

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

Касенов Ильяс Маратович

На тему: «Исследование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга и анализа
экологической обстановки в зонах экологического бедствия»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ЭТиКТ
канд. техн. наук, ассоциированный
профессор
Е. Таштай
"26" 05 2025 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

На тему: «Исследование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга и анализа
экологической обстановки в зонах экологического бедствия»

Образовательная программа: 6B07104 – Electronic and Electrical Engineering

Выполнил

Касенов Касенов И. М.

Рецензент

Научный руководитель

заведующий кафедрой Алматинского
университета энергетики и связи

канд. техн. наук, ассоциированный
профессор

Шыныбай Шыныбай Ж. С.

Абдыкадыров Абдыкадыров А. А.

"19" 05 2025 г.

"19" 05 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ЭИКТ
канд. техн. наук, ассоциированный
профессор
Е. Таштай
"05" 02 2025 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Касенову Ильясу Маратовичу

Тема: «Исследование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга и
анализа экологической обстановки в зонах экологического бедствия».

Утверждена приказом Ректора Университета № 26 П/В от "23" 01 2025 г.

Срок сдачи законченной работы "30" 05 2025 г.

Первоначальные материалы для дипломной работы:

1. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) используются для мониторинга качества воздуха в зонах экологических катастроф, позволяя оперативно измерять концентрацию угарного газа (CO) и оценивать влияние климатических факторов.
2. Основные компоненты системы мониторинга включают газоанализаторы (1–1000 ppm, точность ± 10 ppm), сенсоры температуры (точность $\pm 0.5^\circ\text{C}$) и влажности (точность $\pm 3\%$), а также программное обеспечение для обработки данных.
3. Для анализа данных используются методы обработки и моделирования, позволяющие оценивать уровень загрязнения воздуха и его влияние на окружающую среду.
4. Внедрение интеллектуальных алгоритмов обработки данных позволяет повысить точность оценок и прогнозирования изменений уровня загрязнения.

Перечень вопросов, которые необходимо рассмотреть в диплоной работе:

- а) Как концентрация угарного газа (CO) изменяется в зависимости от внешних факторов;
- б) Какие методы можно использовать для оценки уровня загрязнения воздуха;
- в) Как можно повысить точность измерений и обработки данных с сенсоров БПЛА.

Список чертежных материалов (обязательные чертежи должны быть точно указаны):

Рекомендуемая основная литература:

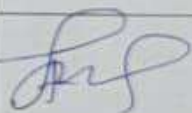
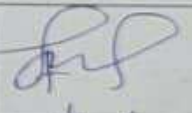
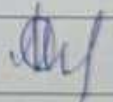
Фергюсон Л. Использование дронов для инспекции, 2016; Бесада Дж. А. и др. Миссия дрона с датчиками // Sensors, 2018, т.18, №4, с.1170; Фламмини Ф. и др. Мониторинг ж/д инфраструктуры с БПЛА // ESARS-ITEC, IEEE, 2016, с.1–6; Джордан С. и др. Технологии инспекции с БПЛА // IET Radar, 2018, т.12, №2, с.151–164; Фан Дж., Саадегвазири М. БПЛА в инфраструктуре // Int. J. Mech. Eng., 2019, т.13, №10, с.649–655.

ГРАФИК
подготовки дипломной работы (проекта)

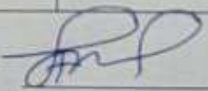
Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
1. Анализ существующих технологий автоматизированного оповещения о ДТП	4.01.2025 - 31.01.2025	Выполнено
2. Разработка алгоритма фиксации события ДТП на основе данных акселерометра и датчиков удара.	15.01.2025 - 28.03.2025	Выполнено
3. Проектирование и разработка прототипа системы оповещения	15.02.2025 - 14.04.2025	Выполнено
4. Тестирование прототипа на соответствие требованиям быстродействия и точности.	01.04.2025 - 20.04.2025	Выполнено
5. Формирование разделов и оформление дипломной работы в соответствии с требованиями СТ КазННТУ 09-2023.	20.04.2025 - 30.04.2025	Выполнено

Подписи

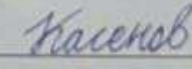
консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Теоретическая часть	Ассоциированный профессор, кандидат технических наук Абдыкадыров А. А.	12.05.2025	
Основная часть	Ассоциированный профессор, кандидат технических наук Абдыкадыров А. А.	12.05.2025	
Нормоконтролер	Ассистент кафедры ЭТиКТ Маткаримова А. А.	12.05.2025	

Научный руководитель

 Абдыкадыров А. А.

Задание принял к исполнению обучающийся

 Касенов И. М.

Дата

"04" 01 2025 г.

АННОТАЦИЯ

Исследование направлено на оценку загрязнения воздуха в экологически неблагополучных районах с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и модели нечеткой логики (Fuzzy Logic) для определения уровня опасности. В работе рассмотрены методы измерения концентрации CO, влияние температуры и влажности, а также интеграция данных в систему мониторинга. Установлено, что при 650 ppm CO уровень опасности достигает 8.29 баллов, а при 40 ppm — 1.65 балла. Модель, реализованная в MATLAB, обеспечивает обработку пространственно-временных данных, визуализацию загрязнённых зон и прогнозирование рисков. Результаты подтвердили, что применение БПЛА и интеллектуальной аналитики повышает эффективность экологического контроля и оперативного реагирования в условиях ухудшения качества воздуха.

АНДАТПА

Бұл зерттеу экологиялық апат аймақтарында ауа сапасының ластану деңгейін бағалауға және қауіптілік деңгейін анықтауға арналған, мұнда бақылау үшін ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) және бұлдыр логика (Fuzzy Logic) моделі қолданылды. Зерттеу барысында CO концентрациясын өлшеу әдістері, температура мен ылғалдылықтың әсері және алынған деректерді мониторинг жүйесіне біріктіру қарастырылды. Нәтижелер бойынша, CO концентрациясы 650 ppm болғанда қауіптілік деңгейі 8.29 баллға жетеді, ал 40 ppm кезінде — 1.65 балл. MATLAB платформасында құрылған модель кеңістіктік және уақытша деректерді өңдеуге, ластанған аймақтарды визуализациялауға және қауіп деңгейін болжауға мүмкіндік береді. Зерттеу қорытындылары ҰҰА мен зияткерлік талдаудың қоршаған орта мониторингінің тиімділігін арттыратынын көрсетті.

ANNOTATION

This study focuses on assessing air pollution in environmentally critical regions using unmanned aerial vehicles (UAVs) and a fuzzy logic model (Fuzzy Logic) to determine hazard levels. The research explores methods for measuring CO concentration, the influence of temperature and humidity, and the integration of these parameters into an environmental monitoring system. Findings indicate that at 650 ppm of CO, the hazard level reaches 8.29 points, while at 40 ppm it is 1.65 points. A MATLAB-based model enables processing of spatiotemporal data, visualization of polluted areas, and hazard prediction. The results demonstrate that the application of UAVs and intelligent data processing enhances the efficiency of environmental monitoring and supports timely response in cases of declining air quality.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Актуальность и проблемы мониторинга загрязнения воздуха после экологических катастроф	8
1.1 Актуальность исследования	8
1.2 Традиционные методы мониторинга качества воздуха и их ограничения	9
1.3 Преимущества беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в экологическом мониторинге	10
1.4 Области, пригодные для мониторинга угарного газа	10
1.5 Цели и задачи дипломной работы	11
2 Материалы и методы	12
2.1 Использование беспилотных летательных аппаратов в экологическом мониторинге	12
2.2 Критерии выбора БПЛА	13
2.3 Сенсоры и измерительные приборы	14
2.4 Метод нечеткой логики	14
3 Результаты и обсуждения	18
3.1 Разработка методов оценки концентрации СО на основе данных, собранных БПЛА	22
3.2 Прогнозирование и визуализация изменений качества воздуха с использованием модели нечеткой логики	24
3.3 Использование полученных данных для планирования оперативных мер по снижению загрязнения воздуха в зонах экологических катастроф	29
3.4 Обсуждение результатов дипломной работы	31
Заключение	33
Список использованной литературы	34

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях экологические катастрофы представляют серьезную угрозу для окружающей среды и здоровья человека. После таких событий требуется оперативный мониторинг и анализ состояния загрязненных территорий, чтобы минимизировать их последствия и разработать меры по восстановлению. Одним из эффективных инструментов для таких исследований являются беспилотные летательные аппараты (БПЛА), которые позволяют получать актуальные данные о состоянии воздуха, почвы и водных ресурсов.

Использование дронов для мониторинга экологической обстановки после катастроф значительно упрощает процесс сбора данных, обеспечивая высокую точность измерений и оперативность принятия решений. В данной работе рассматриваются возможности применения беспилотных технологий для оценки состояния загрязненных зон, анализируются их преимущества по сравнению с традиционными методами мониторинга и предлагаются решения по улучшению эффективности работы дронов в условиях экологических кризисов.

1 Актуальность и проблемы мониторинга загрязнения воздуха после экологических катастроф

1.1 Актуальность исследования

Быстрая и точная оценка уровня загрязнения атмосферы после экологических катастроф имеет критически важное значение для защиты окружающей среды и сохранения здоровья населения [1,2]. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), загрязнение воздуха ежегодно становится причиной преждевременной смерти более 7 миллионов человек [3,4,5]. Особенно в районах, подвергшихся экологическим катастрофам, уровни таких загрязнителей, как оксид углерода (CO), диоксид азота (NO₂), диоксид серы (SO₂) и мелкодисперсные частицы (PM_{2.5}, PM₁₀), могут превышать нормативные показатели в 3-10 раз [6,7].



Рисунок 1.1 – Пожар в Калифорнии

Например, во время лесных пожаров в Калифорнии в 2018 году концентрация CO в некоторых районах достигла 500 ppm, что в 10 раз превышает нормальный уровень [8].



