров, М. А. Гурин, Е. В. Рубель// Universum: Технические науки: электрон. научн. журн.– 2017. – №8(41)) / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/5045>
3. Воздействие загрязнённого воздуха на здоровье: [Электронный ресурс] /Фонд защиты окружающей среды: [сайт] — URL: <https://www.edf.org/health/effects-of-air-pollution> (дата обращения: 28.02.2023). - Текст: электронный.
4. Опаловский, А. А. Планета Земля глазами химика / А. А. Опаловский. — М.: Наука, 1990. — 224 с.
5. Канина, А.Р., Влияние загрязненного воздуха на здоровье человека / А. Р. Канина // Журнал The Scientific Heritage – 2021. —№78— С. 15-16

6. Kayvon Sharghi Exploring Drone Aerodynamics with Computers / Kayvon Sharghi [Электронный ресурс] // Nasa : [сайт]. — URL: <https://www.nasa.gov/aeronautics/exploring-drone-aerodynamics-with-computers/> (дата обращения: 10.11.2024).
7. Субботина, И. Е. , Ремезова, М.С., Бувич, А.Г., Сергеев, А.П., Баглаева, Е.М., Шичкин, А.В., Буторова, А.С., Сергеева, М.В. Вертикальное распределение характеристик запыленности приземного слоя атмосферного воздуха г. Екатеринбурга / И. Е. Субботина, М. С. Ремезова, А. Г. Бувич [и др.] // Траектория исследований – человек, природа, технологии. – 2022. – № 3(3). – С. 60-72 – УДК 502.057:504.3.054.
8. Рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере [Электронный ресурс] // ГорЭко. – URL: <https://goreco.ru/articles/rasseivanie-zagryaznyayushhih-veshhestv-v-atmosfere/> (дата обращения: 08.01.2026).
9. Хисматуллина А. Ф., Гасилов В. С., Чижова М. А., Хайруллина Л. И. Влияние метеорологических условий на распространение токсичных веществ в окружающем пространстве [Электронный ресурс] // CyberLeninka. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-meteorologicheskikh-usloviy-na-rasprostranenie-toksichnyh-veschestv-v-okruzhayuschem-prostranstve> (дата обращения: 08.01.2026).
10. Вес воздуха: определение [Электронный ресурс] // TutorOnline. – URL: <https://wika.tutoronline.ru/fizika/class/7/ves-vozduha> (дата обращения: 08.01.2026).
11. Атмосфера Земли [Электронный ресурс] // РУВИКИ. – URL: http://ru.ruwiki.ru/wiki/Атмосфера_Земли (дата обращения: 08.01.2026).

Приложение

Рисунок 1. Дроны: Призрак-2, Фантом-4, октокоптер, Клевер-4.

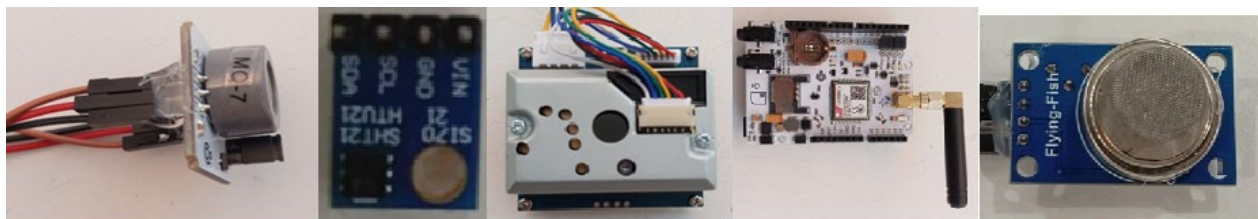


Рисунок 2. Компоненты: MQ-7, HTU21, Dust sensor. GSM-модуль, MQ-135.



