

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»
Институт радиоэлектроники и информационных технологий – РТФ
Кафедра радиоэлектроники информационных систем

Допустить к защите в ГЭК

Зав. кафедрой РЭИС

С.В. Поршнев
Подпись Ф И О

« » 2016 г.

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА В ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Пояснительная записка

230201 000 000 717 ПЗ

Руководитель

Консультант

Консультант

Нормоконтролер

Студент

РЗ-600407

Н. Т. Сафиуллин

С. А. Поташникова

М. Д. Комаров

В.Ф. Кочкина

В. И. Рогожин

Екатеринбург

2016

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ЛИСТОВ ГРАФИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ	5
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ	6
ВВЕДЕНИЕ	8
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ	9
2 АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ	10
3 СТРУКТУРА УСТРОЙСТВА	13
3.1 Выбор оборудования	13
3.2 Схема движения информации	26
3.3 Принципиальная схема устройства	26
4 ПРОГРАММНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ	37
4.1 Разработка прошивки для микроконтроллера сбора данных	37
4.2 Разработка прошивки для основного микроконтроллера	49
4.3 Разработка web-интерфейса	52
4.4 Разработка графического интерфейса	53
5 РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ	56
5.1 Введение	56
5.2 Назначение и условия использования устройства	57
5.3 Подготовка к работе	57
5.4 REST интерфейс устройства	62
5.5 Решение проблем	67
6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	77
6.1 Введение	77
6.2 Безопасность проекта	77
6.3 Чрезвычайные ситуации	92
6.4 Выводы	93
7 ОБОСНОВАНИЕ ЗАТРАТ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА	95
7.1 Расчёт себестоимости НИР	95
7.2 Привлечение инвестиций	103
7.3 Расчёт себестоимости при серийном производстве	104
7.4 Расчёт нижнего предела цены	109

7.5 Выводы по разделу	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	111
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	113
ПРИЛОЖЕНИЕ А ЛИСТИНГ ЧАСТИ ИСХОДНОГО КОДА ПРОШИВКИ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА СБОРА ДАННЫХ.....	122
ПРИЛОЖЕНИЕ Б ЛИСТИНГ ЧАСТИ ИСХОДНОГО КОДА БИБЛИОТЕКИ RUNNINGAVERAGE.....	126
ПРИЛОЖЕНИЕ В ФОРМАТ «ОБЩЕНИЯ» С МОДУЛЕМ ZE07-CO И ДАТЧИКОМ МН-Z14	128
ПРИЛОЖЕНИЕ Г ЛИСТИНГ ЧАСТИ ИСХОДНОГО КОДА ПРОШИВКИ ОСНОВНОГО МИКРОКОНТРОЛЛЕРА	129
ПРИЛОЖЕНИЕ Д ЛИСТИНГ ЧАСТИ JAVASCRIPT КОДА ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ WEB-ИНТЕРФЕЙСА С МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ	142

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка содержит 145 стр., 22 табл., 44 рис., 5 приложений, 94 библиограф. названия.

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ВОЗДУХА В ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Цель работы – разработать аппаратно-программный комплекс, с помощью которого можно оперативно получать данные о качестве воздуха, параметрах микроклимата, содержании монооксида углерода, двуоксида углерода, взвешенных частиц и природного газа в воздухе жилых помещений.

Изучена предметная область, рассмотрены аналоги разработанного устройства, представленные на рынке. Произведён выбор датчиков, наиболее подходящих для использования в устройстве, а также рассмотрены вопросы, связанные с получением корректных данных от них. Разработана принципиальная схема устройства. Разработаны прошивки для двух микроконтроллеров, входящих в состав устройства. Разработан графический интерфейс, представленный ЖК-дисплеем и web-интерфейс. Написано руководство пользователя. Построен прототип устройства.

В работе рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности. В экономическом разделе дипломного проекта оценены затраты на проведение НИР, рассмотрен вопрос привлечения инвестиций, рассчитана итоговая стоимость устройства из расчёта партии в сто штук.

НИР, рассмотрен вопрос привлечения инвестиций, рассчитана итоговая стоимость устройства из расчёта партии в сто штук.

	Подп. и дата		Инв. № дубл		Взаим. инв. №		Подп. и дата	
						</		

ПЕРЕЧЕНЬ ЛИСТОВ ГРАФИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ

№ п/п	Наименование документа	Обозначение документа	Формат
1	Аппаратно-программный комплекс для оперативного мониторинга качества воздуха в жилых помещениях. Схема электрическая принципиальная.	230201.000.000.717 ЭЗ	A3

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

FIFO – (акроним First In, First Out — «первым пришёл — первым ушёл») – способ организации и манипулирования данными относительно времени и приоритетов. Это выражение описывает принцип технической обработки очереди или обслуживания конфликтных требований путём упорядочения процесса по принципу: «первым пришёл — первым обслужен» (ПППО). Тот, кто приходит первым, тот и обслуживается первым, пришедший следующим ждёт, пока обслуживание первого не будет закончено, и так далее [1].

REST – (сокр. от англ. Representational State Transfer – «передача состояния представления») – архитектурный стиль взаимодействия компонентов распределённого приложения в сети. REST представляет собой согласованный набор ограничений, учитываемых при проектировании распределённой системы [2].

MQTT – (сокр. от англ. Message Queue Telemetry Transport) – лёгкий сетевой протокол, работающий поверх TCP/IP. Используется для обмена сообщениями между устройствами по принципу издатель-подписчик [3].

UART – (сокр. от англ. Universal Asynchronous Receiver-Transmitter – универсальный асинхронный приёмопередатчик) – узел вычислительных устройств, предназначенный для организации связи с другими цифровыми устройствами. Преобразует передаваемые данные в последовательный вид так, чтобы было возможно передать их по цифровой линии другому аналогичному устройству [4].

JSON – (сокр. от англ. JavaScript Object Notation) – простой формат обмена данными, удобный для чтения и написания как человеком, так и компьютером. Он основан на подмножестве языка программирования JavaScript, определенного в стандарте ECMA-262 3rd Edition - December 1999 [5].

URI – (сокр. от англ. Uniform Resource Identifier – унифицированный (единообразный) идентификатор ресурса) – последовательность символов, идентифицирующая абстрактный или физический ресурс. Является надмножеством URL [6].

ВВЕДЕНИЕ

В процессе своей жизнедеятельности человек постоянно соприкасается со многими факторами внешней среды, и эти факторы, естественно, оказывают на организм человека определенное влияние. Одним из таких факторов является воздушная среда. Воздух играет важную роль в обмене веществ в человеческом организме. Поэтому важным фактором в обеспечении здоровья и хорошего самочувствия человека является наличие чистого и комфортного по своим характеристикам воздуха.

Повышенное содержание некоторых газов в воздухе способно оказывать значительное воздействие на здоровье человека, и даже угрожать жизни. Также некоторые газы, бытовое применение которых широко распространено взрывоопасны.

В связи с этим, актуальность работы состоит в обеспечении людей, находящихся в жилых помещениях оперативной информацией о качестве воздуха, которыми они дышат, и связана с сохранностью их жизни и здоровья.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель работы: разработать аппаратно-программный комплекс, с помощью которого можно оперативно получать данные о качестве воздуха, параметрах микроклимата, содержании монооксида углерода, двуокиси углерода, взвешенных частиц и природного газа в воздухе жилых помещений. Разработанное устройство позволит предупреждать людей, находящихся в жилых помещениях об отклонениях отслеживаемых показателей от нормы, тем самым предотвращая возможные негативные последствия для жизни и здоровья людей. Так же устройство должно иметь возможность передавать собранные данные, что позволит получать и анализировать данные внешними информационными системами, поддерживающими выбранный протокол.

Для достижения поставленной цели требуется:

- Изучить предметная область.
- Рассмотреть аналоги разработанного устройства, представленные на рынке.
- Произвести выбор датчиков для использования в устройстве.
- Рассмотреть вопросы, связанные с получением корректных данных от выбранных датчиков.
- Разработать принципиальную схему устройства.
- Разработать прошивки для микроконтроллеров, входящих в состав устройства.
- Разработать интерфейс пользователя.
- Написать руководство пользователя.
- Построить прототип устройства.

2 АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Системы мониторинга качества воздуха жилых помещений ещё не получили широкого распространения, но, с учётом последних тенденций в обществе, интерес к устройствам, позволяющим улучшить качество жизни и повысить её безопасность неуклонно растёт. В ответ на общественный запрос разрабатывается аппаратура, позволяющая предупреждать пользователей об опасных отклонениях в составе и качестве воздуха.

В настоящее время на рынке потребительской электроники насчитывается порядка нескольких десятков различных устройств подобной направленности. В основном, в данных устройствах делается упор на мониторинг температуры и влажности (микроклимата), мониторинг содержания углекислого газа. Некоторые устройства в дополнение к параметрам микроклимата и содержания углекислого газа позволяют отслеживать концентрацию такого опасного для человека газа, как монооксид углерода, а также концентрацию взвешенных частиц в воздухе. Среди отечественных компаний подобные устройства производит только компания Даджет.