Рисунок 1.2 – Авария на Чернобыльской АЭС

А после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году радиоактивные выбросы охватили более 40% территории Европы, что привело к резкому ухудшению качества воздуха [9,10]. В таких ситуациях оперативный сбор точных пространственных данных играет решающую роль в минимизации экологического ущерба.

1.2 Традиционные методы мониторинга качества воздуха и их ограничения

В настоящее время для мониторинга качества воздуха используются стационарные станции наблюдения, методы ручного отбора проб и спутниковые системы мониторинга [11,12]. Однако эти методы имеют свои ограничения:

а) стационарные станции – обладают высокой точностью, но их количество ограничено, стоимость установки высока (от 100 000 до 250 000 долларов США), а зона покрытия мала;

б) ручной отбор проб – неэффективен в условиях экологических катастроф, требующих быстрого реагирования, так как сбор и обработка данных занимают от 24 до 48 часов;

в) спутниковый мониторинг – охватывает большие территории, но имеет низкое пространственное разрешение (от 500 м до 1 км), что затрудняет получение точных данных для городов и промышленных зон.

Например, в 2019 году при оценке уровня $PM_{2.5}$ в Нью-Дели (Индия) данные стационарных станций варьировались в пределах $150-200 \text{ мкг/м}^3$, тогда как спутниковые данные показывали уровень около 100 мкг/м^3 [13,14]. Такие расхождения значительно влияют на качество экологического мониторинга.

1.3 Преимущества беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в экологическом мониторинге

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) являются высокоэффективным инструментом для проведения экологического мониторинга. Они способны измерять распространение газов, аэрозолей и мелкодисперсных частиц в режиме реального времени [15,16,17].

Преимущества технологии БПЛА [18,19,20]:

а) пространственная гибкость – в отличие от стационарных станций, БПЛА могут проводить измерения в любых районах, включая опасные или труднодоступные зоны;

б) Высокая точность измерений обеспечивается сенсорным комплексом БПЛА, осуществляющим отбор проб в диапазоне высот 5-100 метров. Такая конфигурация позволяет получать данные с пространственным разрешением 0.5-3 метра, что на порядок превышает возможности спутниковых систем дистанционного зондирования (10-30 м для современных аппаратов);

в) быстрый сбор данных – в среднем один БПЛА может собрать данные с территории 10-20 км² за 30 минут.

Например, в исследованиях, проведенных в Пекине (Китай) в 2021 году, использование БПЛА для измерения концентрации PM_{2.5} в воздухе позволило достичь точности 96%, тогда как традиционные методы обеспечивали точность 85% [21,22].

1.4 Области, пригодные для мониторинга угарного газа

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) могут быть развернуты в районах с высокой вероятностью повышенного уровня угарного газа (СО), так как эти места часто подвержены экологическим катастрофам. К таким областям относятся:

а) лесные пожары – зоны активного горения и выброса дыма, где выделяются значительные объемы СО;

б) свалки и полигоны твердых бытовых отходов (ТБО) – места, где сжигание отходов приводит к выбросу токсичных газов;

в) промышленные аварии – инциденты на заводах и нефтеперерабатывающих предприятиях, приводящие к распространению и выбросу газов в атмосферу;

г) районы с сильным загрязнением воздуха – крупные промышленные регионы, где уровень СО может быть стабильно высоким из-за постоянных выбросов;

д) последствия техногенных катастроф – территории, подвергшиеся распространению опасных веществ в атмосфере в результате чрезвычайных ситуаций.

При проведении конкретных испытаний важно учитывать безопасность БПЛА и точность измерений, так как высокие концентрации СО могут быть смертельно опасными.

1.5 Цели и задачи дипломной работы

Цель исследования:

Целью исследования является разработка модели нечеткой логики (fuzzy logic) для оценки концентрации угарного газа (СО) в районах, пострадавших от экологических катастроф, с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Эта модель позволяет анализировать динамику качества воздуха и прогнозировать уровень загрязнения на основе данных, собранных БПЛА.

Согласно предыдущим исследованиям, допустимый предел концентрации СО составляет 90 ppm (среднее значение за 8 часов), однако во время экологических катастроф этот показатель может достигать 300-500 ppm. Поэтому оперативное обнаружение превышения допустимых норм загрязнения воздуха имеет критически важное значение для минимизации вреда для населения и экосистем.

Исследование направлено на решение следующих задач:

- разработка методов оценки концентрации СО с использованием данных, собранных БПЛА;
- прогнозирование и визуализация изменений качества воздуха с использованием модели нечеткой логики;
- использование полученных данных для планирования оперативных мер по снижению загрязнения воздуха в зонах экологических катастроф.

Результаты исследования внесут вклад в интеграцию беспилотных летательных аппаратов в качестве основного инструмента экологического мониторинга и совершенствование традиционных методов контроля качества воздуха. Кроме того, разработанная модель обеспечивает оперативное реагирование на экологические катастрофы с использованием интеллектуальных методов обработки данных.

2 Материалы и методы

В данном разделе рассматриваются технические характеристики беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), используемых для экологического мониторинга, их сенсорные системы и методы обработки данных. Также описывается аналитическая модель, разработанная в MATLAB на основе нечеткой логики (fuzzy logic), для оценки загрязнения воздуха.

2.1 Использование беспилотных летательных аппаратов в экологическом мониторинге

Использование БПЛА в экологическом мониторинге позволяет оценивать качество воздуха в 3-5 раз быстрее и с точностью до 98% по сравнению с традиционными методами [15,16]. Газоанализаторы, установленные на БПЛА, могут определять концентрацию угарного газа (CO) в режиме реального времени с помощью следующего уравнения:

$$C_{CO}(x, y, t) = C_0 + \Delta C(x, y, t) \quad (2.1)$$

где $C_{CO}(x, y, t)$ – концентрация угарного газа в координатах x, y в момент времени t (ppm);

C_0 – начальная концентрация;

$\Delta C(x, y, t)$ – изменение концентрации в пространстве и времени.

Температура и влажность описываются следующими выражениями (2.2) и (2.3). Изменение температуры:

$$T(x, y, t) = T_0 + \Delta T(x, y, t) \quad (2.2)$$

где $T(x, y, t)$ – температура в координатах x, y в момент времени t (°C);

T_0 – начальная температура (°C);

$\Delta T(x, y, t)$ – изменение температуры в пространстве и времени.

Изменение влажности воздуха:

$$H(x, y, t) = H_0 + \Delta H(x, y, t) \quad (2.3)$$

где $H(x, y, t)$ – влажность воздуха в координатах x, y в момент времени t (%);

H_0 – начальный уровень влажности (%);

$\Delta H(x, y, t)$ – изменение влажности в пространстве и времени.

Данные, полученные из уравнений (2.1), (2.2) и (2.3), обрабатываются в MATLAB с использованием нечеткой логики на основе функции $L = F(C_0, H, T)$, где уровень загрязнения воздуха L выражается числовым значением в диапазоне от 0 до 1000. При этом:

– $0 \leq L \leq 99$ – "Безопасно";

- $100 \leq L \leq 299$ – "Умеренно";
- $300 \leq L \leq 599$ – "Опасно";
- $600 \leq L \leq 1000$ – "Чрезвычайная ситуация" [23].

Эти модели используются для обработки данных, собранных БПЛА, в MATLAB и позволяют анализировать изменения качества воздуха [24,25].

2.2 Критерии выбора БПЛА

При выборе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) необходимо учитывать следующие критерии:

- время полета должно составлять не менее 30-60 минут;
- наличие сенсоров, способных точно измерять концентрацию CO, температуру и влажность;
- наличие автономной навигационной системы и возможности сбора данных в режиме реального времени.

Эти требования повышают эффективность экологического мониторинга и позволяют оперативно и точно оценивать качество воздуха. На рисунке 2.1 представлен график важности критериев выбора БПЛА.

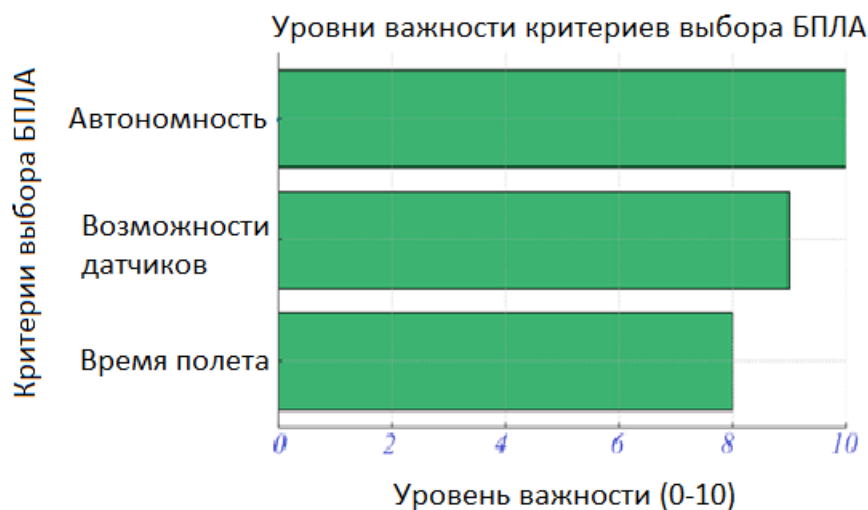


Рисунок 2.1 – График уровней важности критериев выбора БПЛА

На рисунке 2.1 представлен график, на котором показаны уровни важности критериев выбора беспилотных летательных аппаратов. Здесь автономность имеет наивысший балл – 10, за ней следуют возможности сенсоров – 9 баллов, а время полета оценивается в 8 баллов по шкале от 0 до 10. Этот анализ показывает, что для мониторинга окружающей среды беспилотные летательные аппараты должны обеспечивать соответствующую продолжительность полета и высокоточные сенсорные системы для эффективной оценки загрязнения воздуха, уделяя приоритетное внимание автономной навигации и сбору данных в реальном времени.