Рисунок 3. Процесс скрепления частей



Рисунок 4. Датчики внутри



Рисунок 5. Конструкция для датчиков №1



Рисунок 6. Корпус из акрилового пластика

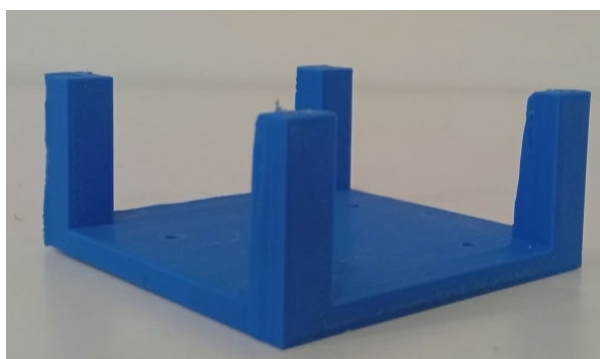


Рисунок 7. Корпус для аккумулятора



Рисунок 8. Закрепленная конструкция №2

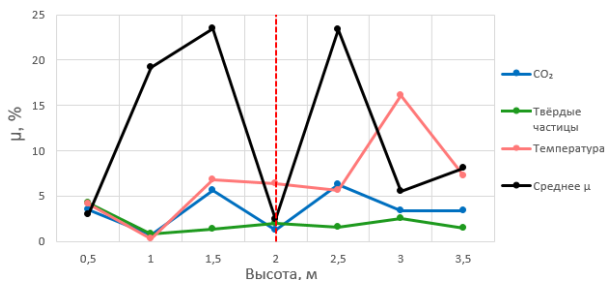


Рисунок 9. График относительного изменения показаний датчиков по высоте

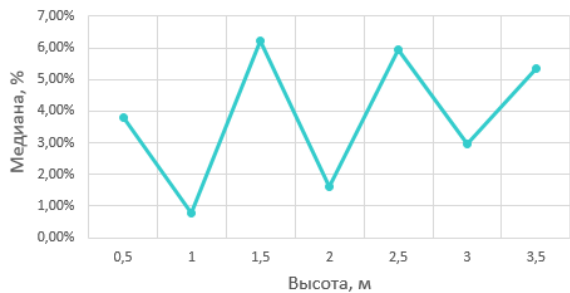
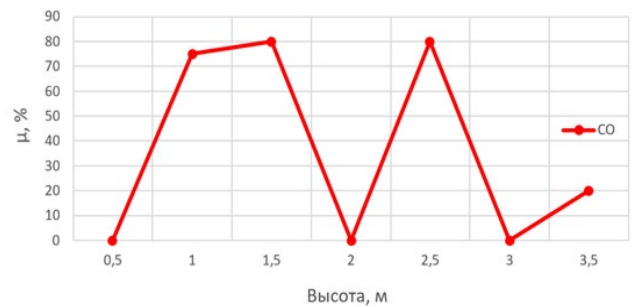


Рисунок 10. Медианы значений μ

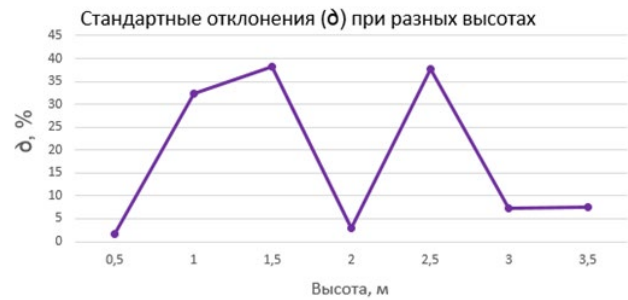


Рисунок 11. Стандартные отклонения

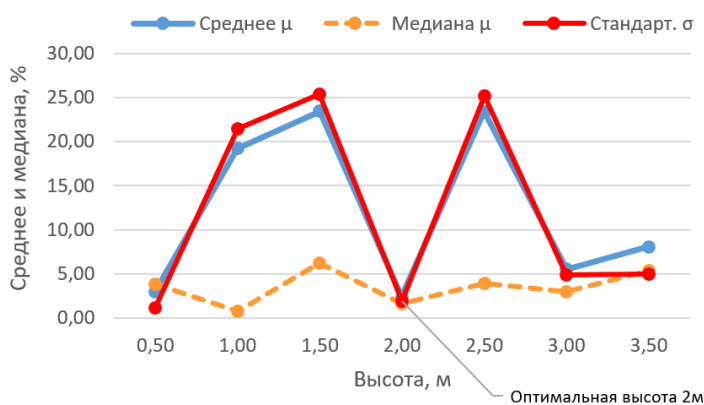


Рисунок 12. Зависимость метрик от высоты

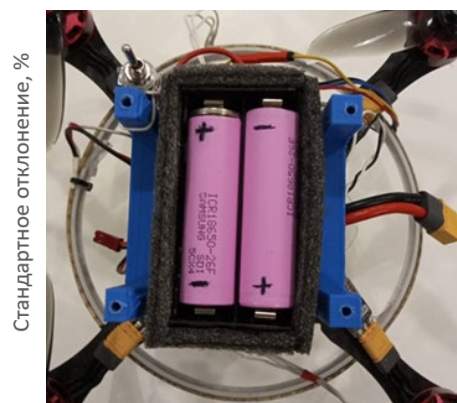


Рисунок 13. Утепленный аккумулятор



Рисунок 14. Процесс тестирования устройства



Рисунок 15. Справочник-путеводитель

ЧЕМ МЫ ДЫШИМ?