В отношении интерфейса большинство производителей принимают решение или ограничиться цветовой индикацией на устройстве и перенести пользовательский интерфейс в мобильное приложение, как в устройстве от компании Airboxlab (рисунок 2.1), или выводить информацию на ЖК дисплей и отказаться от дополнительных интерфейсов, как в устройстве «Монитор качества воздуха» от компании Даджет (рисунок 2.2) [7].

Общим минусом всех представленных на рынке устройств является их высокая стоимость. Стоимость всех подобных устройств, возможности которых не ограничиваются мониторингом только одного показателя, выше 8 тысяч рублей.

Так же на рынке довольно широко представлен другой класс устройств – погодные станции. Большинство устройств данного класса позволяют

отслеживать только температуру и влажность, и в более редких случаях, атмосферное давление.

Сравнение возможностей и приблизительной стоимости разрабатываемого устройства и четырёх наиболее популярных устройств, представленных на рынке приведено в таблице 2.1. Так как погодные станции относятся к другому классу устройств, сравнение с ними не производится.



Рисунок 2.1 – «Foobot» от компании Airboxlab



Рисунок 2.2 – «Монитор качества воздуха» от компании Даджет

Таблица 2.1 – Сравнение возможностей разрабатываемого устройства с аналогами

	Разрабатываемое устройство	Даджет «Монитор качества воздуха» [7]	Airboxlab «Foobot» [8]	Birdi [9]	Koto Air [10]
Мониторинг температуры/влажности	Да	Да	Да	Да	Да
Мониторинг содержания CO2 в воздухе	Да	Да	Да	Да	Да
Мониторинг содержания СО в воздухе	Да	Нет	Да	Да	Нет
Мониторинг содержания взвешенных части в воздухе	Да	Нет	Да	Да	Да
Детектирование утечек природного газа	Да	Нет	Да	Нет	Нет
Звуковые оповещения	Да	Да	Нет	Да	Нет
Графический интерфейс	Да	Да	Нет	Нет	Нет
Дополнительные возможности	Передача данных по протоколу MQTT		Изменяющаяся подсветка устройства, мобильные приложения, интеграция с социальными сетями	Изменяющаяся подсветка устройства, мобильные приложения, возможность работы от батарей, мониторинг яркости освещения	Изменяющаяся подсветка устройства, мобильные приложения, мониторинг яркости освещения, мониторинг атмосферного давления, мониторинг уровня шума
Ориентировочная цена	12 261,24 Р	8 950 Р	13 007,39 Р (199 \$)	7 778,29 Р (119 \$)	9 085,56 Р (139 \$)

3 СТРУКТУРА УСТРОЙСТВА

3.1 Выбор оборудования

3.1.1 Выбор датчиков газа

Следует отметить, что большинство датчиков газов, предлагаемых на рынке, можно разделить по принципу работы на три типа:

1. инфракрасные (на основе недисперсионной ИК-спектromетрии);
2. электрохимические;
3. полупроводниковые.

Принцип работы инфракрасных датчиков основан на изменении интенсивности инфракрасного излучения до и после поглощения газа. Измеряется количество света, прошедшего через светофильтр и поглощенного газом. После сравнения с показателями потока светового излучения, прошедшего мимо оптического устройства, датчик определяет разницу и выдает итоговый показатель концентрации газа. К преимуществам данного вида датчиков можно отнести высокую стабильность, хорошую избирательность, отсутствие зависимости от содержания в воздухе кислорода [11]. К недостаткам можно более высокую стоимость по сравнению с электрохимическими и полупроводниковыми датчиками.

Электрохимические датчики позволяют определять концентрацию газа в смеси газов по значению электрической проводимости раствора, поглотившего этот газ. Чувствительным элементом датчика является электрохимический сенсор, состоящий из трех электродов, помещенных в сосуд с электролитом. Чувствительность к различным компонентам определяется материалом электродов и применяемым электролитом. Например, сенсор кислорода представляет собой гальванический элемент с двумя электродами и является источником тока, величина которого пропорциональна концентрации кислорода [12]. Недостатком данного типа

датчиков является их чувствительность не только целевому газу, но и к некоторым другим (зависит от конкретной модели датчика).

Чувствительный материал полупроводниковых датчиков газа — это высокоактивный оксид металла, обычно SnO_2 . Когда чувствительная поверхность датчика нагревается до определенной температуры, атомы кислорода абсорбируются поверхностью полупроводника, насыщенного электронами. Электроны с поверхности полупроводника захватываются атомами кислорода, которые в результате превращаются в отрицательные ионы кислорода. Это приводит к образованию положительно заряженных областей на поверхности полупроводника, в результате чего увеличивается пороговое напряжение, которое препятствует движению электронов. Свободные электроны внутри чувствительного материала должны проходить через границу полупроводника, чтобы формировать ток. Однако абсорбированный поверхностью кристалла кислород увеличивает пороговое напряжение, блокируя свободное перемещение электронов. Таким образом, у датчика появляется сопротивление. В рабочем состоянии, когда присутствует другой газ, вызывающий окислительно-восстановительную реакцию, концентрация отрицательных ионов кислорода уменьшается. Это приводит к уменьшению порогового напряжения, и, как следствие, к уменьшению сопротивления датчика [13]. К преимуществам данного вида датчиков можно отнести их крайне низкую стоимость, а к недостаткам низкую селективность.

3.1.1.1 Выбор датчика CO_2

К вредностям, подлежащим ассимиляции системами вентиляции, относятся газообразные загрязнители, выделяемые в процессе дыхания и через поверхность кожи человека (аммиак, сероводород, ацетон и т. п.), а также химические летучие соединения, выделяемые мебелью и отделочными материалами в помещении. В процессе дыхания человека в нормальных условиях изменению концентрации подвержены в основном два компонента воздуха: кислород и углекислый газ. В ходе метаболических процессов в

организме человека концентрация кислорода в выдыхаемом воздухе снижается с 20,9 до 16,3 %, а углекислого газа, наоборот, возрастает с 0,03 до 4 %. Следует обратить внимание на то обстоятельство, что концентрация углекислого газа возрастает более чем в 100 раз. Специалистами было установлено, что степень концентрации газовых загрязнителей, выделяемых человеком, тесно коррелируют с изменением концентрации углекислого газа, выделяемого при дыхании человека. В этой связи концентрация углекислого газа была принята в качестве индикатора качества воздуха. Другие вредные газовые выделения в помещениях жилых зданий (фенолформальдегиды, ацетон, аммиак и другие компоненты, выделяемые мебелью, отделочными материалами) приводят к эквивалентам углекислого газа. Загрязнители от мебели и отделочных материалов (в основном формальдегиды и анилины) по отношению к вредностям, выделяемым человеком, носят в основном разнонаправленный характер и ассимилируются воздухообменом, рассчитанным по концентрации CO_2 [14].

ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях», предусматривает четыре класса качества воздуха в помещении в зависимости от концентрации углекислого газа, которые приведены в таблице 3.1. Средние концентрации CO_2 в воздухе приведены в таблице 3.2 [15].

Таблица 3.1 – Классы качества воздуха в зависимости от содержания CO_2

Класс	Качество воздуха в помещении		Допустимое содержание CO_2^* , $\text{см}^3/\text{м}^3$
	Оптимальное	Допустимое	
1	Высокое	-	400 и менее
2	Среднее	-	400-600
3	-	Допустимое	600-1000
4	-	Низкое	1000 и более
* Допустимое содержание CO_2 в помещениях принимают сверх содержания CO_2 в наружном воздухе, $\text{см}^3/\text{м}^3$.			

Таблица 3.2 – Средняя концентрация CO₂ и CO в воздухе

Местность	Концентрация в воздухе	
	CO ₂ , см ³ /м ³	CO, мг/м ³
Сельская местность, существенные источники отсутствуют	350	1
Небольшой город	375	1-3
Загрязненный центр большого города	400	2-6

С учётом требуемой высокой чувствительности датчика CO₂ в диапазоне от 350 до 15000 см³/м³ (в [16] вводится разовая ПДК равная 13 790 ppm и среднесменная 4 597 ppm для воздуха рабочей зоны производственных помещений), был выбран датчик MH-Z14 (рисунок 3.1) производства Winsensor. Датчик относится к типу инфракрасных, что обеспечивает высокую селективность. Датчик отличается низкой стоимостью (по сравнению с другими инфракрасными датчиками), способен передавать данные с помощью широтно-импульсной модуляции или через UART. К минусам данного датчика относится низкая верхняя граница измерений, равная 10000 ppm.

