

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВО ВОЗДУХА В РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНАХ ГОРОДА КАРАГАНДА

РЫСБЕКҚЫЗЫ Б. , ЮРЧЕНКО В.В. , ИБРАЕВ А.Р. 

Рысбекқызы Бакытгүл – PhD, и.о. доцента кафедры кибербезопасности и искусственного интеллекта, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан.

E-mail: bakhytgulz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4353-1728>

Юрченко Владислав Владимирович – Магистр технических наук, старший преподаватель кафедры кибербезопасности и искусственного интеллекта, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан.

E-mail: jurchenkovv@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4979-0774>

***Ибраев Ален Рашидович** – Магистрант, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан.

E-mail: a.ibrayev@ro.ru, <https://orcid.org/0009-0007-2265-5453>

Аннотация. В статье рассматривается разработка системы мониторинга качества атмосферного воздуха для различных районов города Караганды. Актуальность исследования обусловлена высоким уровнем загрязнения воздуха, вызванного деятельностью промышленных предприятий, теплоэлектростанций, автотранспорта и частного сектора, что оказывает негативное влияние на здоровье населения и состояние окружающей среды. Целью работы является разработка структурной схемы системы мониторинга, обеспечивающей непрерывный контроль концентрации вредных веществ и передачу результатов измерений на центральный пункт мониторинга. В работе выполнен анализ современных методов экологического мониторинга, включая лабораторные, дистанционные и спутниковые методы наблюдения, а также исследованы основные источники загрязнения атмосферного воздуха города Караганды. На основе полученных данных разработана структура системы, включающая микроконтроллер Arduino Uno, газовые датчики для измерения концентрации диоксида азота, диоксида серы и углекислого газа, а также беспроводной модуль RFM95W для передачи информации. Предложена принципиальная схема подключения оборудования и алгоритм функционирования системы, предусматривающий сбор, обработку и передачу данных с последующим контролем превышения допустимых концентраций загрязняющих веществ. Разработанная система отличается простотой реализации, возможностью расширения и применения для автоматизированного экологического мониторинга, что позволяет повысить эффективность контроля качества атмосферного воздуха и оперативность принятия решений при возникновении экологически опасных ситуаций.

Ключевые слова: экологический мониторинг, качество атмосферного воздуха, загрязнение воздуха, Arduino Uno, газовые датчики, беспроводная передача данных, контроль выбросов.

Введение

Ведущую роль в формировании повышенного уровня загрязнения атмосферы города Караганда играют процессы сжигания органического топлива предприятий и частного сектора, а также автотранспорт [1].

Перечень основных предприятий, которые играют ведущую роль в формировании повышенного уровня загрязнения в районах Караганды: ТОО «Караганда Энергоцентр» (в частности, ТЭЦ-3), АО «QARMET», АО «Евразиян Фудс», Карагандинский литейно-машиностроительный завод ТОО «Maker (Мэйкер)», Карагандинский литейный завод Корпорации «КАЗАХМЫС», ТОО «Курылысмет» и др., при этом необходимо отметить, что основное воздействие оказывается при сжигании органического топлива (угля) [2]. Доля вклада выбросов предприятий в общее загрязнение воздуха города составляет ~68%.

Влияние отопления частного сектора на загрязнение воздуха в городе выявлено повсеместно (город «в кольце» выбросов котельных и бытовых печей частного сектора), при этом максимальный вклад в загрязнение воздуха в жилой зоне наблюдается от котельных и бытовых печей частных секторов Майкудука, Пришахтинска и района Кирзавода-1, 2. Доля вклада выбросов частного сектора в общее загрязнение воздуха города составляет -11%.

Наибольший вклад в загрязнение воздуха в жилой зоне из всех обследованных транспортных перекрестков участков вносят транспортные потоки по пр. Н.Абдирова и ул.

Гоголя. Также на ухудшение состояния воздушного бассейна оказывает свое влияние факт массового расположения личного и служебного автотранспорта малого бизнеса во дворах жилой зоны. Такие стихийные автостоянки являются повышенным источником выбросов продуктов сгорания топлива, особенно в зимний период и особенно от дизельных автомобилей, владельцы которых оставляют запущенными двигатели в течении всей ночи во избежание замерзания распределительных систем.

Опираясь на данные результаты экологов, и их мониторинг рассеивания в целом по городу на существующее положение при работе всех источников выбросов (*предприятия, автотранспорт и частный сектор*) и в жилой зоне были выявлены превышения предельных норм содержания в воздухе ряда веществ, а именно:

- Диоксид азота (NO_2): допустимое значение – 0,042 мг/м³, критическое значение – 0,21 мг/м³ (*СанПиН 2.1.7.728-99 «Гигиенические требования к атмосферному воздуху населенных мест РК»*);

- Оксид углерода (CO): допустимое значение – 5 мг/м³, критическое значение – 40 мг/м³ (*СанПиН 2.1.7.728-99 РК*);

- Бенз(а)пирен: допустимое значение – 0,0002 мг/м³, критическое значение – 0,01 мг/м³ (*СанПиН 2.1.7.728-99 РК*);

- Алканы $C_{12}-C_{19}$: нет допустимых и критических значений для данных веществ (*СанПин 2.1.6.2615-10 РК*);

- Пыль неорганическая SiO_2 20-70%: допустимое значение – 0,15 мг/м³, критическое значение – 2,4 мг/м³ (*СанПиН 2.2.10.569-96 «Гигиенические требования к качеству воздуха рабочей зоны» РК*).