Как загрязненный воздух влияет на здоровье?

Диоксид серы

Сильно раздражает дыхательные пути, вызывает бронхоспазм, кашель, формирует вторичные опасные частицы (сульфаты).

Оксиды азота

Повреждает лёгкие, провоцирует бронхиты, пневмонии, развитие астмы у детей, повышает чувствительность к аллергенам.



Твёрдые частицы

Вызывает и обостряет астму, ХОБЛ, болезни сердца, инсульт, рак лёгких. Проникает в кровь и достигает всех органов.

Озон

Вызывает воспаление и ожог лёгочной ткани, снижает функцию лёгких, приводит к хроническим болезням дыхательной системы.

Угарный газ

Блокирует перенос кислорода кровью, вызывает гипоксию. Головная боль, слабость, обострение болезней сердца, смертельно опасен в высоких дозах.

Меры предосторожности

1. Сведите к минимуму пребывание на открытом воздухе при повышенных концентрациях загрязняющих веществ.
2. Используйте средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД).
3. Носите респиратор (маску) при сильном загрязнении, неблагоприятных условиях (смог, вредное производство) или в опасных ситуациях. Важно: Защитное средство должно плотно прилегать к лицу. Предпочтение следует отдавать сертифицированным изделиям, изготовленным в заводских условиях.
4. Своевременно меняйте фильтрующие элементы при постоянном использовании.
5. Защищайте глаза: носите очки или солнцезащитные очки, чтобы уменьшить контакт вредных веществ со слизистой глаз.
6. Выбирайте маршруты подальше от оживленных дорог и источников загрязнения.
7. Дышите носом, который является естественным фильтром для крупных частиц.
8. По возвращении домой: умойтесь, прополощите рот и промойте нос солевым раствором, чтобы удалить осевшие частицы.
9. Для предотвращения проникновения дыма и загрязненного воздуха плотно закрывайте окна и двери.
10. Перед проветриванием всегда проверяйте качество уличного воздуха.

**УЗНАЙТЕ
КАЧЕСТВО
ВОЗДУХА**



Рисунок 16. Постер «Чем мы дышим?»

Таблица 1. Планирование первого спринта

№	Этап жизненного цикла проекта	Сроки
1	Проблематизация	Февраль
2	Целеполагание	Февраль
3	Поиск решения	Март
4	Планирование	Март
5	Реализация замысла	Апрель
6	Завершение первого спринта	Май

Таблица 2. Смета первого закупа

Наименование	Кол-во, шт	Цена, руб	Сумма, руб	Ссылка
1. Датчик углекислого, качества воздуха, температуры и влажности	1	429	428	https://aliexpress.ru
2. Датчик пыли	1	1790	1790	https://amperka.ru
3. Датчик обнаружения угарного газа Arduino	2	88	176	https://aliexpress.ru
4. Тройка Shield	1	740	740	https://amperka.ru
5. Набор модулей беспроводной платы SIM900	1	683	683	https://aliexpress.ru
6. Плата	1	246	246	https://aliexpress.ru
7. Доставка	1	342	342	https://aliexpress.ru

Сумма, руб	4405
------------	------

Таблица 3. Планирование второго спринта

№	Этап жизненного цикла проекта	Сроки
1	Планирование	Сентябрь
2	Исследования и анализ	Сентябрь-октябрь
3	Закупка	Ноябрь
4	Настройка дрона	Сентябрь- декабрь
5	Программирование датчиков	Сентябрь- декабрь
6	Сборка устройства	Декабрь
7	Создание справочника и сайта	Декабрь
8	Шаг в будущее РС (Я)	20 декабря -11 января
9	Высший пилотаж	Январь
10	Большие вызовы	18-22 марта региональный этап