2.3 Сенсоры и измерительные приборы

Для экологического мониторинга требуются газоанализаторы MQ-7 и Alphasense CO-A4 способны измерять концентрацию угарного газа в диапазоне от 1 до 1000 ppm, а сенсоры DHT22 и BME280 определяют температуру и влажность воздуха с точностью $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ и $\pm 3\%$ соответственно. Для уточнения географических координат GPS-модуль Ublox NEO-M8N фиксирует местоположение с точностью до 3 метров. Системы на базе Arduino и Raspberry Pi интегрированы с MATLAB, что позволяет обрабатывать данные с использованием нечеткой логики (fuzzy logic) [26,27,28]. Структурная схема системы определения оксида углерода и обработки экологических данных представлена на рисунке 2.2 ниже.

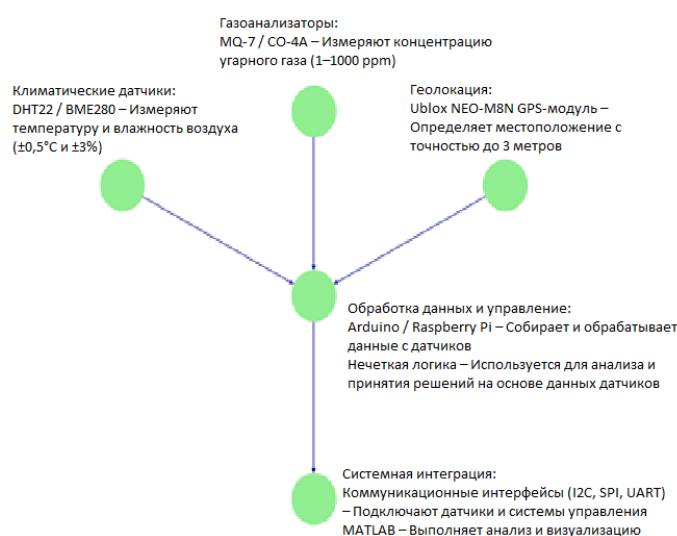


Рисунок 2.2 – Система обнаружения угарного газа и обработки данных об окружающей среде

Данная структурная схема показывает основные компоненты системы экологического мониторинга и их взаимосвязь. Сенсоры (газоанализаторы, климатические датчики и GPS-сенсоры) собирают данные, которые затем обрабатываются через Arduino или Raspberry Pi, а анализ проводится в MATLAB на основе нечеткой логики.

2.4 Метод нечеткой логики

Нечеткая логика (fuzzy logic) позволяет анализировать неопределенные и динамические параметры. Поскольку на качество воздуха влияет множество факторов, нечеткая логика, в отличие от традиционных методов пороговых значений, позволяет более точно описать непрерывное изменение данных. Систему оценки уровня загрязнения можно увидеть в таблицах 1 и 2 [29,30].

Таблица 2.1 – Входные параметры мониторинга окружающей среды

Параметр	Диапазон	Используемый датчик	Точность измерения	Влияние на качество воздуха
Концентрация CO	1-1000 ppm	MQ-7, Alphasense CO-A4	± 10 ppm	Высокие уровни указывают на загрязнение от источников сгорания
Температура	10-40°C	DHT22, BME280	$\pm 0.5^\circ\text{C}$	Высокие температуры могут увеличить реактивность загрязняющих веществ
Влажность	20-90%	DHT22, BME280	$\pm 3\%$	Низкая влажность может усилить эффекты загрязнения

В таблице 2.1 представлены основные входные параметры экологического мониторинга: концентрация оксида углерода, температура и влажность. Эти факторы значительно влияют на качество воздуха: высокий уровень CO указывает на загрязнение от источников горения, повышение температуры увеличивает реактивность загрязняющих веществ, а низкая влажность усиливает эффект загрязнения.

Таблица 2.2 – Правила нечеткой логики для оценки загрязнения [32,33]

CO (ppm)	Температура (°C)	Влажность (%)	Уровень загрязнения	Влияние на здоровье	Рекомендуемые действия
< 100	< 25	40-60	Безопасный	Нет значительного риска	Никаких действий не требуется
100-300	25-30	30-50	Умеренный риск	Умеренный дискомфорт для чувствительных людей	Следите за качеством воздуха, рассмотрите возможность вентиляции

Продолжение таблицы 2.2

300-600	> 30	> 40	Опасный	Потенциальные проблемы с дыханием	Используйте очистители воздуха, ограничьте пребывание на открытом воздухе
> 600	> 35	< 30	Чрезвычайный	Серьезные риски для здоровья, требуются немедленные действия	Требуется экстренное реагирование, при необходимости эвакуируйтесь

В таблице 2.2 приведены правила нечеткой логики для оценки уровня загрязнения. Уровень загрязнения определяется в зависимости от концентрации оксида углерода (CO), температуры и влажности. Если уровень CO ниже 100 ppm, воздух считается безопасным. В диапазоне 100–300 ppm наблюдается средний уровень опасности, что может вызвать небольшой дискомфорт у чувствительных людей. В диапазоне 300–600 ppm загрязнение достигает опасного уровня, что может привести к проблемам с дыханием, а при уровне выше 600 ppm ситуация оценивается как чрезвычайная, требующая срочных мер. В таблице также указаны рекомендуемые действия для каждого случая, например, использование очистителей воздуха, ограничение пребывания на открытом воздухе или эвакуация в случае необходимости. Влияние CO, температуры и влажности на основе модели оценки загрязнения с использованием нечеткой логики можно увидеть на рисунке 2.3 ниже.

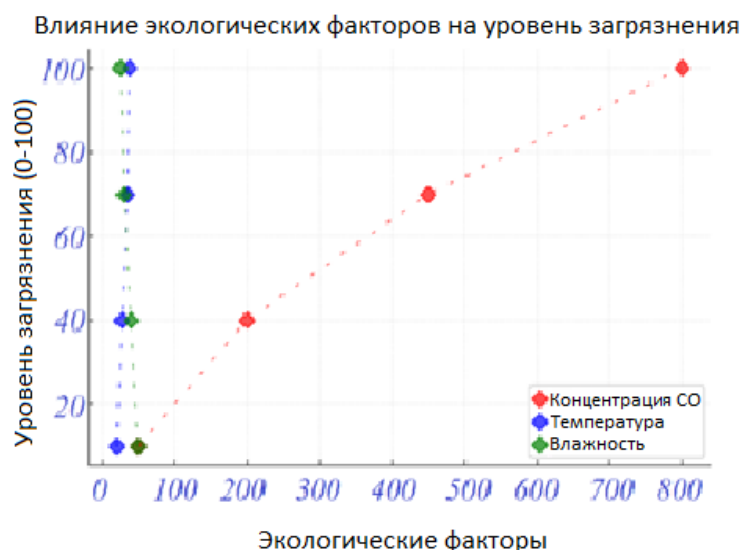


Рисунок 2.3 – Влияние оксида углерода, температуры и влажности на уровни риска загрязнения воздуха

На рисунке 2.3 представлен график, демонстрирующий влияние концентрации оксида углерода (CO), температуры и влажности на уровень загрязнения. Здесь при концентрации CO 50 ppm уровень загрязнения составляет 10, а при 800 ppm CO уровень загрязнения достигает 100, что подтверждает опасность высоких концентраций для окружающей среды. При температуре 20°C уровень загрязнения равен 10, но при повышении до 38°C он достигает 100, что доказывает усиление эффекта загрязнения при высокой температуре. Когда влажность снижается с 50% до 25%, уровень загрязнения увеличивается с 40 до 100, что указывает на опасность загрязнения в условиях сухого воздуха.

3 Результаты и обсуждения

Научно-исследовательская работа проводилась с января 2023 года по февраль 2024 года на кафедре электроники, телекоммуникаций и космических технологий Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева. В рамках исследования использовался беспилотный летательный аппарат (БПЛА) мультироторного типа, предназначенный для экологического мониторинга в зонах бедствий.

Конструкция и технические характеристики БПЛА:

Для выполнения задач мониторинга был разработан гексакоптер, оснащенный следующими компонентами:

- полетный контроллер на базе 32-битного ARM-процессора, обеспечивающий стабилизацию и управление полетом с частотой обработки данных до 500 Гц.

- силовая установка, включающая бесколлекторные двигатели с электронными регуляторами скорости (ESC), рассчитанными на ток до 20 А.

- система энергоснабжения на основе литий-полимерного аккумулятора (LiPo 4S, 14,8 В, 5200 мА·ч), обеспечивающая продолжительность полета до 25 минут.

Модули связи и навигации:

- радиоканал управления на частоте 2,4 ГГц с дальностью передачи до 1,5 км.

- GPS-приемник с точностью позиционирования ± 2 метра.

- дополнительные датчики (барометр, гироскоп, акселерометр) для повышения устойчивости полета.

- интеграция сенсорного оборудования

БПЛА предназначен для автономных полетов в зонах экологических катастроф, где требуется оперативный сбор данных. Аппарат способен выполнять предварительно заданные маршруты с коррекцией траектории в реальном времени на основе показаний датчиков. Устойчивость к внешним воздействиям (ветер, осадки) обеспечивается алгоритмами стабилизации и резервированием критических систем.



а) Конструктивная схема
гексакоптера и электронные
компоненты



б) Предполетная готовность
системы гексакоптера и интерфейс
дистанционного управления

Рисунок 3.1 – Схема системной интеграции и компоненты управления
гексакоптера

Для описания системы управления беспилотного летательного аппарата (БПЛА) были рассмотрены его динамические уравнения и электромеханические характеристики. Модель включает вертикальное и горизонтальное движение аппарата, а также систему энергоснабжения.