Зоны наибольшего загрязнения города составили площадь - 454 км² (*или 82% всех территории города*), при этом в зону загрязнения попадают следующие жилые районы:

- район Майкудука;
- район ст. Караганда-Сортировочная;
- район Федоровского водохранилища
- район Михайловки;
- район Нового города (*45 квартал*);
- район медсанчасти и завода ЖБИ;
- район Пришахтинска;
- микрорайон Кунгей.

За состоянием атмосферного воздуха в городе Караганде ведутся наблюдения на 4 постах, расположенных по адресам: № 1 – Аэрологическая станция в районе старого аэропорта; № 3 – угол ул. Абая и Бухар-Жырау; № 4 – угол Бирюзова; № 7 – ул. Ермакова, 116. Наблюдения ведутся по 8 ингредиентам трехкратно (*в 7, 13, 19 час.*) на постах наблюдения № 3, 4, 7 и четырехкратно (*в 1, 7, 13, 19 час.*) на пункте наблюдения № 1 ежедневно, за исключением воскресенья.

Материалы и методы исследования

На рисунке 1 представлена структурная схема разрабатываемой системы мониторинга [3].

Вокруг выбранного объекта устанавливаются блоки с датчиками, предназначенные для измерения выбросов.

Сигналы, полученные от датчиков, передаются на контроллер, который выполняет функции сбора и обработки данных.

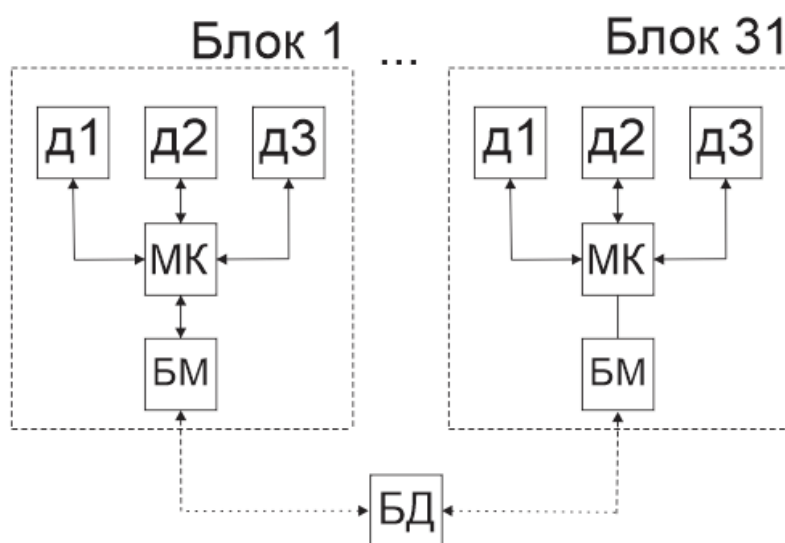
Данные, полученные от контроллера, передаются по беспроводному модулю на центральную систему мониторинга (*компьютер или сервер*).

Центральной системой в данном случае является компьютер или сервер, в котором установлен специальный программный комплекс для мониторинга вредных выбросов. Последний осуществляет прием, обработку и хранение данных с контроллера с помощью беспроводного модуля. На центральной системе мониторинга определяются критические значения параметров выбросов, которые превышаются и требуется принять меры для

предотвращения проблем [4]. Например, на центральной системе можно настроить систему автоматической реакции (*например, уведомление ответственных лиц, автоматическое отключение производства и т.д.*), которая будет активирована при превышении определенного уровня выбросов. Также на центральной системе могут быть настроены функции мониторинга качества воздуха на больших территориях [5]. Она может выполнять анализ данных по источникам загрязнения и только после анализа отправлять отчеты на предприятия должностным лицам.

При возникновении некорректных показаний или превышении пороговых значений система мониторинга должна сообщать об этом на операторский пульт управления.

По необходимости, оператор может произвести настройку параметров системы мониторинга, включая выбор конкретных датчиков для измерения различных загрязнителей, пороговых значений и интенсивности сбора данных.



БД – блок диспетчера; БМ – беспроводной модуль; МК - микроконтроллер; Д1, Д2, Д3 – датчики.

Рисунок 1. Структурная схема разрабатываемой системы мониторинга

Исходя из приведенных требований для микроконтроллера, был выбран Arduino UNO.

Arduino Uno - это открытый контроллер, представляющий собой плату, основанную на микроконтроллере ATmega328P, разработанной в 2011 году компанией Arduino. Это одна из самых популярных и широко используемых плат Arduino в мире.

Он имеет множество цифровых и аналоговых входов/выходов, которые могут использоваться для подключения различных электронных компонентов. Он также имеет USB порт для передачи данных или загрузки программного обеспечения.

Arduino Uno имеет простой интерфейс программирования и легко используется людьми, не имеющими большого опыта в электронике и программировании. Он поддерживает большое число библиотек и совместим с множеством дополнительных периферийных устройств и датчиков. С помощью Arduino Uno можно создавать различные электронные проекты, начиная от простых светодиодных мигалок и заканчивая более сложными автоматизированными системами контроля и управления.