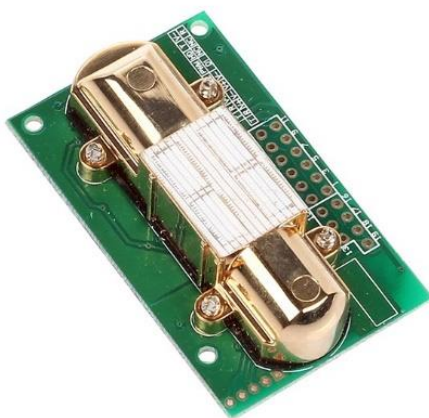


Рисунок 3.1 – Датчик MH-Z14

3.1.1.2 Выбор датчика CO

Монооксид углерода выделяется при сгорании различных веществ, содержащих углерод.

Воздействие угарного газа СО на организм различается в зависимости от концентрации и продолжительности воздействия, а также от состояния здоровья конкретного человека. Приблизительно 80—90% поглощенного оксида углерода соединяется с гемоглобином и образует карбоксигемоглобин (HbCO), который является специфичным биологическим маркером воздействия (оксида углерода) на кровь. У большинства людей не будут проявляться какие-либо симптомы при концентрации СО до 70 ppm. С увеличением концентрации симптомы становятся заметными, это могут быть усталость, тошнота, головная боль. В высоких концентрациях или при длительном воздействии наступают дезориентация, головокружение, тошнота, потеря сознания и смерть.

В помещениях жилых зданий источниками СО могут быть:

- выхлопы автомобиля в плохо проветриваемом гараже;
- неисправные отопительные приборы;
- открытый огонь или электрические отопительные приборы с открытой горячей спиралью в помещениях, где пыльно или много горючих паров [17].

Согласно [18] максимальная разовая ПДК монооксида углерода равняется 17,2 ppm, при длительности работы в атмосфере, содержащей оксид углерода, не более 1 ч предельно допустимая концентрация оксида углерода может быть повышена до 43 ppm, при длительности работы не более 30 мин - до 86 ppm, при длительности работы не более 15 мин - 172 ppm. Повторные работы при условиях повышенного содержания оксида углерода в воздухе рабочей зоны могут проводиться с перерывом не менее, чем в 2 ч. Согласно [19] концентрация HbCO в крови более 2,5% может оказывать негативное влияние на здоровье человека, повышать риск развития сердечно-сосудистых заболеваний. В связи с этим приводятся рекомендации по максимальному содержанию оксида углерода в воздухе, при которых концентрация HbCO в

крови человека не превысит 2,5%, даже при выполнении лёгкой или умеренной физической работы:

- 100 мг/м³ (90 ppm) в течение 15 минут;
- 60 мг/м³ (50 ppm) в течение 30 минут;
- 30 мг/м³ (25 ppm) в течение 1 часа;
- 10 мг/м³ (10 ppm) в течение 8 часов.

С учётом озвученных выше требований был выбран датчик окиси углерода ME2-CO производства Winsen. Датчик относится к типу электрохимических, обладает высокой чувствительностью к оксиду углерода, «паразитной» чувствительностью к водороду и этилену. Датчик позволяет измерять концентрацию оксида углерода в интервале от 0 до 1000 ppm. Предпосылками к выбору именно этого датчика являлось то, что повышенные концентрации водорода и этилена в помещениях жилых зданий маловероятны, полупроводниковые датчики не обеспечивают однозначности полученных данных, а инфракрасные датчики оксида углерода исключительно редки. Для исключения проблем с калибровкой датчика, датчик решено использовать в составе модуля Z07-CO (рисунок 3.2) производства всё той же компании Winsen. Модуль проходит калибровку на заводе, отдаёт получаемые данные по UART.



Рисунок 3.2 – Модуль Z07-CO

3.1.1.3 Выбор датчика утечки «бытового газа»

Природный газ, по-прежнему, используется во многих жилых домах и квартирах в качестве дешевого и практичного топлива. Однако утечка газа может представлять огромную опасность для людей. Газ не только является отравляющим веществом, он может гореть и в закрытом помещении стать причиной взрыва. Чистый пропан запахом не обладает, поэтому чтобы распознать опасность вовремя, добавляют в него специальную отдушку. Но, даже не смотря на специфический запах бытового пропана, человек может вовремя не распознать утечку, по причине насморка, или пребывая во сне. Так же взрывоопасная воздушно-газовая смесь может образоваться до того, как человек почувствует запах газа.

В качестве датчика пропана был выбран полупроводниковый датчик MQ-4. Датчик обладает высокой степенью чувствительности к сниженным углеводородным газам и метану, и, в меньшей степени, к водороду, оксиду углерода, спирту и дыму. Чувствительность датчика ко многим другим веществам, не даёт полностью однозначно интерпретировать получаемые данные при низких концентрациях пропана, но при больших концентрациях (более 400 ppm), можно с большой уверенностью делать выводы о повышенном содержании пропана в воздухе. Выбор был сделан в пользу данного датчика в силу того, что датчик очень дешев, возможности детектировать присутствие природного газа при концентрациях выше 400 ppm вполне достаточно, так как взрывоопасные концентрации пропана лежат в диапазоне от 21000 ppm до 95000 ppm. Датчик решено использовать в составе модуля FC-22 (рисунок 3.3), где предварительно установлен нагрузочный резистор.

3.1.2 Выбор дополнительных датчиков

3.1.2.1 Выбор датчика температуры и влажности

Все жизненные процессы в организме сопровождаются непрерывным выделением теплоты в окружающую среду. Для нормального протекания

физиологических процессов необходимо, чтобы выделяемая организмом теплота полностью отводилась в окружающую среду. Нарушение теплового баланса может привести к перегреву или переохлаждению. Следует отметить, что при небольших отклонениях физических факторов воздушной среды от зоны комфорта самочувствие здоровых людей может не измениться, в то время как у больных людей часто возникают, так называемые, метеотропные реакции. Особенно чувствительны к изменению метеорологических факторов внешней среды люди, страдающие сердечно-сосудистыми, нервно-психическими и простудными заболеваниями. Оптимальный микроклимат – такое сочетание его параметров, которое при воздействии на человека в течение длительного времени обеспечивает тепловой баланс организма, точнее примерное равенство между величиной теплопродукции организма человека и его теплоотдачей в окружающую среду. Оптимальный микроклимат обеспечивает ощущение комфорта и создает предпосылки для высокого уровня работоспособности [20].



Рисунок 3.3 – Модуль FC-22 с датчиком MQ-4

Допустимые параметры температуры и влажности в помещениях жилых зданий регламентируются ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» [15]. Оптимальные и допустимые нормы температуры и относительной влажности в обслуживаемой зоне помещений жилых зданий и общежитий приведены в таблице 3.3. Согласно

ГОСТ [15], теплым называется период года с температурой выше $+8^{\circ}\text{C}$, холодным - с температурой ниже или равной $+8^{\circ}\text{C}$.

Таблица 3.3 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$		Относительная влажность, %	
	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая не более
Холодный	20-22	18-24	45-30	60
Теплый	22-25	20-28	60-30	65

В качестве датчика температуры и влажности был выбран датчик AM2302 (DHT22) производства Aosong (рисунок 3.4). Предпочтение было отдано именно этому датчику в силу его невысокой стоимости, компактности, возможности съёма показаний при использовании только одного вывода микроконтроллера.



Рисунок 3.4 – Датчик AM2302

3.1.2.2 Выбор датчика взвешенных частиц

Взвешенные частицы (PM или particulate matter) представляют собой широко распространенный загрязнитель атмосферного воздуха, включающий смесь твердых и жидких частиц, находящихся в воздухе во взвешенном состоянии. К показателям, которые обычно используются для характеристики PM и имеют значение для здоровья, относятся массовая концентрация частиц диаметром менее 10 мкм (PM_{10}) и частиц диаметром менее 2,5 мкм ($\text{PM}_{2,5}$). В $\text{PM}_{2,5}$, которые часто называют мелкодисперсными взвешенными частицами, также входят ультрамелкодисперсные частицы диаметром менее 0,1 мкм [21].

По имеющимся оценкам, при увеличении концентрации PM_{10} на 10 $мкг/м^3$ суточная смертность от всех причин возрастает на 0,2–0,6% [22, 23]. В условиях хронической экспозиции $PM_{2,5}$ каждое повышение концентрации $PM_{2,5}$ на 10 $мкг/м^3$ сопряжено с ростом долговременного риска кардиопульмональной смертности на 6–13% [24, 25, 26, 21].

Особенно уязвимыми являются чувствительные группы людей, страдающих заболеваниями легких или сердца, а также люди пожилого возраста и дети. Например, подверженность воздействию РМ отрицательно влияет на развитие легких у детей, приводя, в частности, к обратимым нарушениям легочной функции, а также к хроническому замедлению темпов роста легких и долговременной недостаточности легочной функции [27, 21].