Таблица 4. Планирование третьего спринта

№	Этап жизненного цикла проекта	Сроки
1	Изготовление первой конструкции	Сентябрь-октябрь
2	Тестовые взлеты с первой конструкцией	Октябрь
3	Изготовление второй конструкции	Ноябрь
4	Опыт №1	Декабрь
5	Опыт №2	Декабрь

Таблица 5. Смета второго закупа

Наименование	Кол-во, шт	Цена, руб	Сумма, руб	Ссылка
1. SIM800L V2.0, GSM/GPRS модуль с внешней антенной	1	519	519	https://ampero.ru
2. Датчик давления, температуры и влажности	1	399	399	https://ampero.ru
3. Доставка	1	575	575	https://ampero.ru/
Сумма, руб	1493			

Таблица 6. Результаты измерения качества воздуха на разных высотах

	Высота, м	СО, ppm	Твердые частицы, ug/m ³	Влажность, %	Температура, С
L_1	0.53±	0.00±0.00	0,583±0.02	24,20±0.5	25,30±0.5
L_2	0.75±	0.00±0.00	0,58±0.02	23,75±0.5	25.05 ±0.5
L_3	1.0±	0.00±0.00	0,561±0.017	23,19±0.26	24,58±0.11
L_4	1.25	0.00±0.00	0,60±0.01	22.87±0.24	24,23±0.04
L_5	1.5	0.00±0.00	0,573±0.014	22,88±0.08	24,10±0.00
L_6	1.75	0.00±0.00	0,590±0.015	22,73±0.23	24,075±0.075
L_7	2.0	0.00±0.00	0,587±0.014	22.38±0.12	24,07±0.04
L_8	2.25	0.00±0.00	0,585 ±0.010	22,02±0.18	24,13±0.04
L_9	2.5	0.00±0.00	0,582±0.012	22,18±0.15	24,32±0.06
L_{10}	3,0	0.00±0.00	0,568±0.015	22.98±0.12	24,58±0.03
L_{11}	3,5	0.00±0.00	0,565±0.012	23,82 ±0.12	24,80±0.03

Таблица 7. Разница в показаниях, сделанных на разных высотах

Разница в показаниях	СО, ppm	Твердые частицы, $\frac{\mu g}{m^3}$	Влажность, %	Температура, °С
ΔL_1	0.00	-0.003	-0.45	-0.25
ΔL_2	0.00	-0.019	-0.56	-0.47
ΔL_3	0.00	0.039	-0.32	-0.35
ΔL_4	0.00	-0.027	0.01	-0.13
ΔL_5	0.00	0.017	-0.15	-0.025
ΔL_6	0.00	-0.003	-0.35	-0.005
ΔL_7	0.00	-0.002	-0.36	0.06
ΔL_8	0.00	-0.003	0.16	0.19
ΔL_9	0.00	-0.014	0.80	0.26
ΔL_{10}	0.00	-0.003	0.84	0.22

Таблица 8. Результаты измерений в неподвижном состоянии.

Статика

Высота	CO, ppm	CO ₂ , ppm	Сырое значение CO ₂	Твердые частицы, $\frac{\mu g}{m^3}$	Температура, °C
0,5	0,00±0,00	400,00±0,00	232/1023±2	1.472±0,006	27.23±0,05
1,0	0,80±0,4	400,00±0,00	240/1023±7	1,622±0,018	24,17±0,4
1,5	0,20±0,3	400,00±0,00	231,0/1023±0,4	1,628±0,007	25,89±0,04
2,0	0,00±0,00	400,00±0,00	238/1023±1	1,428±0,006	25,1 ±0,3
2,5	1,00±0,00	400,00±0,00	262/1023±3	1,418 ±0.014	23,47±0,08
3,0	1,00±0,00	400,00±0,00	237/1023±1	1,65±0,01	27,9±0,2
3,5	1.00±0,00	400,00±0,00	235/1023±2	1,448±0,006	26,1±0,1

Таблица 9. Результаты измерений в подвижном состоянии.