Особенности данного микроконтроллера:

- Удобное и простое программирование: Arduino UNO легко программировать в IDE с использованием языка программирования C/C++. Причем программы можно написать либо самостоятельно, либо воспользоваться готовыми библиотеками и примерами;

- Множество сенсоров и модулей: Огромный ассортимент дополнительных модулей и сенсоров, которые могут быть подключены к Arduino UNO, позволят Вам создавать различные проекты и экспериментировать в различных областях;

- Низкая стоимость: Arduino UNO является одним из самых доступных микроконтроллеров на рынке;
- Широкое сообщество: Существует огромное сообщество энтузиастов и профессионалов, которые используют Arduino UNO, и множество ресурсов в Интернете, которые могут помочь в решении проблем и создании проектов;
- Простота использования: Arduino UNO не требует какой-либо специальной подготовки или знаний для начала работы. Прост в использовании и может быть использован как для поверхностных, так и для более сложных задач;
- Кроме того, Arduino UNO отличается высокой надежностью и может быть использован в широком диапазоне проектов, включая автомобильную электронику, умный дом, робототехнику и многие другие.

Внешний вид Arduino UNO представлен на рисунке 2. Технические характеристики Arduino UNO представлены в таблице 1 [6].

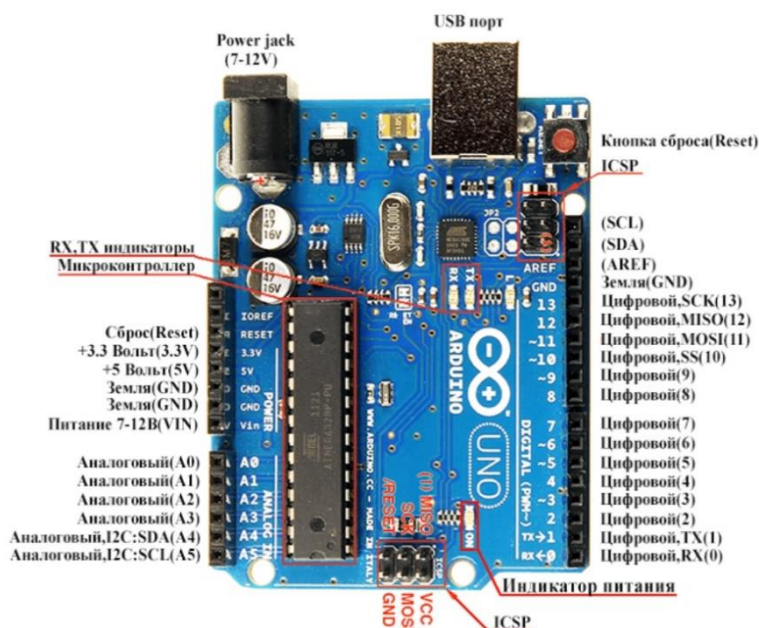


Рисунок 2. Внешний вид Arduino UNO

Таблица 1. Технические характеристики Arduino UNO

Параметр	Значение
Микроконтроллер:	ATmega328P
Напряжение питания:	5 В
Частота процессора:	16 МГц
Цифровые входы/выходы:	14 (6 из них могут быть использованы как выходы ШИМ)
Аналоговые входы:	6
Память программы:	32 Кб
Оперативная память:	2 Кб
Интерфейсы:	USB, SPI, I2C, Serial (UART)
Поддержка внешнего EEPROM	до 64 Кб
Размер платы:	68.6 x 53.4 мм
Вес платы:	25 г
Окружающие условия - Рабочая температура:	от -35°C до +50°C.

Исходя из приведенных требований для датчика SO₂, был выбран MQ136 Gas Sensor.

MQ136 Gas Sensor - это электрохимический датчик газов, который используется для обнаружения наличия газов в воздухе. Он работает на основе принципа окислительно-восстановительной реакции газов на электроды датчика.

Внешний вид датчика MQ136 представлен на рисунке 3. Технические характеристики MQ136 Gas Sensor представлены в таблице 2 [7].



Рисунок 3. Внешний вид датчика MQ136

Таблица 2. Технические характеристики MQ136 Gas Sensor

Параметр	Значение
Напряжение питания:	5 В постоянного тока
Ток потребления:	максимум 180 мА
Пределы измерения:	от 1 до 1000 ppm (parts per million)
Точность измерения:	±10% от измеренного значения
Время отклика:	меньше 10 секунд
Время восстановления:	меньше 30 секунд
Рабочая температура:	от -35 до 50 градусов Цельсия
Рабочая влажность:	меньше 95% относительной влажности
Размеры:	32 мм x 22 мм x 27 мм
Вес:	около 10 граммов
Выходной сигнал:	аналоговый сигнал, который может быть считан с помощью микроконтроллера Arduino или другого устройства.
Окружающие условия - Рабочая температура:	от -35°C до +50°C.

Данный датчик оснащен керамическим элементом, который реагирует на наличие SO_2 , H_2S и NH_3 в воздухе, и генерирует соответствующий сигнал на выходе датчика. Сигнал с датчика можно использовать для обнаружения и контроля уровня этих газов.

Контакты датчика MQ136 Gas Sensor, как правило, снабжены разъемами типа Dupont, что упрощает их подключение к микроконтроллеру. Например, контакты можно подключить к портам цифровых входов/выходов на плате Arduino.

Провода датчика MQ136 Gas Sensor обычно имеют длину 20-30 см и на концах имеют разъемы, которые могут быть подключены к макетной плате или к проводам для более простого подключения.

Исходя из приведенных требований для датчика CO_2 , был выбран MH-Z19C NDIR CO_2 Sensor Module.

Датчик MH-Z19C NDIR CO_2 Sensor Module - это высокоточный датчик углекислого газа на основе метода инфракрасной дисперсии (NDIR). Он используется для измерения концентрации CO_2 в воздухе с высоким разрешением и точностью.