В Российской Федерации предельно допустимое содержание взвешенных частиц неопределённого состава регламентируется только гигиеническими нормами ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» [18]. Документом [18] устанавливается максимальная разовая концентрация равная 0,5 $мг/м^3$, максимальная среднесуточная концентрация равная 0,15 $мг/м^3$, размер фракции не регламентируется.

Выбор датчика взвешенных частиц сделан в пользу датчика GP2Y1010AU0F производства компании Sharp (рисунок 3.5). Датчик является оптическим, как и большинство бюджетных датчиков взвешенных частиц. Инфракрасный диод и фототранзистор расположены по диагонали и способствуют обнаружению отраженного света частиц пыли в воздухе. Выходной сигнал датчика представляет собой аналоговое напряжение пропорциональное измеренной плотности пыли. Датчик хорошо обнаруживает частицы диаметром более 0.8 $мкм$, и даже сигаретный дым [28].



Рисунок 3.5 – Датчик GP2Y1010AU0F

3.1.3 Выбор микроконтроллеров

3.1.3.1 Выбор основного микроконтроллера

В качестве основного микроконтроллера было решено использовать микроконтроллер ESP8266 производства Espressif systems. Выбор данного микроконтроллера обусловлен тем, что микроконтроллер обладает очень невысокой стоимостью при высокой тактовой частоте и большом объёме оперативной памяти, имеет встроенный wi-fi модуль. Так же стоит отметить, что существует множество модулей на основе данного чипа. Модули отличаются количеством разведённых «ножек», размером flash памяти.

Для использования в устройстве был выбран модуль ESP-12E (рисунок 3.6). Модуль обладает следующими характеристиками:

- питание 3,3 В;
- поддержка w-fi сетей 802.11 b/g/n;
- поддержка протоколов SPI, UART;
- встроенный процессор RISC (с частотой 160 МГц);
- 3 мегабайта flash памяти;
- встроенный стек TCP/IP;
- 14 дБм выходной мощности при использовании 802.11n;
- температурный диапазон -40 ... 125° С;
- 12 линий ввода/вывода;

- 1 аналоговый вход (8 бит АЦП);
- 80 Кбайт оперативной памяти [29].

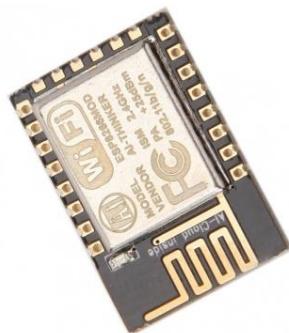


Рисунок 3.6 – Модуль ESP-12E

3.1.3.2 Выбор дополнительного микроконтроллера

Так как часть выводов модуля ESP-12E зарезервировано под служебные нужды, четыре вывода заняты SD-картой, подключённой через SPI интерфейс, возникла необходимость в дополнительном контроллере для сбора данных.

В качестве дополнительного контроллера был выбран микроконтроллер ATmega328P. Выбор данного микроконтроллера обусловлен тем, что он дешёв, обладает 21 линией ввода/вывода (при подключённом кварцевом резонаторе), что достаточно для подключения всех выбранных датчиков, обладает достаточным объёмом flash и оперативной памяти для программирования сложной логики.

3.1.4 Выбор дополнительного оборудования

3.1.4.1 Выбор схемы согласования уровней

Так как микроконтроллер ESP8266 питается от 3,3В, а ATmega328P от 5 В, для обеспечения безопасной связи между ними необходимо применение конвертора уровней. Двумя наиболее популярными решениями этой проблемы являются:

- использования специальных микросхем (например, TXB0108PWR);
- использование MOSFET транзисторов.

Преимуществом использования специализированных микросхем является то, что они позволяют согласовывать сразу множество линий одновременно, но только между двумя опорными напряжениями. Но выбор был сделан в пользу второго варианта (взяты транзисторы BSS138). Выбор обусловлен тем, что в документации к датчику СО указано, что «высокий» уровень сигнала при взаимодействии с ним по протоколу UART не должен быть выше 3 В, что делает необходимым согласование только ещё одной линии с другим напряжением. Так как задача согласовывать большое количество линий не стоит, имеется три разных опорных напряжения, MOSFET транзисторы более дешёвы, следовательно, выбор в пользу транзисторов очевиден.

3.1.4.2 Выбор оборудования для вывода звука

Наиболее простым способом реализовать вывод звуковых оповещений – использование готовых решений в виде модулей. Наиболее распространёнными решениями являются модули WTV020-SD производства Guangzhou Waytronic Technology и модули DFPlayer Mini производства DFRobot. Вторые выгодно отличаются от первых поддержкой формата mp3, наличием встроенного усилителя, при незначительной разнице в цене. В связи с этим, предпочтение было отдано модулю DFPlayer Mini.

Характеристики модуля:

- напряжение питания: 3,3–5 В;
- количество каналов: 1 (моно, 3 Вт) + 2 (стерео, без усилителя);
- поддерживаемые частоты дискретизации: 8, 11,025, 12, 16, 22,05, 24, 32, 44,1, 48 кГц;
- разрядность ЦАП: 24 бита;
- отношение сигнал/шум: до 85 дБ;
- поддерживаемые файловые системы: FAT16, FAT32;
- максимальный объём SD-карты: 32 ГБ;
- форматы аудиофайлов: MP3, WAV, WMA [30].

3.1.4.3 Выбор ЖК-дисплея

В качестве ЖК-дисплея был выбран дисплей «Nextion» диагональю 2,4 дюйма от компании «ITEAD». Выбор в пользу этого дисплея сделан по причине того, что этот дисплей переносит большую часть вычислений, необходимых для вывода информации, на свою сторону, максимально снижая нагрузку на микроконтроллер.

Взаимодействие с ЖК-дисплеем построено на приеме и отправке данных по UART протоколу в виде простых команд. Такая простота взаимодействия с дисплеем обусловлена тем, что графический интерфейс вместе со шрифтами, скриптами и глобальными переменными разрабатывается отдельно в ПО Nextion Editor, после чего загружается в память дисплея.

3.2 Схема движения информации

Для визуализации движения информации внутри устройства и формализации взаимодействия с пользователем была построена диаграмма потоков данных (DFD-диаграмма). Диаграмма приведена на рисунке 3.7.

3.3 Принципиальная схема устройства

Для создания принципиальной схемы и разводки платы использовался Eagle CAD, в силу того, что для него существует большое количества пользовательских библиотек с электронными компонентами, а также пользовательских программных модулей.

При проектировании схемы, кроме стандартной библиотеки компонентов использовались библиотеки Adafruit [31], DFPlayer [32], SparkFun [33] и ESP8266 [34]. Для выбранных ранее датчиков были созданы собственные компоненты, объединены в отдельную библиотеку.