Динамика					
Высота	CO, ppm	CO ₂ , ppm	Сырое значение CO ₂	Твердые частицы, $\frac{\mu g}{m^3}$	Температура, °C
0,5	0,00±0,00	400,00±0,00	240/1023±10	1,41±0,01	26,1±0,8
1,0	0,2 ±0,16	400,00±0,00	241,6/1023±5,2	1,636±0,011	24,1±0,2
1,5	1,00±0,00	400,00±0,00	244,0/1023±5,2	1,606±0,017	24,13±0,13
2,0	0,00±0,00	400,00±0,00	241/1023±8	1,400±0,008	23,5±0,3
2,5	0,2±0,3	400,00±0,00	245,6/1023±1,3	1,44±0,01	24,8±0,3
3,0	1,00±0,00	400,00±0,00	245/1023±7	1,608 ±0,014	23,4±0,3
3,5	0,8±0,3	400,00±0,00	243/1023±4	1,47±0,04	24,2±0,4

Таблица 10. Относительное изменение показаний датчиков

Высота	CO ₂ - углекислый газ			CO - угарный газ			Твердые частицы			Температура		
	m _{стат}	Δm	μ, %	m _{стат}	Δm	μ, %	m _{стат}	Δm	μ, %	m _{стат}	Δm	μ, %
0,5	232	8	3,45	0,00	0	0	1.472	0,062	4,21	27.23	1,13	4,15
1,0	240	1,6	0,7	0,8	0,6	75	1,622	0,014	0,86	24,17	0,07	0,29
1,5	231	13	5,63	1	0,8	80	1,628	0,022	1,35	25,89	1,76	6,79
2,0	238	3	1,26	0,00	0	0	1,428	0,028	1,96	25,1	1,6	6,37
2,5	262	16,4	6,26	1,00	0,8	80	1,418	0,022	1,55	23,47	1,33	5,66
3,0	237	8	3,38	1,00	0	0	1,65	0,042	2,55	27,9	4,5	16,1
3,5	235	8	3,40	1,00	0,2	20	1,448	0,022	1,52	26,1	1,9	7,28

Таблица 11. Относительное изменение показаний датчиков по высоте

Высота	$\mu_{CO_2}, \%$	$\mu_{CO}, \%$	$\mu_{ТВ.част.}, \%$	$\mu_t, \%$	$\mu_{ср}, \%$
0,5	3,45	0	4,21	4,15	2,95
1,0	0,7	75	0,86	0,29	19,21
1,5	5,63	80	1,35	6,79	23,44
2,0	1,26	0	1,96	6,37	2,40
2,5	6,26	80	1,55	5,66	23,37
3,0	3,38	0	2,55	16,1	5,51
3,5	3,40	20	1,52	7,28	8,05

Таблица 12. Медианы значений μ при разных высотах

Высота, м	Данные μ (отсортировано)	Центральные значения	Медиана	Интерпретация
0,5	[0; 3,45; 4,15; 4,21]	3,45 и 4,15	3,80%	Умеренное влияние
1,0	[0,29; 0,7; 0,86; 75]	0,7 и 0,86	0,78%	Отличное (но $\mu_{CO}=75\%$)
1,5	[1,35; 5,63; 6,79; 80]	5,63 и 6,79	6,21%	Высокое влияние
2,0	[0; 1,26; 1,96; 6,37]	1,26 и 1,96	1,61%	Отличное
2,5	[1,55; 5,66; 6,26; 80]	5,66 и 6,26	5,96%	Высокое влияние
3,0	[0; 2,55; 3,38; 16,1]	2,55 и 3,38	2,97%	Хорошее (но $\mu_t=16,1\%$)
3,5	[1,52; 3,40; 7,28; 20]	3,40 и 7,28	5,34%	Среднее влияние

Таблица 13. Стандартные отклонения при разных высотах

Высота	Стандартное отклонение ($\sigma, \%$)	Оценка однородности
0,5	1,73	Небольшие различия между датчиками
1,0	32,21	Сильный разброс
1,5	38,11	Сильный разброс
2,0	2,84	Небольшие различия между датчиками
2,5	37,74	Сильный разброс
3,0	7,39	Заметный разброс в реакциях
3,5	7,45	Заметный разброс в реакциях

Таблица 14. Зависимость показателей влияния от высоты

Высота	Среднее μ	Медиана μ	Стандарт. σ
0.5	2.95	3.80	1.73
1.0	19.21	0.78	32.21
1.5	23.44	6.21	38.11
2.0	2.40	1.61	2.84
2.5	23.37	3.96	37.74
3.0	5.51	2.97	7.39
3.5	8.05	5.34	7.45