Внешний вид датчика MH-Z19C NDIR CO₂ Sensor Module представлен на рисунке 4. Технические характеристики MH-Z19C NDIR CO₂ Sensor Module Gas Sensor представлены в таблице 3.

Датчик MH-Z19C также обладает функцией автокалибровки, что позволяет ему автоматически корректировать свои измерения в зависимости от внешних условий. Он может быть легко подключен к микроконтроллеру с помощью интерфейса UART, а также имеет разъем для подключения дополнительной внешней антенны для усиления сигнала.



Рисунок 4. Внешний вид датчика MH-Z19C NDIR CO₂ Sensor Module

Таблица 3. Технические характеристики MH-Z19C NDIR CO₂ Sensor Module

Параметр	Значение
Диапазон измерения:	от 0 до 5000 ppm (<i>parts per million</i>)
Точность измерения:	±50 ppm + 5% от измеренного значения
Время отклика:	менее 60 секунд
Потребляемый ток:	максимум 33 мА
Рабочее напряжение:	3,6 В постоянного тока
Рабочая температура:	от -35 до 50 градусов Цельсия
Размеры:	32 мм x 22 мм x 27 мм
Вес:	около 10 граммов

В целом, датчик MH-Z19C NDIR CO₂ Sensor Module является надежным и точным инструментом для измерения концентрации углекислого газа в воздухе, который может быть использован в многих различных приложениях, связанных с контролем качества воздуха.

Исходя из приведенных требований для датчика NO₂, был выбран Winsen ME4-NO₂ Nitrogen Dioxide Sensor.

Датчик ME4-NO₂ от китайского производителя Winsen Electronics - это датчик азота диоксида (NO₂) на основе электрохимического датчика. Датчик предназначен для измерения концентрации NO₂ в воздухе и может использоваться как в научных и производственных приложениях, так и в приложениях охраны окружающей среды.

Датчик ME4-NO₂ основан на принципе электрохимической окислительной реакции NO₂. Он состоит из максимально возможного количества электродов, что обеспечивает улучшенную чувствительность и точность измерения. Датчик также оснащен фильтрами, которые защищают его от воздействия других газов и минимизируют влияние среды на его работу.

Внешний вид датчика ME4-NO₂ представлен на рисунке 5. Технические характеристики Winsen ME4-NO₂ Nitrogen Dioxide Sensor представлены в таблице 4 [8].

Датчик ME4-NO₂ может быть легко подключен к микроконтроллерам и другим устройствам, таким как Raspberry Pi или Arduino, через интерфейсы, такие как аналоговые и цифровые порты. Для подключения датчика к микроконтроллеру используется простой аналоговый сигнальный выход, который позволяет легко считывать данные в виде напряжения на порту аналогового ввода. Для удобства подключения, датчик оснащен 4-контактным разъемом.



Рисунок 5. Внешний вид датчика ME4-NO₂

Таблица 4. Технические характеристики Winsen ME4-NO₂ Nitrogen Dioxide Sensor

Параметр	Значение
Диапазон измерения:	от 0 до 20ppm
Точность измерения:	±10% от измеренного значения
Время отклика:	менее 30 секунд
Потребляемый ток:	менее 2 мА
Рабочее напряжение:	2,7-5,5 В постоянного тока
Рабочая температура:	от -35 до 50 градусов Цельсия
Размеры:	20,5 мм x 17,0 мм x 4,0 мм

Для работы датчика ME4-NO₂ необходима калибровка, которую можно провести с помощью калибровочного газа. Процесс калибровки заключается в передаче определенного количества калибровочного газа через датчик для настройки его чувствительности. После калибровки датчик готов к работе.

Датчик ME4-NO₂ отличается высокой чувствительностью и точностью измерения, что делает его полезным инструментом для различных научных и технических приложений. Он может использоваться для измерения концентрации NO₂ в воздухе в технических системах и в приложениях охраны окружающей среды, таких как контроль загрязнения воздуха на производственных площадках и в городах.

После изучения распространенных беспроводных модулей, и сравнения их характеристик был выбран беспроводный модуль RFM95W от производителя Adafruit.

RFM95W – это радиомодуль на базе трансивера Semtech SX1276, который обеспечивает беспроводную связь с дальностью до 15 км в прямой видимости. RFM95W работает в диапазоне частот 868 МГц или 915 МГц, в зависимости от региона использования, и поддерживает режим LoRa (*Long Range*) и FSK (*Frequency Shift Keying*).

RFM95W легко подключается к Arduino через SPI-интерфейс и предоставляет множество различных режимов работы для максимальной гибкости при проектировании системы. Он имеет возможность работы в различных режимах энергопотребления, включая сна, ожидание и передача данных, что делает его оптимальным вариантом для беспроводной передачи данных в различных IoT-приложениях [9].

RFM95W может использоваться для беспроводного управления и мониторинга датчиков, систем управления на основе интернета вещей и других беспроводных устройств, которые нуждаются в малом энергопотреблении, высокой дальности передачи данных и защите от помех.

В общем, RFM95W - универсальный и надежный радиомодуль, который прост в управлении, легок в использовании и может быть использован в различных проектах, где требуется беспроводная связь на большое расстояние. Внешний вид платы RFM95W представлен на рисунке 6. Технические характеристики RFM95W представлены в таблице 5.