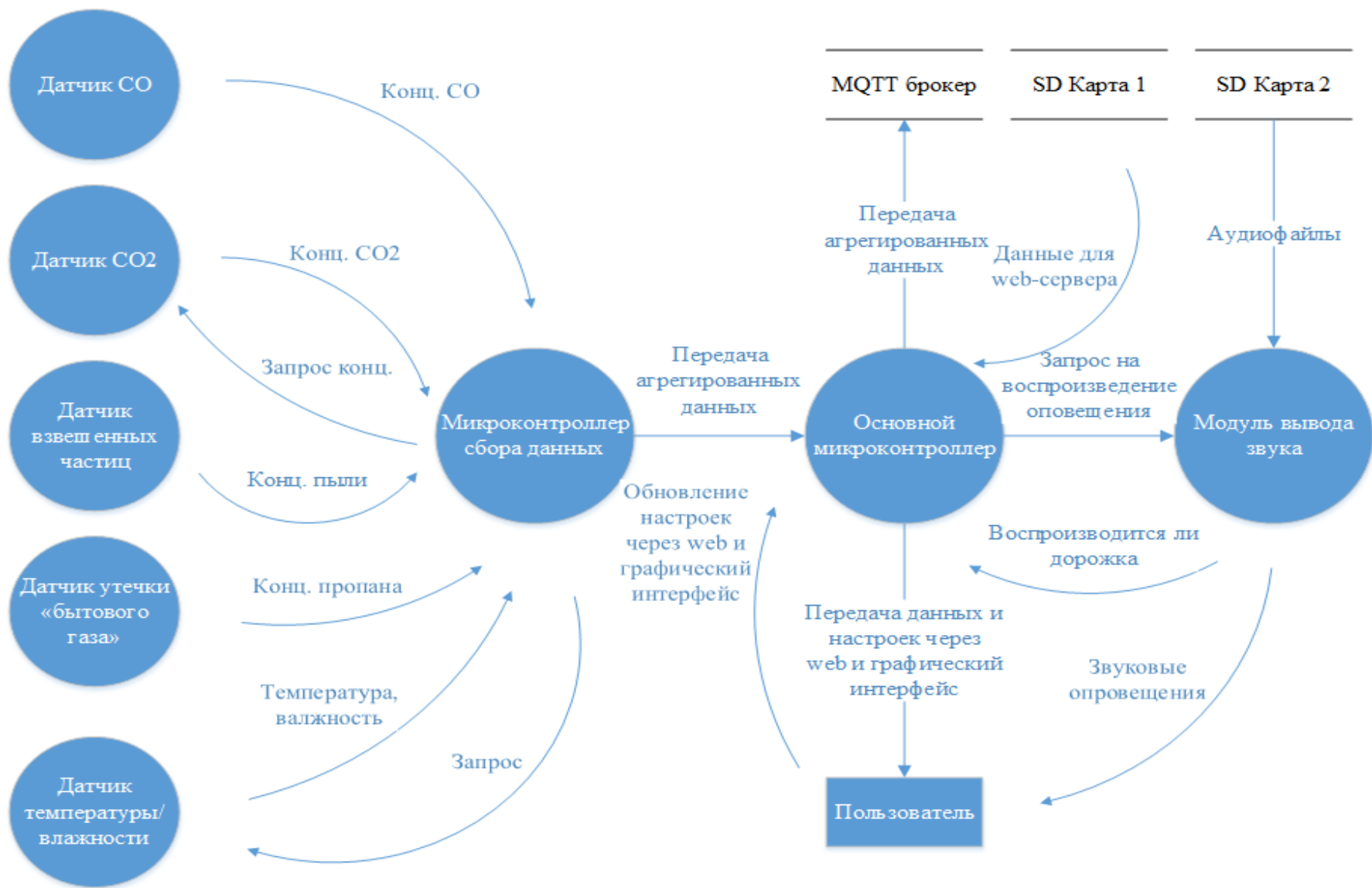


Рисунок 3.7 – Диаграмма потоков данных в разрабатываемом устройстве

3.3.1 Схема подключения микроконтроллеров

3.3.1.1 Схема подключения основного микроконтроллера

Модуль ESP-12E подключён согласно [29] (рисунок 3.8). Тактовая кнопка S1 служит для «ручной» перезагрузки микроконтроллера.

Коннектор J1 используется для первичной загрузки прошивки в микроконтроллер. Перед загрузкой, программатор перезагружает микроконтроллер, подтягивая порт RESET к земле, переводит контроллер в режим загрузки подтягивая порт GPIO0 к земле. Загрузка осуществляется по UART протоколу.

Согласно [29] для запуска микроконтроллера в рабочем режиме необходимо обеспечить высокий уровень на GPIO0 и GPIO2, низкий на GPIO15, после чего данные порты можно использовать в других целях. При подаче низкого уровня на ножку CH_PD, микроконтроллер отключается, поэтому в нашем случае на неё всегда подаётся логическая 1.

Ножка ADC является входом АЦП, и может быть оставлена неподключенной. Шесть ножек модуля ESP-12E, изображенных на рисунке 3.2 на нижней грани, задействованы для подключения внутренней flash памяти и недоступны для использования.

3.3.1.2 Схема подключения дополнительного микроконтроллера

Микроконтроллер Atmega328P подключён согласно [35] (рисунок 3.9). В микроконтроллер предварительно прошит загрузчик optiboot [36], позволяющий загружать прошивку по UART протоколу. Порт J2 предназначен для загрузки прошивки в контроллер. Для увеличения стабильности работы микроконтроллера установлены конденсаторы C9 и C10. Для повышения быстродействия, контроллер тактируется от внешнего кварцевого резонатора на 16МГц.

Согласно документации к микроконтроллеру [37], подключение оставшихся ножек не является обязательным, и их можно оставить «висящими» в воздухе.

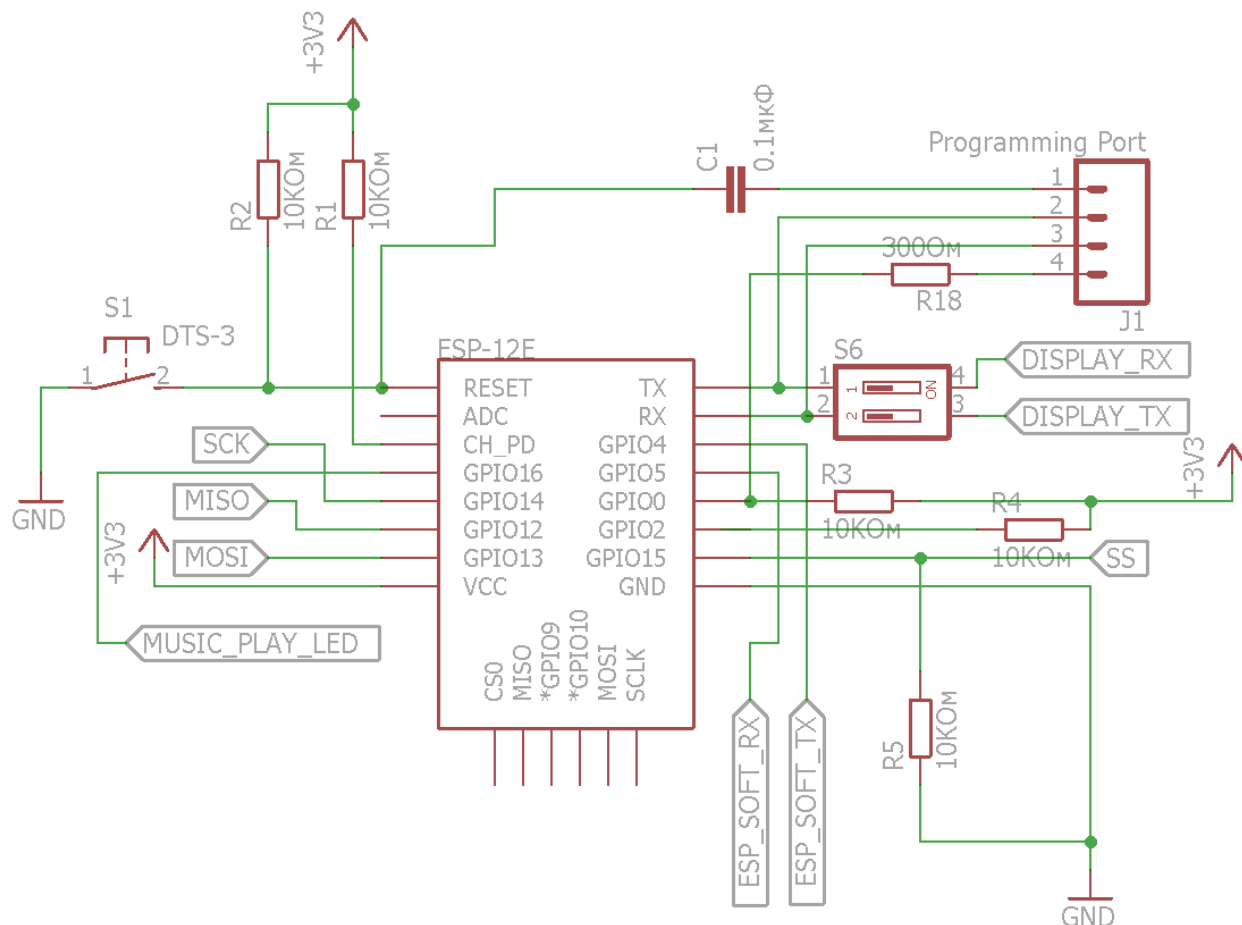


Рисунок 3.8 – Схема подключения модуля ESP-12E

Так как основной и дополнительный микроконтроллеры работают с разными напряжениями, для установления надёжной связи между ними необходимо применение схемы согласования уровней (рисунок 3.10). Такая схема конвертора уровней является универсальной, и обеспечивает двунаправленное соединение без модификации схемы. В исходном состоянии ни одно из устройств не подтягивает линию связи к "0", на стороне 3,3В устройства линия подтянута к "1" резистором R7, на стороне 5В устройства линия подтянута к "1" резистором R8, затвор и исток транзистора имеют одинаковый потенциал 3,3В, транзистор закрыт. Таким образом, на входе обоих устройств присутствует логическая "1", для каждого со своим уровнем

напряжения. В случае, когда 3,3В устройство устанавливает на своем выходе "0", исток транзистора принимает низкий потенциал, в то время как на затворе остается 3,3В, транзистор открывается, вход 5В устройства подтягивается к низкому уровню через открытый транзистор, на входе 5В устройства устанавливается логический "0". В последнем случае, когда 5В устройство устанавливает на своем выходе "0", через диодный переход исток-подложка транзистора напряжение на истоке снижается до тех пор, пока напряжение на затворе не перейдет пороговый уровень, затем транзистор открывается и вход 3,3В устройства подтягивается к "0" открывшимся транзистором [38].