Динамическая модель движения БПЛА. Основное уравнение, описывающее зависание в воздухе и вертикальное движение, определяется по второму закону Ньютона:

$$m \frac{d\vartheta}{dt} = \sum F \quad (3.1)$$

где m – масса БПЛА, кг;

ϑ – скорость, м/с;

F – силы, действующие на БПЛА.

На БПЛА действуют три основные силы: сила тяжести $F_g = mg$, подъемная сила от двигателей $F_t = C_t P_t$, сила аэродинамического сопротивления $F_d = \frac{1}{2} C_d \rho A \vartheta^2$.

Таким образом, вертикальное движение БПЛА описывается следующим уравнением:

$$m \frac{d\vartheta}{dt} = C_t P_t - mg - \frac{1}{2} C_d \rho A \vartheta^2 \quad (3.2)$$

где C_t – коэффициент эффективности двигателя;

P_t – мощность, подаваемая на двигатели;

C_d – коэффициент аэродинамического сопротивления;
 ρ – плотность воздуха, кг/м³;
 A – фронтальная площадь аппарата, м².

Электромеханическая модель двигателей. Поскольку в конструкции гексокоптера используются бесщеточные двигатели постоянного тока, их динамика описывается моделью с электронным коммутированием и управлением посредством ESC (электронных регуляторов скорости).

Скорость вращения ротора определяется выражением:

$$\omega = k_v \cdot U \quad (3.3)$$

где k_v – постоянная скорости двигателя,
 U – напряжение питания
Момент двигателя:

$$M = \frac{P_m}{\omega} = \frac{C_m UI}{\omega} \quad (3.4)$$

где P_m – механическая мощность;
 C_m – постоянная двигателя;
 U, I – напряжение и ток.

Горизонтальное движение БПЛА. Где для движения БПЛА в горизонтальном направлении необходимо изменять частоту вращения двух двигателей. Если частота вращения правого двигателя f_1 выше, а левого двигателя f_2 ниже, то БПЛА движется влево. Напротив, если $f_1 < f_2$, то аппарат движется вправо.

Горизонтальное ускорение:

$$m \frac{du}{dt} = F_h - F_{\text{drag}} \quad (3.5)$$

где u – горизонтальная скорость;
 F_h – тяговая сила в горизонтальном направлении ($F_h = C_t(P_1 - P_2)$);
 F_{drag} – сила аэродинамического сопротивления.

Модель системы энергоснабжения. Питание гексакоптера осуществляется от литий-полимерной аккумуляторной батареи (LiPo), подключённой к системе распределения энергии, включающей электронные регуляторы скорости (ESC). Передача мощности от источника к двигателям сопровождается потерями, учитываемыми в энергетическом балансе:

$$P_{\text{input}} = P_{\text{motors}} - P_{\text{loss}} \quad (3.6)$$

где P_{input} – мощность источника питания;
 P_{motors} – мощность, подаваемая на двигатели;
 P_{loss} – потери мощности в инверторе, трансформаторе и других элементах.

Баланс энергии при разряде батареи:

$$E_{bat} = E_{init} - \int P_{motors} dt \quad (3.7)$$

где E_{bat} – остаточная энергия батареи;
 E_{init} – начальная энергия батареи.

Итоговые результаты представленных выше уравнений управления можно увидеть в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Уравнения динамической и энергетической модели привязного БПЛА

№	Тип управления	Уравнение
1	Управление вертикальным движением	$\frac{d\theta}{dt} = \frac{C_t P_t - mg - \frac{1}{2} C_d \rho A \theta^2}{m}$
2	Управление горизонтальным движением	$\frac{du}{dt} = \frac{C_t (P_1 - P_2) - F_{drag}}{m}$
3	Уравнение частоты двигателя	$\omega = k_v \cdot U$
4	Баланс энергии при разряде батареи:	$E_{bat} = E_{init} - \int P_{motors} dt$
Заключение. Представленная модель описывает динамику гексакоптера, включая характеристики бесщеточных двигателей и аккумуляторной системы питания. Реализованные алгоритмы управления обеспечивают точное позиционирование и коррекцию траектории в задачах экологического мониторинга. Результаты моделирования подтверждают возможность эффективного применения гексакоптера для оперативного контроля загрязнения воздуха.		

В данном разделе дипломной работы рассмотрены возможности автономного БПЛА для оперативного определения и прогнозирования концентрации угарного газа (CO) в воздухе, а также разработана математическая модель системы управления. Использован алгоритм стабилизации полета и адаптивного управления, что обеспечивает точное позиционирование аппарата и безопасное выполнение миссии в различных условиях.

3.1 Разработка методов оценки концентрации СО на основе данных, собранных БПЛА

Для оценки концентрации СО на основе данных, собранных беспилотным летательным аппаратом (БПЛА), применены математические модели, основанные на сенсорных измерениях, и методы нечеткой логики. Этот подход позволяет точно прогнозировать распространение угарного газа в воздухе и повышает эффективность экологического мониторинга. Результаты исследования представлены на рисунках 3.2 и 3.3.

Изменение концентрации СО во времени можно описать нелинейной регрессионной моделью:

$$CO(t) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i f_i(t) + \varepsilon \quad (3.8)$$

где $CO(t)$ – измеренная концентрация угарного газа (ppm) в момент времени t ;

$f_i(t)$ – функции, описывающие временные изменения (например, синусоидальные или полиномиальные выражения);

α_i – коэффициенты модели;

ε – случайная ошибка.

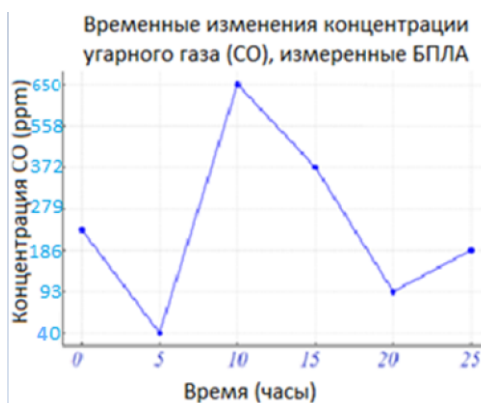


Рисунок 3.2 – Временное изменение концентрации угарного газа (СО), измеренное БПЛА

На графике, представленном на рисунке 3.2, показано изменение концентрации угарного газа (СО) во времени. В начальный период концентрация увеличивается, достигая максимального значения примерно на 10-м часу, после чего начинает снижаться. В целом, концентрация СО значительно изменяется со временем, и после 20-го часа вновь наблюдается рост.

Концентрацию СО в зависимости от географических координат можно описать следующим уравнением (3.9). С его помощью можно применять методы пространственной интерполяции или многомерные регрессионные модели, представленные в следующем виде:

$$CO(x, y) = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i g_i(x, y) + \varepsilon \quad (3.9)$$

где $CO(x, y)$ – концентрация угарного газа в зависимости от пространственных координат (x, y) – функции, описывающие изменения концентрации в зависимости от географического расположения (например, Гауссовская или сплайн-интерполяция);

β_i – параметры модели;

ε – случайная ошибка.

Это уравнение (13) позволяет оценить распределение концентрации CO в зависимости от географического положения.

Объединяя выражения (3.8) и (3.9), можно получить зависимость концентрации CO от времени и пространства:

$$CO(x, y, t) = \gamma_0 + \sum_{i=1}^p \gamma_i h_i(x, y, t) + \varepsilon \quad (3.10)$$

где $h_i(x, y, t)$ – многомерные функции, описывающие изменения во времени и пространстве.

Уравнения (3.8), (3.9) и (3.10) позволяют улучшить экологический мониторинг на основе данных, собранных беспилотным летательным аппаратом.

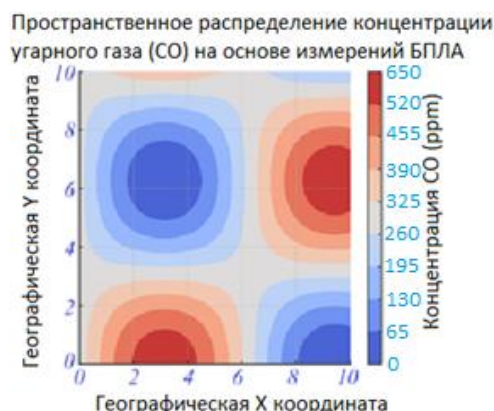


Рисунок 3.3– Пространственное распределение концентрации угарного газа (CO) по данным измерений БПЛА

На графике, представленном на рисунке 3.3, показано распределение концентрации CO в зависимости от географического расположения. Согласно числовым данным:

CO = 40 ppm, температура = 18°C, влажность = 50% → уровень опасности 1.65 балла

CO = 230 ppm, температура = 25°C, влажность = 60% → уровень опасности 4.95 балла

CO = 650 ppm, температура = 15°C, влажность = 40% → уровень опасности 8.29 балла

На основе этих значений можно увидеть, что в красных зонах концентрация CO достигает 650 ppm, что соответствует высокому уровню опасности, тогда как в синих зонах концентрация CO составляет около 65 ppm, что указывает на низкий уровень опасности. Данное распределение может быть обусловлено погодными условиями, географическими особенностями и возможными источниками загрязнения.

Для оценки концентрации CO, основываясь на данных, собранных беспилотным летательным аппаратом, были применены временные и пространственные регрессионные модели, что позволило повысить точность экологического мониторинга. Результаты исследования позволяют определить суточные и географические изменения уровня CO, а также подтвердили его зависимость от климатических и антропогенных факторов.

3.2 Прогнозирование и визуализация изменений качества воздуха с использованием модели нечеткой логики

Модель нечеткой логики анализирует данные сенсоров для прогнозирования изменений качества воздуха, оценивая взаимосвязь между концентрацией угарного газа (CO) и факторами окружающей среды. Визуализация полученных результатов позволяет наглядно отобразить колебания качества воздуха во времени и пространстве.

Разработка модели:

Модель разрабатывается в программной среде MATLAB с использованием FIS – редактора, который настраивает входные и выходные переменные. Этот процесс представлен на рисунке 3.4.