Рисунок 6. Внешний вид платы RFM95W

Таблица 5. Технические характеристики RFM95W

Параметр	Значение
Частотный диапазон:	868 МГц (EU) или 915 МГц (US)
Модуляция:	LoRa или FSK
Максимальная скорость передачи данных:	300 кбит/с (LoRa) или 300 кбит/с (FSK)
Выходная мощность:	до +20 дБм
Чувствительность приемника:	-148 дБм (LoRa) или -118 дБм (FSK)
Протоколы шифрования:	AES 128 бит
Интерфейс связи с микроконтроллером:	SPI
Напряжение питания:	3.3 В
Ток потребления в режиме приема:	10-20 мА
Ток потребления в режиме передачи:	40-120 мА (в зависимости от мощности передачи и длительности передачи)
Работа в различных режимах энергопотребления:	Idle, Rx, Tx, Sleep, Standby

Для передачи данных с датчиков на удаленный устройство через беспроводную связь с использованием RFM95W необходимо создать соответствующее программное обеспечение. Это может быть реализовано с помощью Arduino IDE и библиотеки для работы с RFM95W.

Для начала, необходимо подключить модуль RFM95W к плате Arduino Uno и настроить его на передачу данных с датчиков. Для этого необходимо использовать соответствующие управляющие команды RFM95W, которые могут быть настроены и отправлены через платформу Arduino Uno. Как правило, для настройки модуль RFM95W на передачу данных можно использовать библиотеку для работы с RFM95W, которая обеспечивает простой доступ к функциональности модуля.

Одна из таких библиотек - RadioHead, которая поддерживает множество типов радиомодулей, включая RFM95W. С помощью этой библиотеки можно создавать свою собственную передающую и принимающую программу, настроенную на передачу данных между одним или несколькими модулями RFM95W.

В этом примере программы описывается работа с датчиками Winsen ME4-NO2, MH-Z19C и MQ136 для получения значений в конкретный момент времени. Затем создается строковое сообщение, содержащее все эти значения. С помощью функции *send()* и *waitPacketSent()* сообщение отправляется через модуль RFM95W на удаленное устройство. Это сообщение можно также отправить на облачный сервис, используя соответствующие API [10].

Таким образом, программное обеспечение, созданное для работы с RFM95W и

датчиками Winsen ME4-NO₂, MH-Z19C и MQ136, может быть использовано для сбора и передачи данных из различных систем мониторинга и управления в удаленное место.

Для питания данной системы подойдет блок питания на 12В с током не менее 1А и мощностью не менее 12 Вт. Например, модель HLF1208-10240, которая описывается как «12В 1А AC-DC модульный блок питания», может стать подходящим выбором.

Этот блок питания имеет выходное напряжение 12В и ток 1А, что достаточно для питания Arduino UNO, датчиков ME4-NO₂, MH-Z19C UART CO₂, MQ136 Gas Sensor и RFM95W. Кроме того, этот блок питания имеет широкий диапазон входного напряжения (90 – 264В AC), что позволяет ему работать с питанием от 220В и 380В.

HLK-12M12 – это AC-DC модульный блок питания. Технические характеристики данного блока питания представлены в таблице 6.

Таблица 6. Технические характеристики БП HLF1208-10240

Параметры	Значение
Входное напряжение:	90 - 264В AC
Выходное напряжение:	12В DC
Выходной ток:	1 А
Мощность:	12 Вт
КПД:	70%
Размеры (ДхШхВ):	4,4 см х 3,3 см х 2,8 см
Вес:	46 г
Рабочая температура:	-35°C до +60°C

Результаты и их обсуждение

Разработанная принципиальная схема представлена на рисунке 7. Питание микроконтроллера происходит благодаря понижающему преобразователю (12 В – 5 В) LM2596S с портами +V_o и -V_o, которые подключаются к 5В, и к GND.

Имеется возможность подключить RFM95W к компьютеру через USB порт, для принятия данных с систем мониторинга.

Для получения показаний с нескольких датчиков с помощью RFM95W на удаленном компьютере, необходимо выполнить следующие шаги.

Подключить каждый датчик к своему Arduino UNO, и написать соответствующий код для считывания показаний датчика.

Подключить к каждой плате Arduino модуль RFM95W, настроить их на одинаковые настройки канала, адреса и т.д.

Написать код на удаленном компьютере для приема данных по радиоканалу от датчиков. В этом скетче нужно настроить модуль RFM95W на такие же настройки канала и адреса, как на плате с датчиком, и настроить прием данных по протоколу RFM95W.

В коде на плате с датчиком и на удаленном компьютере использовать библиотеку RFM95W для обмена данными по радиоканалу.

Блок схема алгоритма представлены на рисунке 8 [11].