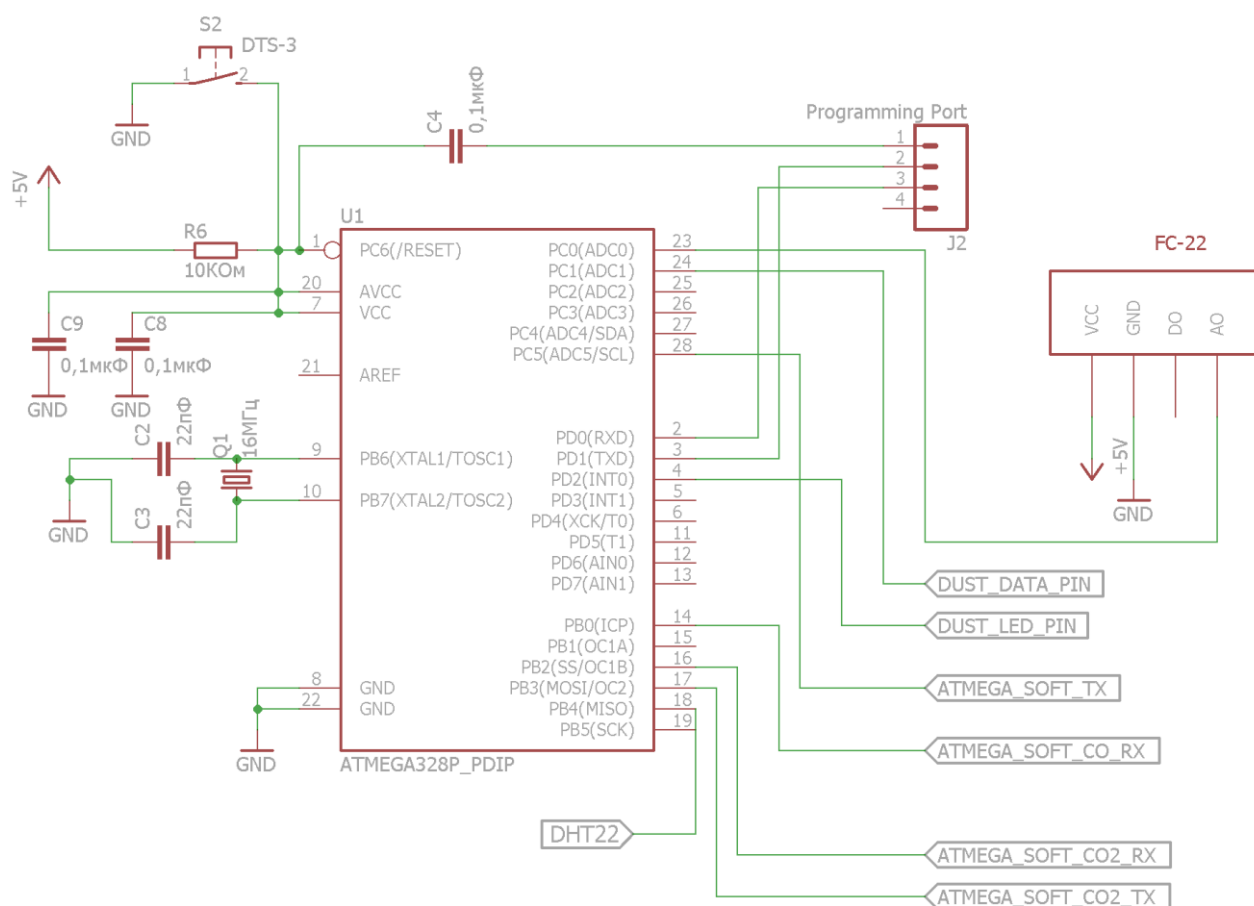


Рисунок 3.9 – Схема подключения микроконтроллера ATmega328

3.3.2 Схема подключения датчиков

3.3.2.1 Схема подключения датчика MH-Z14

Датчик углекислого газа MH-Z14 подключён к микроконтроллеру ATmega328P по UART интерфейсу через конвертер уровней, так как

документацией к датчику [39] не рекомендуется высокий уровень сигнала выше 3,5В. Схема конвертера уровней схожа с той, что изображена на рисунке 3.10, за исключением использования низкого уровня в 3В. Датчик работает по принципу «запрос - ответ», следовательно, необходимо подключение обеих линий UART. Подключение датчика изображено на рисунке 3.11.

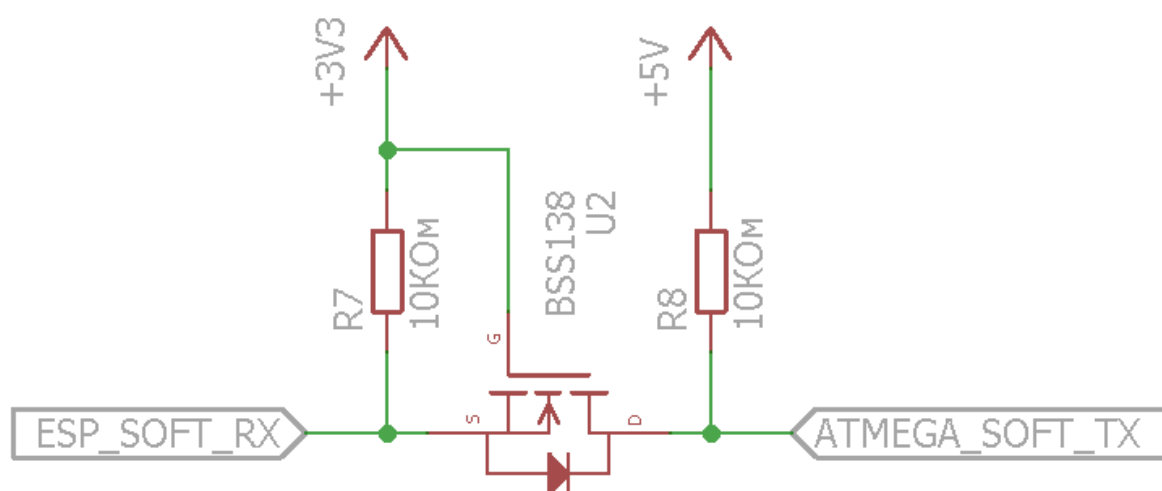


Рисунок 3.10 – Схема конвертера уровней

MH-Z14

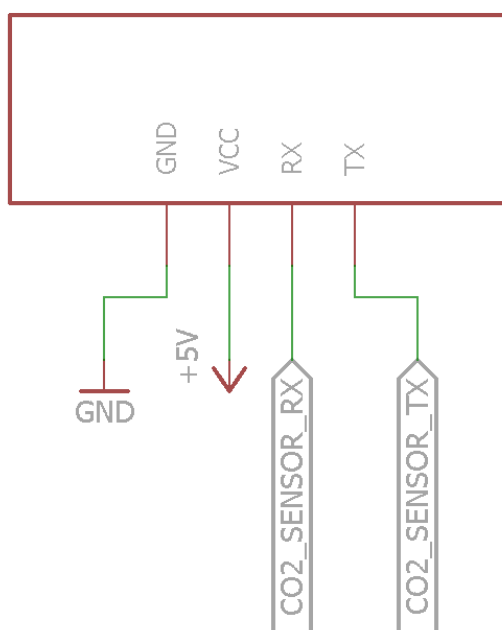


Рисунок 3.11 – Схема подключения датчика MH-Z14

3.3.2.2 Схема подключения модуля ZE07-CO

Согласно документации [40], модуль имеет возможность передавать информацию о концентрации угарного газа по протоколу UART. В режиме «по умолчанию» модуль отправляет данные с периодичностью в 1 секунду. Недостатком этого модуля является то, что максимальный уровень напряжения при общении по UART протоколу не должен превышать 3В. Однако, необходимости в дополнительном линейном стабилизаторе нет, так как модуль обладает встроенным стабилизатором, вывод которого выведен на одну из ножек модуля. Схема конвертера уровней полностью идентична схеме конвертера, через который подключён предыдущий датчик. С учётом того, что модуль способен отдавать данные без запроса, с целью упрощения схемы и уменьшения затрат на электронные компоненты, подключение RX линии модуля не производилось. Схема подключения приведена на рисунке 3.12.