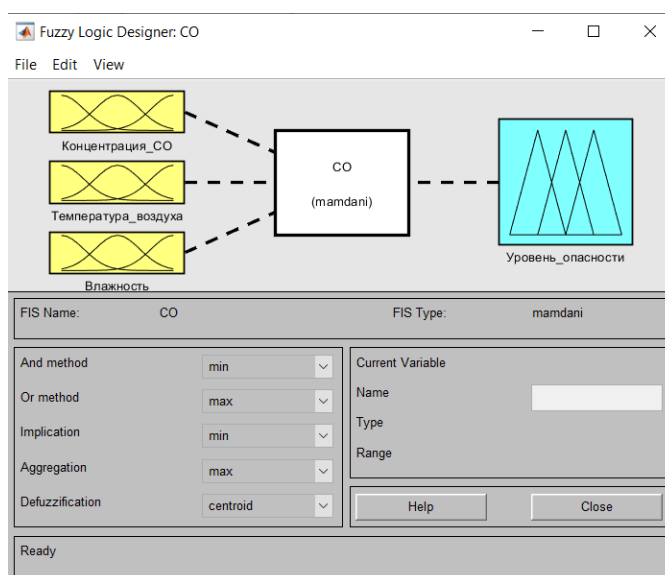


Рисунок 3.4– Отображение редактора FIS после изменения названий переменных в системе MATLAB

На рисунке 3.4 – представлен редактор Fuzzy Logic Designer (FIS) системы MATLAB, в котором используется нечеткая логика для оценки уровня опасности концентрации угарного газа (CO). В качестве входных переменных заданы концентрация CO, температура воздуха и влажность, а выходная переменная определена как уровень опасности.

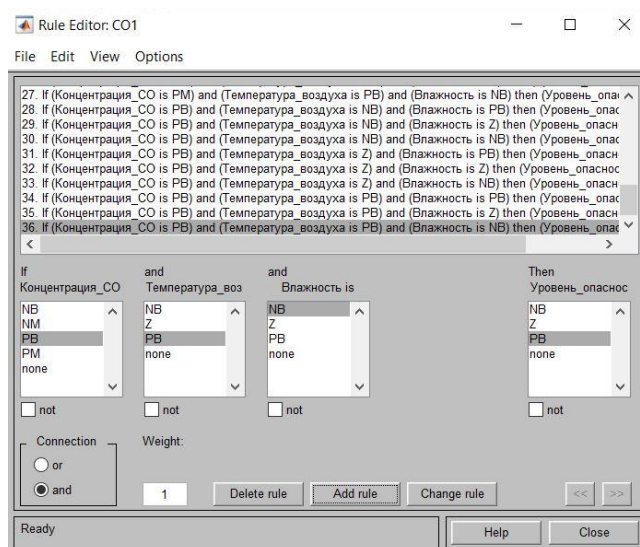
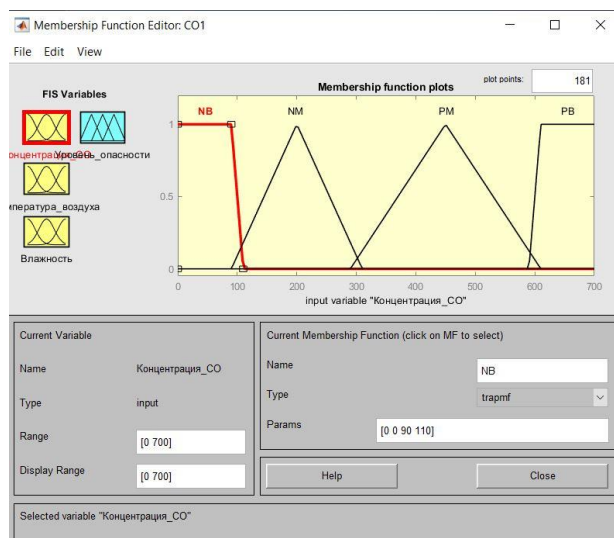
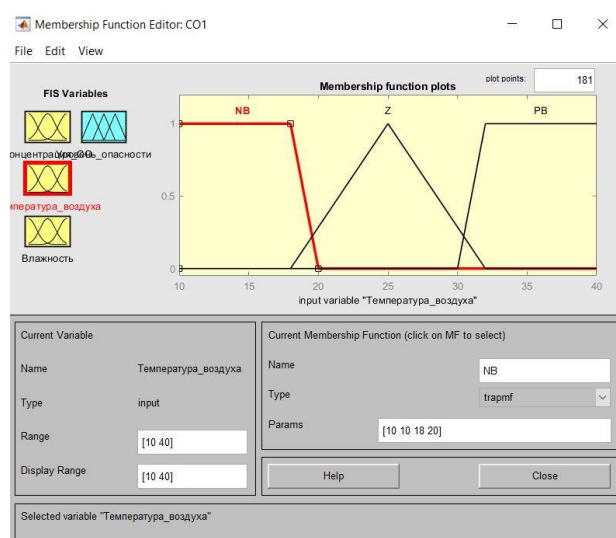


Рисунок 3.5 – Вид редактора правил нечеткого вывода после их определения

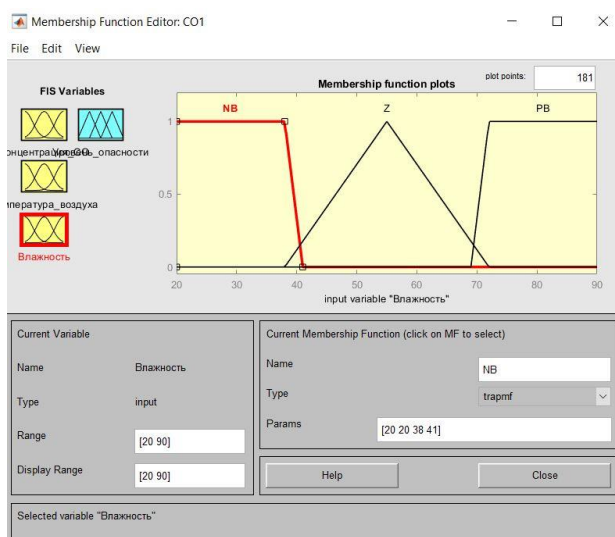
Результаты изменения термов и функций принадлежности переменных в редакторе Fuzzy Logic Designer (FIS) системы MATLAB можно увидеть на рисунке 3.6.



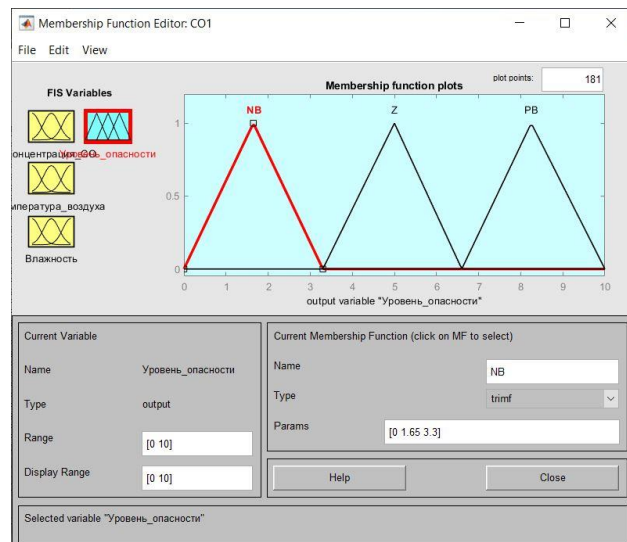
а) Вид редактора функций принадлежности с измененными термами и функциями для переменной "концентрация CO"



б) Вид редактора функций принадлежности с измененными термами и функциями для переменной "Температура"



с) Вид редактора функций принадлежности с измененными термами и функциями для переменной "Влажность"



д) Вид редактора функций принадлежности с измененными термами и функциями для переменной "Уровень опасности"

Рисунок 3.6 – Результаты изменения термов и функций принадлежности переменных в редакторе Fuzzy Logic Designer системы MATLAB

На рисунке 3.6 представлены результаты изменения термов и функций принадлежности переменных в редакторе Fuzzy Logic Designer системы MATLAB. Эти изменения позволяют повысить точность системы принятия решений на основе нечеткой логики (fuzzy logic) и более точно описать взаимосвязь между переменными. В результате были оптимизированы функции принадлежности для переменных "Концентрация CO", "Температура воздуха", "Влажность" и "Уровень опасности", что улучшило надежность системы и ее прогнозные возможности.