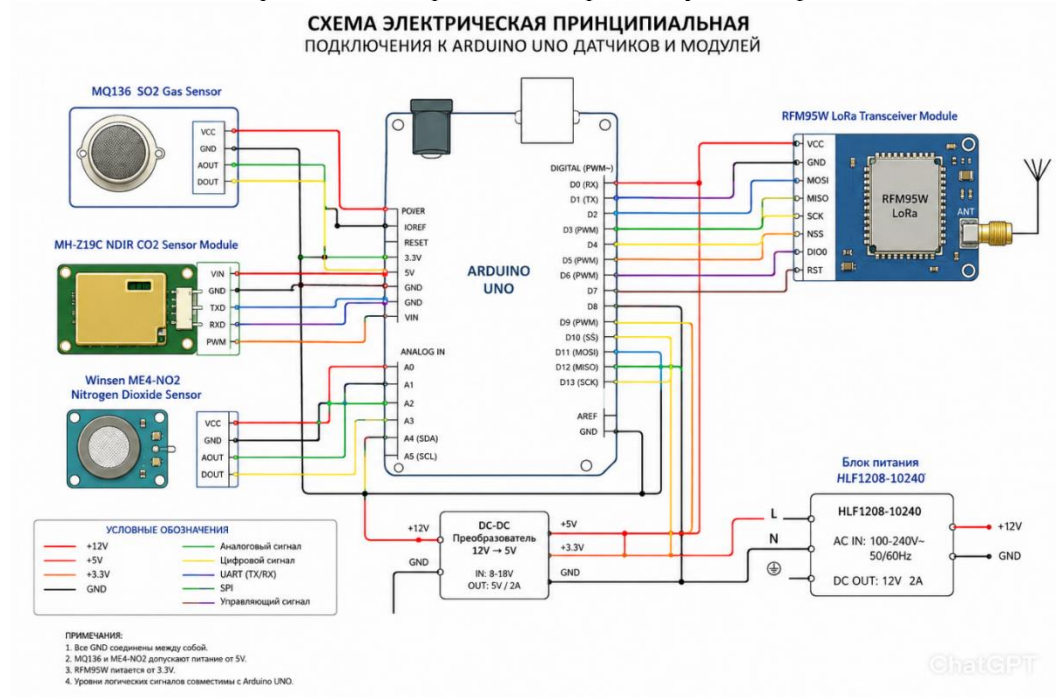


Рисунок 7. Схема подключения блоков

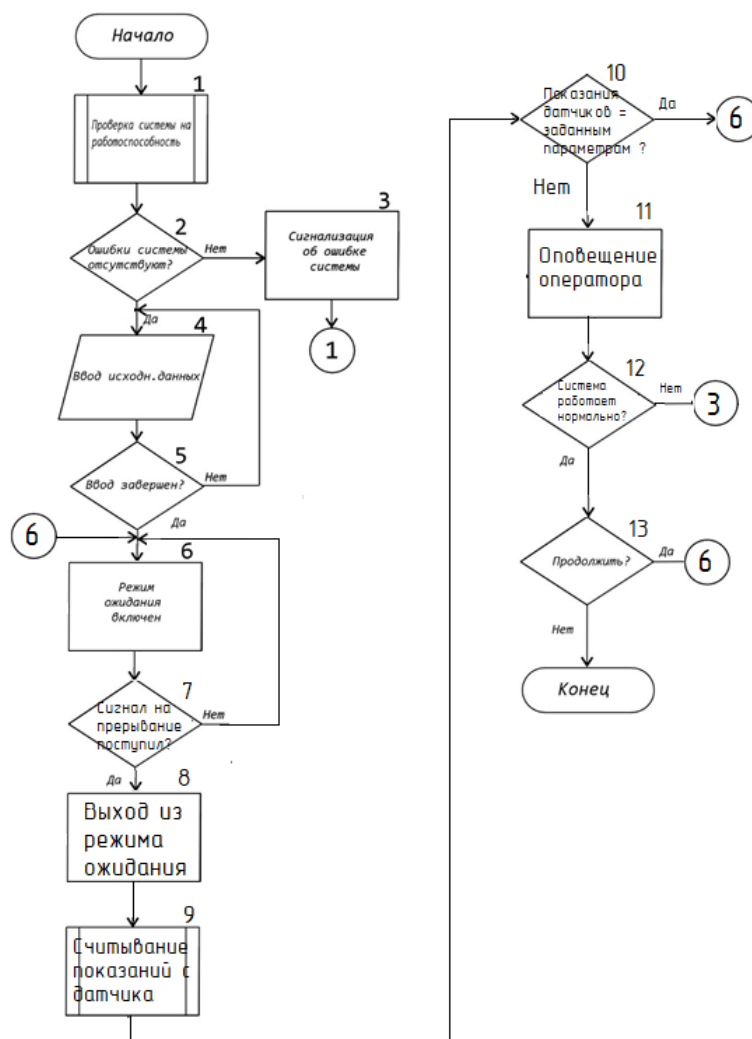


Рисунок 8. Блок схема алгоритма

При включении происходит самотестирование подсистемы (*микропроцессорных блоков устройств*), которые должны выполнить самопроверку, после этого система должна перейти к следующим действиям. Следующим действием является ввод исходных данных. Под исходными данными понимается ввод постоянных параметров, которые присутствуют в данной системе, а также адреса необходимых датчиков, не смотря на то что, в подсистеме при первоначальном запуске, данные операции произведены, но при эксплуатации через несколько дней, или месяцев могут произойти изменения, и необходимо данные изменения вводить снова.

Заключение

В работе был выполнен анализ современных аналитических методов в экологическом мониторинге. Был рассмотрен основной перечень предприятий, которые играют ведущую роль в формировании повышенного уровня загрязнений в районах Караганды, но также были указаны и другие источники загрязнений, влияющие на экологию района.

Исходя из данных, полученные после анализа работ экологов города Караганда, что основные вещества, загрязняющие экологию района ТЭЦ-3, являются:

- диоксид азота;
- оксид углерода;
- бенз(а)пирен;
- алканы C₁₂-C₁₉;
- пыль неорганическая SiO₂ 20-70%.

Исходя из этих данных, было составлено техническое задание, где указано место, куда целесообразнее установить блоки датчиков для мониторинга.