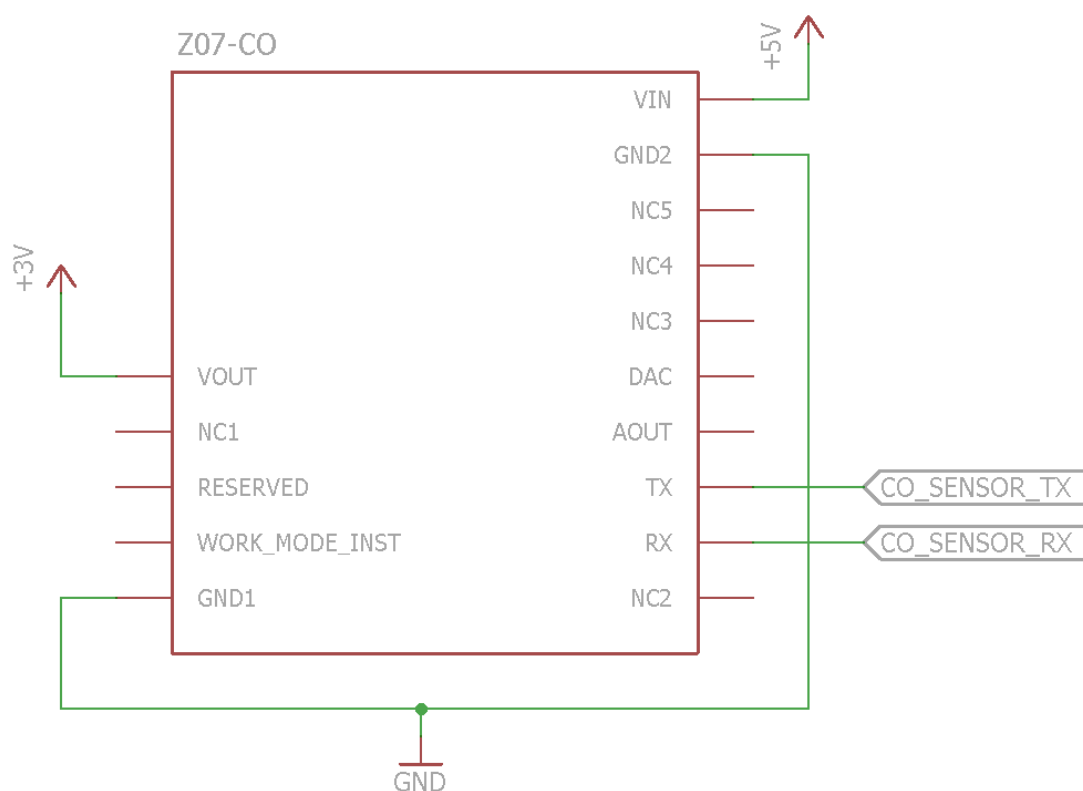


Рисунок 3.12 – Схема подключения модуля ZE07-CO

3.3.2.3 Схема подключения модуля FC-22

Модуль FC-22 имеет два выхода: цифровой и аналоговый. На цифровом выводе устанавливается логическая 1 при превышении заданного порога (задаётся подстрочным резистором). Так как данный способ получения данных от датчика не позволяет точно выставить порог срабатывания, принято решение использовать аналоговый выход модуля, анализировать полученные данные с помощью микроконтроллера. Схема подключения датчика приведена на рисунке 3.9.

3.3.2.4 Схема подключения датчика AM2302

Датчик AM2302, как было сказано ранее, подключается к микроконтроллеру с помощью одной шины данных. Из дополнительных компонентов, согласно документации [41], необходим подтягивающий к питанию резистор на 10КОм (R19). Схема подключения датчика приведена на рисунке 3.13.

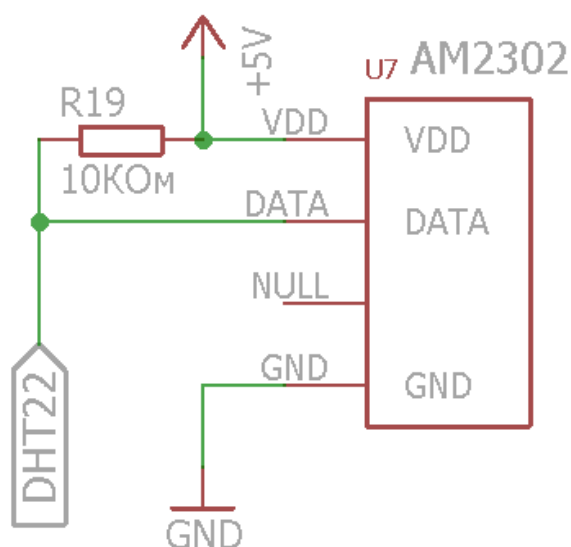


Рисунок 3.13 – Схема подключения датчика AM2302

3.3.2.5 Схема подключения датчика GP2Y1010AU0F

Датчик взвешенных частиц GP2Y1010AU0F имеет отдельное питание инфракрасного диода и фототранзистора. Документацией к датчику [42] рекомендуется подключать питание инфракрасного диода через

токоограничительный резистор (R15), использовать фильтрующий конденсатор (C5) для повышения стабильности работы датчика.

Включением и выключением диода управляет микроконтроллер, результирующее напряжение на фототранзисторе снимается с ножки VO.

Схема подключения датчика приведена на рисунке 3.14.

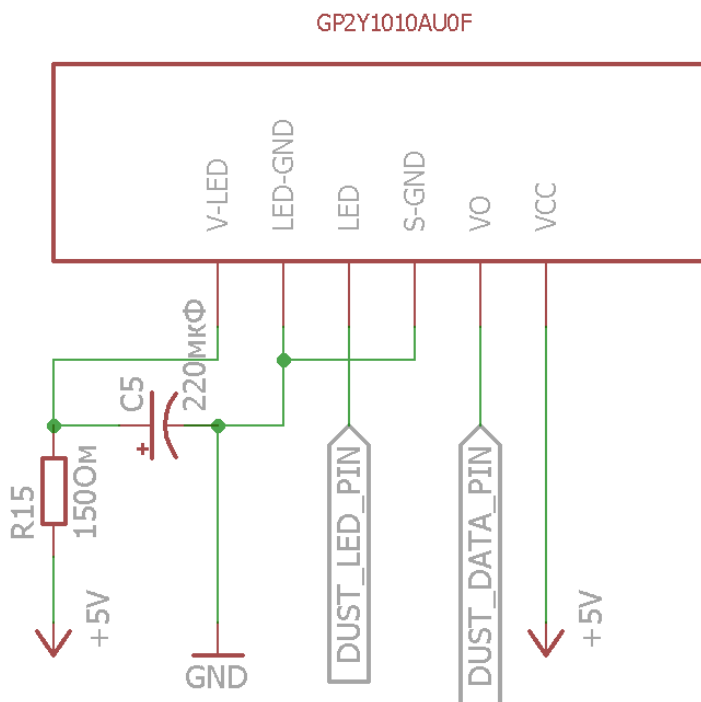


Рисунок 3.14 – Схема подключения датчика GP2Y1010AU0F

3.3.3 Схема подключения дополнительного оборудования

3.3.3.1 Схема подключения SD-карты

SD карта (Secure Digital Memory Card) представляет собой микроконтроллер и микросхему flash памяти. SD карта может работать в двух режимах:

- режим SD (собственный протокол обмена данными);
- режим SPI (в качестве интерфейса SD карта использует SPI).

Так как микроконтроллер ESP8266 имеет аппаратную поддержку протокола SPI, SD карта будет подключаться напрямую к контроллеру, при этом никаких дополнительных электронных компонентов не требуется.

Изображение контактов SD карты приведено на рисунке 3.15. Карта, используемая в устройстве, имеет формат microSD (в силу большей распространённости). Карты формата microSD имеют те же самые контактные площадки, что и карты SD, но меньшей площади. Подключение осуществляется через переходник.

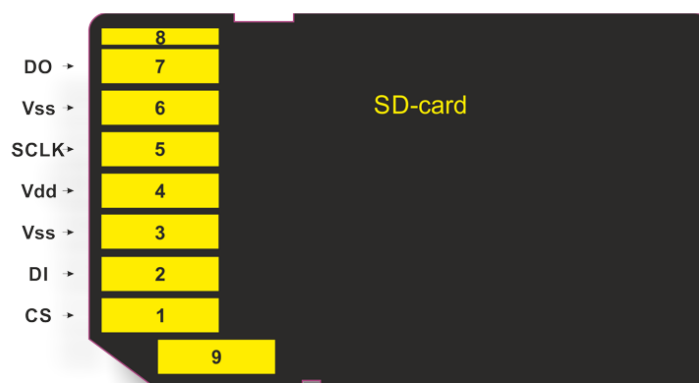


Рисунок 3.15 – Контакты SD карты

Контакты SD карты имеют следующее назначение:

- DO – контакт для получения данных с SD карты;
- DI – контакт для приёма данных SD картой;
- SCLK – контакт для синхроимпульсов;
- CS – контакт «выбор ведомого»;
- Vss – земля;
- Vdd – контакт питания, от 2.7 до 3.6 В [43].

3.3.3.2 Схема подключения модуля DFPlayer Mini

Модуль воспроизведения звука DFPlayer Mini поддерживает несколько режимов управления воспроизведением, как через UART интерфейс, так и с помощью подачи импульсов на специальные выводы модуля. В данном случае используется однонаправленное UART соединение между ESP-12E и модулем воспроизведения звука. В документации к DFPlayer Mini [44] указано, что

уровень напряжения на RX ножке не должен превышать 3,3В, что позволяет обойтись без использования конвертера логических уровней.