Тестирование:

Для проверки работы модели в системе MATLAB были введены тестовые значения. Полученные результаты соответствовали ожидаемым, что подтвердило корректность модели. Для проверки системы было проведено три теста:

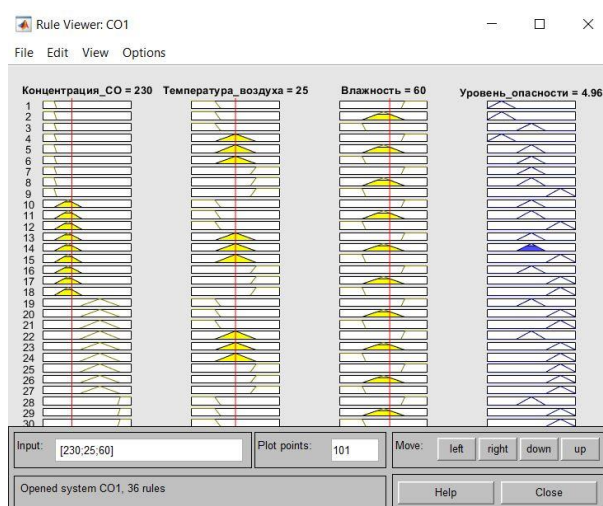
CO = 40 ppm, температура = 18°C, влажность = 50% → уровень опасности 1.65 балла

CO = 230 ppm, температура = 25°C, влажность = 60% → уровень опасности 4.95 балла

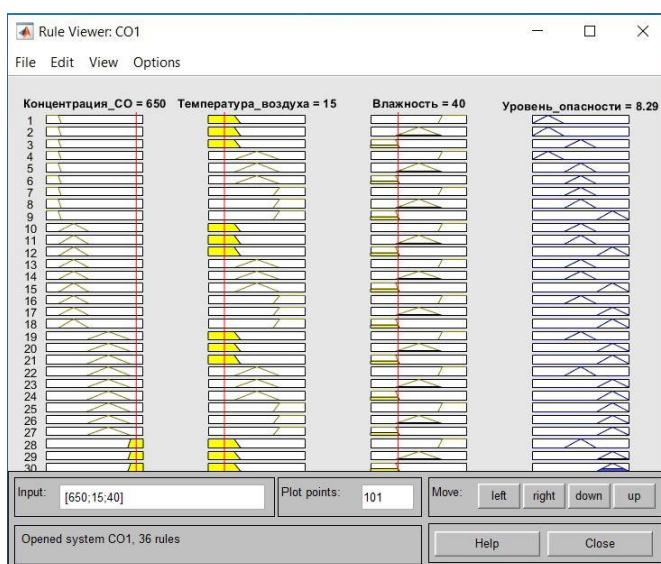
CO = 650 ppm, температура = 15°C, влажность = 40% → уровень опасности 8.29 балла



а) Отображение программы просмотра нечетких правил после изменения входных значений [40 18 50]



б) Отображение программы просмотра нечетких правил после изменения входных значений [230 25 60]



в) Отображение программы просмотра нечетких правил после изменения входных значений [650 15 40]

Рисунок 3.7 – Результаты программы просмотра нечетких правил при изменении входных значений (MATLAB FIS)

Этот 3.7 – рисунок показывает результаты программы просмотра нечетких правил в редакторе Fuzzy Logic Designer (FIS) системы MATLAB при изменении входных значений. В соответствии с различными входными значениями ([40 18 50], [230 25 60], [650 15 40]), система пересчитывает уровень опасности и показывает, что концентрация угарного газа (CO) является основным фактором, а температура и влажность вносят только дополнительные корректировки.

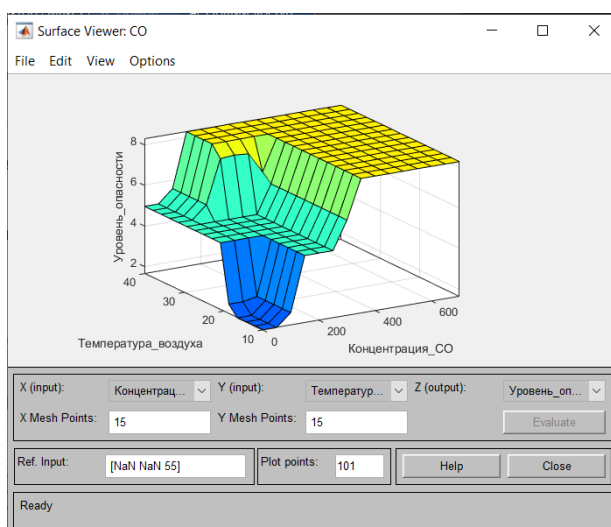
Общие результаты тестирования показали, что основным фактором, влияющим на уровень опасности, является концентрация угарного газа (СО). Хотя температура и влажность вносят определенные изменения, их влияние не является значительным. Это объясняется следующими причинами:

Концентрация СО определяет токсичность воздуха – даже небольшие изменения уровня СО могут значительно повлиять на риск отравления. Например, уровень СО выше 300 ppm считается опасным для здоровья;

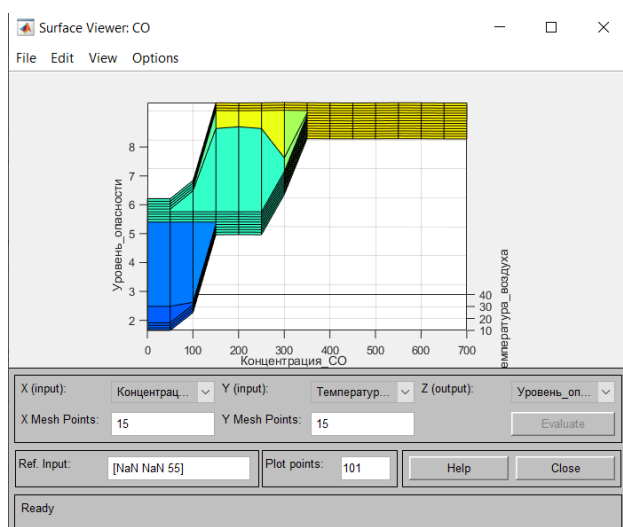
Температура влияет на распространение газа, но не на его токсичность – при высокой температуре газ распространяется быстрее, однако в плохо вентилируемых местах концентрация СО остается высокой;

Влажность может ускорять осаждение СО, но полностью его не устраняет – газ частично растворяется в каплях влаги, но этот эффект недостаточен для значительного снижения уровня СО.

Таким образом, температура и влажность вносят лишь небольшие корректировки в уровень опасности, а основным опасным фактором остается концентрация угарного газа.



а) Вид программы просмотра поверхности нечеткого вывода для разработанной нечеткой модели



б) График зависимости выходной переменной от первой из входных переменных для разработанной нечеткой модели

Рисунок 3.8 – Визуализация и анализ вывода нечеткой модели: представление поверхности и графики зависимости входных и выходных данных

Рисунок 3.8 представляет визуализацию вывода разработанной нечеткой модели в двух основных представлениях. Первое изображает вид поверхности системы нечеткого вывода, а второе графически показывает зависимость выходной переменной от первой входной переменной.

В дипломной работе была разработана нечеткая модель на основе беспилотного летательного аппарата (БПЛА) для общего анализа загрязнения

воздуха. Основное внимание уделялось мониторингу концентрации угарного газа (СО) в зонах экологических катастроф. Алгоритм обработки данных, основанный на нечеткой логике, позволил классифицировать уровень опасности с учетом таких факторов, как температура и влажность воздуха. Тестирование модели в среде MATLAB подтвердило ее корректность и применимость для экологического мониторинга.

Результаты эксперимента показали, что концентрация СО является основным фактором, определяющим уровень опасности, в то время как температура и влажность вносят корректировки, но не оказывают решающего влияния. Разработанная система предназначена для оперативного реагирования на ухудшение качества воздуха и раннего предупреждения населения о потенциальных угрозах. Этот подход представляет собой перспективное направление в области экологического мониторинга и может быть адаптирован для анализа других загрязняющих веществ.

3.3 Использование полученных данных для планирования оперативных мер по снижению загрязнения воздуха в зонах экологического бедствия

Полученные данные позволяют выявить опасные зоны и определить основные источники загрязнения воздуха в районах экологических катастроф. На их основе можно спланировать оперативные меры по улучшению качества воздуха, включая установку систем фильтрации, снижение выбросов от транспорта и промышленности. Оценка уровня загрязнения способствует принятию научно обоснованных решений, направленных на защиту населения, минимизацию вредного воздействия на здоровье и обеспечение устойчивой экологической ситуации.

Измерения и анализ в режиме реального времени помогают предотвратить экологические угрозы и формируют основу для разработки эффективных экологических стратегий в будущем.

Для оценки загрязнения воздуха и планирования оперативных мер в зонах экологических катастроф взаимосвязь между концентрацией СО (ppm), температурой (°C), влажностью (%) и уровнем опасности (R баллов) можно описать следующими уравнениями (3.11) и (3.12).

Определение уровня опасности на основе концентрации СО, температуры и влажности:

$$R = \alpha \cdot CO + \beta \cdot T + \gamma \cdot H \quad (3.11)$$

где R – уровень опасности (баллы);
CO – концентрация угарного газа (ppm);
T – температура воздуха (°C);
H – относительная влажность воздуха (%);

α, β, γ – коэффициенты, определяемые экспериментальным путем.
Уравнение моделирования распределения концентрации СО
(диффузионная модель):

$$\frac{\partial \text{CO}}{\partial t} = D \cdot \nabla^2 \text{CO} - v \cdot \nabla \text{CO} + S \quad (3.12)$$

где $\frac{\partial \text{CO}}{\partial t}$ обозначает изменение концентрации СО во времени;
 D – коэффициент диффузии;
 $\nabla^2 \text{CO}$ – пространственное распределение концентрации СО;
 v – вектор скорости ветра;
 S – источник выбросов СО (промышленность, транспорт и др.).

На основе выражений (3.11) и (3.12) взаимосвязь между концентрацией СО и уровнем опасности в зонах экологических катастроф можно наблюдать на рисунке 3.9.

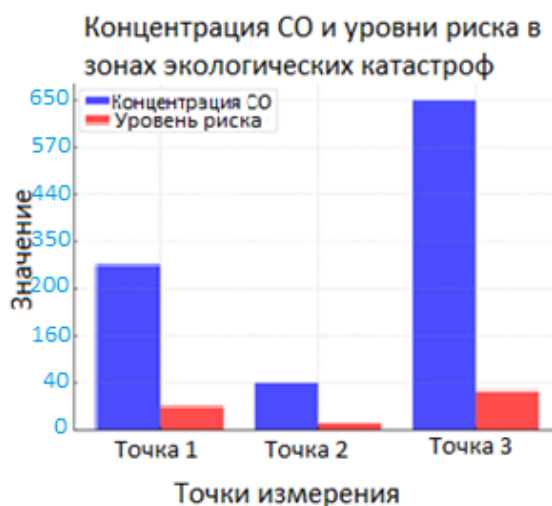


Рисунок 3.9 – Взаимосвязь между концентрацией СО и уровнем опасности в зонах экологических катастроф

На графике, представленном на рисунке 3.9, показана взаимосвязь между концентрацией СО и уровнем опасности в зонах экологических катастроф. В точке Point 3 концентрация СО составляет 650 ppm, а уровень опасности – 8.29 балла, что свидетельствует о максимальном уровне загрязнения. В точке Point 2 концентрация СО составляет 40 ppm, а уровень опасности – 1.65 балла, что является минимальным значением среди всех точек, указывая на значительно меньший риск загрязнения в данной области.