Была разработана примерная структурная схема мониторинга, и было показано, как и куда передаются сигналы с датчиков.

Далее, был произведен выбор технических средств, где были выбраны основные технические средства и их характеристики для мониторинга газов, обработки сигналов, и их передачи в блок управления диспетчера.

Список литературы

1. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2023 год, Астана, Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан, 2024. – 299-300 с.
2. Информационный бюллетень о состоянии окружающей среды по Карагандинской и Ұлытау областям, Караганда, Филиал РГП «Казгидромет» по Карагандинской и Ұлытау областям Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан, 2025 – 4 с.
3. Jabbar W.A., Subramaniam T., Ong A.E. et al. LoRaWAN-Based IoT System Implementation for Long-Range Outdoor Air Quality Monitoring. Internet of Things. 2022. Vol. 19. 100540. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100540>.
4. Постановление Правительства Республики Казахстан от 16 июня 2025 года № 447 «Об утверждении справочника по наилучшим доступным техникам «Мониторинг эмиссий загрязняющих веществ в атмосферный воздух и водные объекты».
5. Alsamrai O., Redel-Macias M.D., Pinzi S., Dorado M.P. A Systematic Review for Indoor and Outdoor Air Pollution Monitoring Systems Based on Internet of Things. Sustainability. 2024. Vol. 16, No. 11. Article 4353. <https://doi.org/10.3390/su16114353>.
6. Arduino. Arduino Uno Rev3 – Official Documentation. URL: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>. Date accessed: 02.03.2026.
7. Winsen Electronics Technology Co., Ltd. MQ136 Gas Sensor for Hydrogen Sulfide. – URL: <https://www.winsen-sensor.com/sensors/toxic-gas-sensor/mq136.html>. Date accessed: 02.03.2026.
8. Winsen Electronics Technology Co., Ltd. ME4-NO₂ Nitrogen Dioxide Gas Sensor. – URL: <https://www.winsen-sensor.com/sensors/toxic-gas-sensor/me4-no2.html>. Date accessed: 02.03.2026.
9. Liu S., Xia C., Zhao Z. A Low-Power Real-Time Air Quality Monitoring System Using LPWAN Based on LoRa. Proceedings of the 13th IEEE International Conference on Solid-State and

10. Desai N.S., Alex J.S.R. IoT Based Air Pollution Monitoring and Predictor System on Beagle Bone Black. Proceedings of the 2017 International Conference on Nextgen Electronic Technologies: Silicon to Software (ICNETS2). 2017. P. 367–370. <https://doi.org/10.1109/ICNETS2.2017.8067962>.

11. ГОСТ 19.701–90 (ИСО 5807–85). Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения. – Введ. 1992–01–01. – Действующий. – 4 с.

References

1. Nacional'nyj doklad o sostoyanii okruzhayushchej sredy i ob ispol'zovanii prirodnih resursov Respubliki Kazakhstan za 2023 god, Astana, Ministerstvo ekologii i prirodnih resursov Respubliki Kazakhstan, 2024. – 299-300 s.

2. Informacionnyj byulleten' o sostoyanii okruzhayushchej sredy po Karagandinskoj i Ylytau oblastyam, Karaganda, Filial RGP «Kazgidromet» po Karagandinskoj i Ylytau oblastyam Ministerstva ekologii i prirodnih resursov Respubliki Kazakhstan, 2025 – 4 s.

3. Jabbar W.A., Subramaniam T., Ong A.E. et al. LoRaWAN-Based IoT System Implementation for Long-Range Outdoor Air Quality Monitoring. Internet of Things. 2022. Vol. 19. 100540. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100540>.

4. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 16 iyunya 2025 goda № 447 «Ob utverzhdenii spravochnika po nailuchshim dostupnym tekhnikam «Monitoring emissij zagryaznyayushchih veshchestv v atmosfernyj vozduh i vodnye ob"ekty».

5. Alsamrai O., Redel-Macias M.D., Pinzi S., Dorado M.P. A Systematic Review for Indoor and Outdoor Air Pollution Monitoring Systems Based on Internet of Things. Sustainability. 2024. Vol. 16, No. 11. Article 4353. <https://doi.org/10.3390/su16114353>.

6. Arduino. Arduino Uno Rev3 – Official Documentation. URL: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>. Date accessed: 02.03.2026.

7. Winsen Electronics Technology Co., Ltd. MQ136 Gas Sensor for Hydrogen Sulfide. – URL: <https://www.winsen-sensor.com/sensors/toxic-gas-sensor/mq136.html>. Date accessed: 02.03.2026.

8. Winsen Electronics Technology Co., Ltd. ME4-NO₂ Nitrogen Dioxide Gas Sensor. – URL: <https://www.winsen-sensor.com/sensors/toxic-gas-sensor/me4-no2.html>. Date accessed: 02.03.2026.

9. Liu S., Xia C., Zhao Z. A Low-Power Real-Time Air Quality Monitoring System Using LPWAN Based on LoRa. Proceedings of the 13th IEEE International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT). 2016. <https://doi.org/10.1109/ICSICT.2016.7998986>.

10. Desai N.S., Alex J.S.R. IoT Based Air Pollution Monitoring and Predictor System on Beagle Bone Black. Proceedings of the 2017 International Conference on Nextgen Electronic Technologies: Silicon to Software (ICNETS2). 2017. P. 367–370. <https://doi.org/10.1109/ICNETS2.2017.8067962>.