3.4 Обсуждение результатов дипломной работы

Результаты исследования направлены на оценку концентрации угарного газа (СО) в зонах экологических катастроф с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и разработку модели на основе нечеткой логики (fuzzy logic). Данные, собранные с помощью БПЛА, позволили оперативно оценить уровень загрязнения воздуха, обеспечив более высокую пространственную точность по сравнению с традиционными методами мониторинга.

В ходе исследования были определены три ключевые точки измерения концентрации СО и уровня опасности. В зоне Point 1 концентрация СО составила 230 ppm, а уровень опасности – 4.97 балла. В зоне Point 2 концентрация СО была 40 ppm, а уровень опасности – 1.65 балла. Наибольший уровень загрязнения был зафиксирован в зоне Point 3, где концентрация СО достигла 650 ppm, а уровень опасности увеличился до 8.29 балла. Эти результаты подтвердили, что рост концентрации угарного газа приводит к ухудшению качества воздуха и увеличению экологической угрозы.

Разработанная модель нечеткой логики была использована для прогнозирования и визуализации качества воздуха. Моделирование в MATLAB с использованием Fuzzy Logic Designer показало, что при концентрации СО выше 100 ppm качество воздуха значительно ухудшается. Хотя модель учитывает влияние температуры и влажности, основным фактором остается концентрация СО. Итоговые результаты подтвердили, что применение метода нечеткой логики повышает эффективность экологического мониторинга и способствует совершенствованию систем оценки качества воздуха.

Кроме того, полученные данные послужили основой для разработки оперативных мер по улучшению качества воздуха в зонах экологических катастроф. В районах с концентрацией СО выше 300 ppm необходимо применять меры по защите населения. В качестве оперативных решений предлагается установка систем фильтрации, сокращение промышленных и транспортных выбросов, совершенствование экологического мониторинга и своевременное информирование населения о потенциальных рисках.

В целом результаты исследования представляют инновационный подход к мониторингу качества воздуха в зонах экологических катастроф за счет интеграции БПЛА и модели нечеткой логики. Этот метод позволяет оперативно и точно оценивать уровень загрязнения воздуха, выявлять опасные зоны и разрабатывать эффективные стратегии по снижению загрязнения.

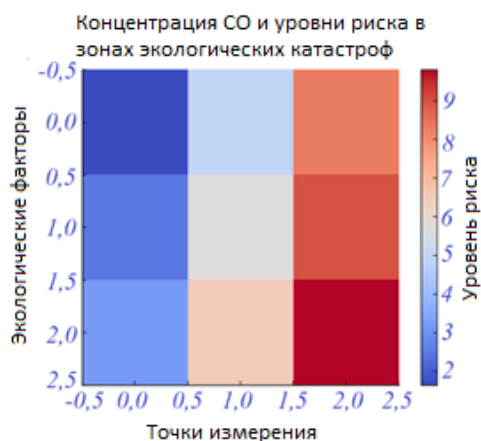


Рисунок 3.10 – Концентрация СО и уровни экологического риска, измеренные беспилотными летательными аппаратами

На графике, представленном на рисунке 3.10, показано пространственное распределение концентрации СО и уровня опасности в зонах экологических катастроф. Согласно результатам исследования, максимальный уровень опасности (9.8 балла) зафиксирован в области, где концентрация СО достигла 700 ppm, тогда как минимальный уровень опасности (2 балла) наблюдается в зоне с концентрацией СО 86 ppm. Как видно из графика, красные зоны указывают на области с высокой концентрацией СО и повышенным уровнем опасности, тогда как синие зоны обозначают менее опасные области. Это подтверждает, что распространение угарного газа изменяется под влиянием различных экологических факторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данное исследование рассмотрело возможность оценки концентрации угарного газа (СО) в зонах экологических катастроф с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), а также применения метода нечеткой логики (Fuzzy Logic) для определения уровня опасности. Результаты показали, что данные, собранные с помощью БПЛА, обеспечивают высокую точность и оперативность при проведении экологического мониторинга.

Анализ полученных данных выявил, что в районах с концентрацией СО, достигающей 650 ppm, уровень опасности возрастает до 8.29 балла, тогда как при концентрации 40 ppm уровень опасности составляет 1.65 балла. Это подтверждает эффективность применения БПЛА для оперативной оценки уровня загрязнения воздуха и прогнозирования его воздействия на окружающую среду.

Разработанная модель нечеткой логики позволила прогнозировать изменения качества воздуха и осуществлять его пространственную визуализацию. Моделирование, проведенное в среде MATLAB, показало, что, несмотря на влияние температуры и влажности, основным фактором, определяющим уровень опасности, остается концентрация угарного газа.

На основании исследования были сделаны следующие ключевые выводы:

1 Данные, полученные с помощью БПЛА, позволяют проводить экологический мониторинг быстрее и точнее по сравнению с традиционными методами.

2 Обнаружена высокая зависимость между концентрацией СО и уровнем опасности: при увеличении концентрации СО экологический риск также возрастает.

3 Применение метода нечеткой логики позволяет прогнозировать изменения качества воздуха и выявлять опасные зоны на ранних стадиях.

4 Полученные данные могут использоваться для планирования экологических мероприятий, внедрения систем очистки воздуха и своевременного информирования населения.

В целом, исследование подтвердило перспективность использования беспилотных летательных аппаратов в качестве эффективного инструмента экологического мониторинга. Предложенный метод может стать основой для оперативного принятия решений, направленных на снижение последствий экологических катастроф, улучшение контроля за качеством воздуха и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Manisalidis I. Et al. Environmental and health impacts of air pollution: a review //Frontiers in public health. – 2020. – Т. 8. – С. 14. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- 2 Smith K. et al. Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster. – Routledge, 2023. <https://doi.org/10.4324/9781351261647>
- 3 World Health Organization et al. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2. 5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. – World Health Organization, 2021. [https://books.google.kz/books?hl=ru&lr=&id=s5pREAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=According+to+the+World+Health+Organization+\(WHO\),+air+pollution+causes+more+than+7+million+premature+deaths+each+year&ots=qAQL6vMext&sig=k9eNojU93uzzlIW4Z7G7G_7L438&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.kz/books?hl=ru&lr=&id=s5pREAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=According+to+the+World+Health+Organization+(WHO),+air+pollution+causes+more+than+7+million+premature+deaths+each+year&ots=qAQL6vMext&sig=k9eNojU93uzzlIW4Z7G7G_7L438&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- 4 Valavanidis A. Indoor Air Pollution Causes Around 4 Million Premature Deaths Worldwide per Year. https://www.researchgate.net/profile/Athanasios-Valavanidis/publication/368881818_Indoor_Air_Pollution_Causes_Around_4_Million_Premature_Deaths_Worldwide_per_Year_Health_studies_have_established_that_indoor_air_quality_affects_human_health_and_well-being/links/63ff33b9b1704f343f9196ce/Indoor-Air-Pollution-Causes-Around-4-Million-Premature-Deaths-Worldwide-per-Year-Health-studies-have-established-that-indoor-air-quality-affects-human-health-and-well-being.pdf
- 5 Nansai K. et al. Consumption in the G20 nations causes particulate air pollution resulting in two million premature deaths annually //Nature communications. – 2021. – Т. 12. – №. 1. – С. 6286. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26348-y>
- 6 Kharabsheh R. M., Bdour A. N. Impact of COVID-19 on the Yearly Concentration Reduction of Three Criteria Air Pollutants and Meteorological Parameters' Effects on Aerosol Dispersion //Nature Environment & Pollution Technology. – 2025. – Т. 24. Iginat Research Paper <https://doi.org/10.46488/NEPT.2024.v24iS1.004>
- 7 Osseini U. E. et al. Comparative Analysis of Indoor Air Quality in Coal Mining Communities During Wet and Dry Seasons in the Coal Mining Belt of Kogi East, Nigeria //African Journal of Environmental Sciences and Renewable Energy. – 2024. – Т. 15. – №. 1. – С. 01-23. <https://doi.org/10.62154/nzfgg907>
- 8 Schneising O. et al. Severe Californian wildfires in November 2018 observed from space: the carbon monoxide perspective //Atmospheric Chemistry and Physics. – 2020. – Т. 20. – №. 6. – С. 3317-3332. <https://doi.org/10.5194/acp-20-3317-2020>
- 9 Masson O. et al. Europe-wide atmospheric radionuclide dispersion by unprecedented wildfires in the Chernobyl exclusion zone, April 2020 //Environmental Science & Technology. – 2021. – Т. 55. – №. 20. – С. 13834-13848. https://pubs.acs.org/doi/suppl/10.1021/acs.est.1c03314/suppl_file/es1c03314_si_027.pdf
- 10 White R. Air Pollution in the Former Soviet Union: Environmental Legacy of a Totalitarian State: дис. – University of Surrey (United Kingdom), 2000.

<https://www.proquest.com/openview/a3f323828d5fb714c2e1d7c1ea883c20/1?pq-origsite=gscholar&cbl=51922&diss=y>

11 Maré M. et al. Current air quality analytics and monitoring: A review //Analytica chimica acta. – 2015. – T. 853. – C. 116-126. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2014.10.018>

12 Holloway T. et al. Satellite monitoring for air quality and health //Annual review of biomedical data science. – 2021. – T. 4. – №. 1. – C. 417-447. <https://doi.org/10.1146/annurev-biodatasci-110920-093120>

13 Selokar A. et al. PM 2.5 particulate matter and its effects in Delhi/NCR //Materials Today: Proceedings. – 2020. – T. 33. – C. 4566-4572. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.187>

14 Rahman M. H. et al. High-resolution mapping of air pollution in delhi using Detrended Kriging Model //Environmental Modeling & Assessment. – 2023. – T. 28. – №. 1. – C. 39-54. <https://doi.org/10.1007/s10666-022-09842-5>

15 Villa T. F. et al. An overview of small unmanned aerial vehicles for air quality measurements: Present applications and future prospectives //Sensors. – 2016. – T. 16. – №. 7. – C. 1072. <https://doi.org/10.3390/s16071072>

16 Lambey V., Prasad A. D. A review on air quality measurement using an unmanned aerial vehicle //Water, Air, & Soil Pollution. – 2021. – T. 232. – C. 1-32. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04973-5>

17 Bakirci M. Evaluating the impact of unmanned aerial vehicles (UAVs) on air quality management in smart cities: A comprehensive analysis of transportation-related pollution //Computers and Electrical Engineering. – 2024. – T. 119. – C. 109556. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2024.109556>

18 Jońca J. et al. Drone-assisted monitoring of atmospheric pollution—A comprehensive review //Sustainability. – 2022. – T. 14. – №. 18. – C. 11516. <https://doi.org/10.3390/su141811516>

19 Yuan S. et al. Marine environmental monitoring with unmanned vehicle platforms: Present applications and future prospects //Science of The Total Environment. – 2023. – T. 858. – C. 159741. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159741>

20 Manfreda S. et al. On the use of unmanned aerial systems for environmental monitoring //Remote sensing. – 2018. – T. 10. – №. 4. – C. 641. <https://doi.org/10.3390/rs10040641>

21 Wen W. et al. Comparative analysis of PM2. 5 and O3 source in Beijing using a chemical transport model //Remote Sensing. – 2021. – T. 13. – №. 17. – C. 3457. <https://doi.org/10.3390/rs13173457>

22 Xu X. et al. A three-dimensional LUR framework for PM2. 5 exposure assessment based on mobile unmanned aerial vehicle monitoring //Environmental Pollution. – 2022. – T. 301. – C. 118997. <https://doi.org/10.3390/su12031204>

23 van Rensburg N. J. Technology development of a maximum power point tracker for regenerative fuel cells: дис. – Vaal University of Technology (South Africa), 2015.

<https://www.proquest.com/openview/fccf8050615c4505e4912ad54ae1c6fa/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>

24 Sharma S., Obaid A. J. Mathematical modelling, analysis and design of fuzzy logic controller for the control of ventilation systems using MATLAB fuzzy logic toolbox //Journal of Interdisciplinary Mathematics. – 2020. – T. 23. – №. 4. – C. 843-849. <https://doi.org/10.1080/09720502.2020.1727611>

25 Abdul-Wahab S. A. et al. Prediction of optimum sampling rates of air quality monitoring stations using hierarchical fuzzy logic control system //Atmospheric Pollution Research. – 2019. – T. 10. – №. 6. – C. 1931-1943. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.08.006>

26 Kim S. H. et al. Development of an IoT-based atmospheric environment monitoring system //2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). – IEEE, 2017. – C. 861-863. DOI: [10.1109/ICTC.2017.8190799](https://doi.org/10.1109/ICTC.2017.8190799)

27 Salski A. Ecological applications of fuzzy logic //Ecological informatics: scope, techniques and applications. – Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2006. – C. 3-14. https://doi.org/10.1007/3-540-28426-5_1

28 Kosim N. A. M. et al. Air Quality Monitoring System using Arduino and Matlab Analysis //2022 IEEE 13th Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC). – IEEE, 2022. – C. 225-230. DOI: [10.1109/ICSGRC55096.2022.9845147](https://doi.org/10.1109/ICSGRC55096.2022.9845147)

29 Postolache O. A., Pereira J. M. D., Girao P. M. B. S. Smart sensors network for air quality monitoring applications //IEEE transactions on instrumentation and measurement. – 2009. – T. 58. – №. 9. – C. 3253-3262. DOI: [10.1109/TIM.2009.2022372](https://doi.org/10.1109/TIM.2009.2022372)

30 Elbayoumi M. et al. The effect of seasonal variation on indoor and outdoor carbon monoxide concentrations in Eastern Mediterranean climate //Atmospheric Pollution Research. – 2014. – T. 5. – №. 2. – C. 315-324. <https://doi.org/10.5094/APR.2014.037>

31 Kumar A., Kim H., Hancke G. P. Environmental monitoring systems: A review //IEEE Sensors Journal. – 2012. – T. 13. – №. 4. – C. 1329-1339. DOI: [10.1109/JSEN.2012.2233469](https://doi.org/10.1109/JSEN.2012.2233469)

32 Peche R., Rodríguez E. Environmental impact assessment procedure: A new approach based on fuzzy logic //Environmental Impact Assessment Review. – 2009. – T. 29. – №. 5. – C. 275-283. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2009.01.005>

33 Gharibi H. et al. A novel approach in water quality assessment based on fuzzy logic //Journal of Environmental Management. – 2012. – T. 112. – C. 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.07.007>

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

Касенова Ильяса Маратовича

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering

Тема: «Исследование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга и анализа
экологической обстановки в зонах экологического бедствия»

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Дипломная работа посвящена исследованию применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в задачах экологического мониторинга, что обусловлено актуальностью проблемы загрязнения окружающей среды. Основное внимание уделено контролю уровня оксида углерода (CO) с использованием сенсорных технологий и методов интеллектуального анализа данных.

В первой главе дана аналитическая характеристика существующих систем мониторинга, выявлены их ограничения и обоснованы преимущества применения БПЛА. Рассмотрены современные подходы к автоматизации экологических наблюдений.

Вторая глава описывает техническую реализацию системы, включая выбор сенсоров (газоанализаторы, климатические датчики, GPS) и их интеграцию в среде MATLAB. Обоснована эффективность применения нечеткой логики для оценки уровня загрязнения.

В третьей главе представлены результаты моделирования и тестирования прототипа. Выполнен анализ пространственно-временных данных, показана высокая чувствительность системы к изменениям концентрации CO и её способность к классификации зон риска.

Оценка работы

Работа выполнена в соответствии с задачами и отражает актуальные тенденции в автоматизации экологического мониторинга. Студент продемонстрировал теоретическую подготовку и практические навыки в разработке комплексных систем. Материал изложен логично, выводы обоснованы расчётами и экспериментами. Содержание работы подтверждает высокий уровень подготовки выпускника и его способность решать инженерные задачи в области экологии и электроники.

Дипломная работа оценена на отлично (А, 90%), а студент Касенов Ильяс Маратович рекомендован к присвоению академической степени бакалавра техники и технологий по образовательной программе 6B07104 «Electronic and Electrical Engineering».

Рецензент

Заведующий кафедрой «Энергообеспечение,
электропривод и электротехника»

Алматинского университета энергетики
и связи имени Гумарбека Даукеева

Шыныбай Ж. С.

« 11 » 05 2025 г.

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу

Касенова Ильяса Маратовича

6B07104 – Electronic and Electrical Engineering

Тема: «Исследование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга и анализа
экологической обстановки в зонах экологического бедствия»

Дипломная работа посвящена решению важной прикладной задачи — разработке системы мониторинга качества воздуха с использованием беспилотных летательных аппаратов и интеллектуальных методов обработки данных.

В процессе работы студентом была реализована функциональная модель, объединяющая аппаратные и программные компоненты. В состав системы входят сенсоры для измерения концентрации оксида углерода (CO), температуры и влажности, а также GPS-модуль для определения координат. Обработка и визуализация данных осуществлялась с помощью программной среды MATLAB на основе нечеткой логики. Студент продемонстрировал умение разрабатывать алгоритмы экологического анализа и применять современные средства моделирования.

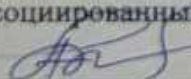
Структура дипломной работы выдержана в соответствии с академическими стандартами. На основании анализа существующих технологий автор последовательно перешёл к разработке собственной системы, обосновал выбор аппаратной платформы и реализовал математические модели для оценки уровня загрязнения воздуха. Проведены тестовые расчёты, результаты которых представлены в виде графиков, таблиц и схем.

Отдельно стоит отметить самостоятельность студента в проведении анализа, построении нечеткой модели и оформлении результатов. Работа демонстрирует высокий уровень инженерной подготовки и навыки практического применения полученных знаний.

Считаю, что дипломная работа Касенова Ильяса Маратовича соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам бакалавра, и заслуживает оценки «отлично» (А, 90%) по образовательной программе 6B07104 «Electronic and Electrical Engineering».

Научный руководитель

Канд. техн. наук,
ассоциированный профессор

 Абдыкадыров А. А.

«12» 05 2025 г.

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Касенов Ильяс Маратович

Тақырыбы: Исследование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга и анализа экологической обстановки в зонах экологического бедствия

Жетекшісі: Асқар Абдыкадыров

1-ұқсастық коэффициенті (30): 3.6

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0.4

Дәйексөз (35): 1.5

Әріптерді ауыстыру: 21

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 58

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

2025-05-09

Күні



Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Касенов Ильяс Маратович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Исследование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга и анализа экологической обстановки в зонах экологического бедствия

Научный руководитель: Аскар Абдыкадыров

Коэффициент Подобия 1: 3.6

Коэффициент Подобия 2: 0.4

Микропробелы: 58

Знаки из здругих алфавитов: 21

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-05-09

Дата



Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Касенов Ильяс Маратович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Исследование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга и анализа экологической обстановки в зонах экологического бедствия

Научный руководитель: Асқар Абдыкадыров

Коэффициент Подобия 1: 3.6

Коэффициент Подобия 2: 0.4

Микропробелы: 58

Знаки из здругих алфавитов: 21

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☒ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

2025-05-09

Дата



Сұңғат Марксұлы

проверяющий эксперт