11. GOST 19.701–90 (ISO 5807–85). Edinaya sistema programnoj dokumentacii. Skhemy algoritmov, programm, dannyh i sistem. Oboznacheniya uslovnye i pravila vypolneniya. – Vved. 1992–01–01. – Dejstvuyushchij. – 4 s.

ҚАРАҒАНДЫ ҚАЛАСЫНЫҢ ӘРТҮРЛІ АУДАНАРЫНДАҒЫ АТМОСФЕРАЛЫҚ АУА САПАСЫН МОНИТОРИНГТЕУ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ

РЫСБЕКҚЫЗЫ Б. , ЮРЧЕНКО В.В. , ИБРАЕВ А.Р. 

Рысбекқызы Бакытгүл – PhD, киберқауіпсіздік және жасанды интеллект кафедрасының доцент м.а., Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан.

E-mail: bakhytgulz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4353-1728>

Юрченко Владислав Владимирович – Техника ғылымдарының магистрі, киберқауіпсіздік және жасанды интеллект кафедрасының аға оқытушы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан.

E-mail: jurchenkovv@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4979-0774>

*Ибраев Ален Рашидович – Магистрант, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,

Андапта. Мақалада Қарағанды қаласының әртүрлі аудандарындағы атмосфералық ауаның сапасын бақылауға арналған мониторинг жүйесін әзірлеу қарастырылған. Зерттеудің өзектілігі өнеркәсіптік кәсіпорындар, жылу электр станциялары, автокөлік және жеке тұрғын үй секторынан шығатын зиянды заттардың атмосфералық ауаның ластану деңгейін арттырып, халық денсаулығы мен қоршаған ортаға кері әсер етуімен түсіндіріледі. Жұмыстың мақсаты – зиянды заттардың концентрациясын үздіксіз өлшеп, алынған мәліметтерді орталық мониторинг жүйесіне жеткізетін құрылымдық сұлбаны әзірлеу. Жұмыста экологиялық мониторингтің заманауи әдістері, оның ішінде зертханалық, қашықтан зондтау және спутниктік бақылау тәсілдері талданып, Қарағанды қаласының негізгі атмосфералық ластану көздері зерттелді. Зерттеу нәтижелері негізінде Arduino Uno микроконтроллері, азот диоксидін, күкірт диоксидін және көмірқышқыл газын өлшейтін газ датчиктері, сондай-ақ деректерді сымсыз жеткізуге арналған RFM95W модулі қолданылған мониторинг жүйесінің құрылымы ұсынылды. Сонымен қатар жүйенің принциптік сұлбасы мен жұмыс алгоритмі әзірленіп, өлшеу нәтижелерін жинау, өңдеу, беру және шекті мәндерден асқан жағдайда автоматты бақылауды жүзеге асыру қарастырылды. Ұсынылған жүйе қарапайымдылығымен, кеңейту мүмкіндігімен және атмосфералық ауаның сапасын автоматтандырылған бақылау жүйелерінде қолдануға жарамдылығымен ерекшеленеді.

Түйін сөздер: экологиялық мониторинг, атмосфералық ауаның сапасы, атмосфералық ластану, Arduino Uno, газ датчиктері, сымсыз деректерді беру, қоршаған ортаны бақылау.

DEVELOPMENT OF AN AIR QUALITY MONITORING SYSTEM FOR DIFFERENT DISTRICTS OF KARAGANDA CITY

RYSBEKKYZY B. , YURCHENKO V.V. , IBRAYEV A.R. 

Rysbekkyzy Bakytgul – PhD, acting associate professor of the department of cybersecurity and artificial intelligence, Abylkas Saginov Karaganda technical university, Karaganda, Kazakhstan.

E-mail: bakhytgulz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4353-1728>

Yurchenko Vladislav Vladimirovich – Master of engineering sciences, senior lecturer of the department of cybersecurity and artificial intelligence, Abylkas Saginov Karaganda technical university, Karaganda, Kazakhstan.

E-mail: jurchenkovv@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4979-0774>

***Ibrayev Alen Rashidovich** – Master's student, Abylkas Saginov Karaganda technical university, Karaganda, Kazakhstan.

E-mail: a.ibrayev@ro.ru, <https://orcid.org/0009-0007-2265-5453>

Abstract. This paper presents the development of an air quality monitoring system for different districts of Karaganda city. The relevance of the study is determined by the high level of atmospheric pollution caused by industrial enterprises, thermal power plants, motor vehicles, and the private residential sector, which negatively affects public health and the environment. The aim of the study is to develop a structural design of a monitoring system capable of continuously measuring pollutant concentrations and transmitting the collected data to a central monitoring station. The paper analyzes modern environmental monitoring methods, including laboratory, remote sensing, and satellite-based approaches, and examines the major sources of atmospheric pollution in Karaganda. Based on the obtained results, a monitoring system architecture was developed using the Arduino Uno microcontroller, gas sensors for measuring nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon dioxide concentrations, and the RFM95W wireless communication module for data transmission. A schematic diagram and an operational algorithm of the proposed system were developed to ensure data acquisition, processing, transmission, and automatic detection of pollutant concentration threshold exceedances. The proposed system is characterized by simplicity, scalability, and practical applicability for automated environmental monitoring. Its implementation can improve the efficiency of air quality control and support timely decision-making aimed at reducing environmental pollution and protecting public health.

Key words: air quality monitoring, atmospheric pollution, environmental monitoring, Arduino Uno, gas sensors, wireless data transmission, environmental control.