Модуль имеет специальный вывод, на котором устанавливается логическая 1, когда модуль простаивает, и логический 0, когда модуль воспроизводит файл. Периодическое считывание состояния данного вывода является наиболее простым способом реализовать последовательное воспроизведение файлов с помощью микроконтроллера, поэтому данный вывод был подключён к одному из выводов модуля ESP-12E.

4 ПРОГРАММНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ

Для написания прошивок для микроконтроллеров был выбран язык wiring, позволяющий максимально абстрагироваться от особенностей архитектуры и настройки микроконтроллеров. Язык wiring по сути представляет собой «обёртку» над языком C (библиотеки к нему пишут на C++), скрывающей низкоуровневую работу с микроконтроллером.

Минусом использования этого языка является то, что любая, даже самая простая программа, написанная на этом языке, занимает больше места во flash памяти микроконтроллера, чем программа, написанная на чистом C. Это происходит в силу того, что код написанный на языке wiring транслируется в код на C, при этом «подтягивая» дополнительные библиотеки. Но, так как выбранные ранее микроконтроллеры обладают довольно большим объёмом flash памяти, этот минус не играет большой роли и покрывается выигрышем в скорости разработки.

Для написания кода на языке wiring используется IDE Visual Studio с установленным дополнением Visual Micro. Выбор IDE обусловлен тем, что данная IDE поддерживает технологию IntelliSense (автодополнение кода), что значительно увеличивает скорость разработки.

4.1 Разработка прошивки для микроконтроллера сбора данных

Для периодического опроса датчиков было реализовано некое подобие планировщика. В первую очередь производится проверка, не переполнился ли счётчик миллисекунд, пошедших со старта микроконтроллера, что происходит примерно каждые 50 дней безостановочной работы. После чего происходит проверка для каждого датчика, не прошёл ли интервал опроса, заданный в структуре с настройками. Если интервал прошёл – датчик опрашивается, после чего записывается время последнего опроса.

Аналогичным образом, раз в секунду «запланирован» сбор строки с данными для основного микроконтроллера, а также её отправка через программный UART (используется библиотека SoftwareSerial [45]).

В структуре с настройками хранятся следующие данные:

- количество отсчётов в фильтре низких частот;
- время «прогрева» датчика;
- интервал между опросами датчика.

Часть исходного кода прошивки микроконтроллера сбора данных приведена в приложении А.

4.1.1 Выбор метода первичной обработки данных

Все используемые датчики обладают высокой чувствительностью, что приводит к высокочастотному колебанию получаемых значений, так как параметры окружающей среды зачастую подвержены незначительным колебаниям.

Для фильтрации данных колебаний было решено использовать скользящее среднее (фильтр низких частот). Суть метода заключается в том, что искомая величина получается путем усреднения нескольких значений, непосредственно примыкающих к "центральному" значению текущей группы. Группы получают постепенно, с шагом, равным единице, сдвигаясь от начального значения; группа (интервал сглаживания, его называют иногда “окном”) как бы скользит по ряду с шагом, равным единице [46].

Формула для вычисления скользящего среднего имеет вид:

$$SMA_t = \frac{1}{n} \times \sum_{i=0}^{n-1} p_{t-i} = \frac{p_t + p_{t-1} + \dots + p_{t-n+2} + p_{t-n+1}}{n} \quad (4.1)$$

где SMA_t — значение простого скользящего среднего в точке t ;

n — количество значений исходной функции для расчёта скользящего среднего (сглаживающий интервал), чем шире сглаживающий интервал, тем более плавным получается график функции;

p_{t-1} — значение исходной функции в точке $t - 1$ [47].

Из предыдущего своего значения простое скользящее среднее может быть получено по следующей рекуррентной формуле:

$$SMA_t = SMA_{t-1} - \frac{p_{t-n}}{n} + \frac{p_t}{n} \quad (4.2)$$

где SMA_t — значение простого скользящего среднего в точке t ;

SMA_{t-1} — предыдущее значение простого скользящего среднего;

p_{t-n} — значение исходной функции в точке $t - n$, p_t — значение исследуемой функции в точке t .

Данной формулой удобно пользоваться, чтобы избежать регулярного суммирования всех значений [47, 48].

Чтобы определить степень точности полученных данных, необходимо оценить величину ошибки, которая может случайно произойти в процессе измерения. Такая ошибка носит название случайной ошибки репрезентативности (m), или статистической стандартной ошибкой выборочного среднего арифметического. Она фактически является разностью между средними числами, полученными при выборочном статистическом наблюдении, и аналогичными величинами, которые были бы получены при сплошном исследовании того же объекта (т. е. при исследовании генеральной совокупности). Ошибки репрезентативности вытекают из самой сущности выборочного исследования. С помощью ошибок репрезентативности числовые характеристики выборочной совокупности распространяются на всю генеральную совокупность, то есть она характеризуется с учетом определенной погрешности. Величины ошибок репрезентативности определяются как объемом выборки, так и разнообразием признака. Чем

больше число наблюдений, тем меньше ошибка, чем больше изменчив признак, тем больше величина статистической ошибки. На практике для определения средней ошибки выборки в статистических исследованиях используются следующая формула:

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4.3)$$

где m — ошибка репрезентативности;

σ — среднее квадратическое отклонение;

n — число наблюдений в выборке (при числе наблюдений менее 30 в подкоренное выражение вносится значение $n-1$) [49].

В написанной прошивке подкоренное выражение в формуле (4.3) корректируется автоматически, в зависимости от количества отсчётов в скользящем среднем для каждого конкретного параметра.

Среднее квадратическое отклонение характеризует среднее отклонение всех вариант вариационного ряда от средней арифметической величины. Поскольку отклонения вариаций от среднего имеют значения с «+» и «-», то при суммировании они взаимоуничтожаются. Чтобы избежать этого, отклонения возводятся во вторую степень, а затем, после определенных вычислений, производится обратное действие — извлечение корня квадратного. Поэтому среднее отклонение именуется квадратическим [49].

Среднее квадратическое отклонение определяют по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.4)$$

где σ — среднее квадратическое отклонение;

n — число наблюдений в выборке;

x_i — i -й элемент выборки;

\bar{x} — среднее арифметическое выборки [50].

Реализовывать скользящее среднее на языке с нуля не пришлось. Была найдена библиотека «RunningAverage» [51, 52], реализующая быстрое вычисление скользящего среднего. Данная библиотека была дополнена методами для вычисления среднеквадратичного отклонения и стандартной ошибки. Часть исходного кода библиотеки и реализованные методы приведены в приложении А.

4.1.2 Получение данных о концентрации СО

Как было отмечено ранее, модуль ZE07-CO в режиме «по умолчанию» отправляет данные о концентрации угарного газа с интервалом в 1 секунду, поэтому работа с датчиком осуществляется следующим образом:

1. пропускаются все данные, которые есть в буфере программного UARTа, так как там могут содержаться фрагментированные данные;
2. ожидается следующий пакет данных от модуля;
3. данные считываются;
4. проверяется контрольная сумма данных;
5. если контрольная сумма совпала, данные передаются для вычисления скользящего среднего.

Пакеты с данными которые отправляет модуль состоят из 9 байт (таблица В 1), содержат контрольную сумму, которая вычисляется следующим образом:

$$\text{NOT}(\text{байт1} + \text{байт2} + \dots + \text{байт7}) + 1 \quad (4.5)$$

Концентрация угарного газа вычисляется по формуле:

$$(\text{«Верхний» канал} \times 256 + \text{«нижний» канал}) \times 0,1 \quad (4.6)$$

4.1.3 Получение данных о концентрации СО2

Согласно документации к датчику MH-Z14 [39], для получения данных о концентрации СО2 по протоколу UART, необходимо отправить датчику

запрос из 9 байт, на который датчик должен ответить так же 9 байтами (формат общения с датчиком приведён в таблицах В 2 и В 3). Последний байт в запросе и ответе является проверочным и вычисляется по формуле 4.5.

Значение концентрации CO₂ можно вычисляется из ответа по формуле:

$$\text{«Верхний» канал} \times 256 + \text{«нижний» канал} \quad (4.7)$$

Работа с датчиком осуществляется следующим образом:

1. пропускаются все данные, которые есть в буфере программного UARTа, так как там могут содержаться фрагментированные данные;
2. отправляется запрос датчику;
3. ожидается ответ;
4. данные считываются;
5. проверяется контрольная сумма данных;
6. если контрольная сумма совпала, данные передаются для вычисления скользящего среднего.

4.1.4 Получение данных об утечках пропана

В модуле FC-22 датчик MQ-4 подключён к аналоговому выходу с использованием нагрузочного резистора (1 КОм в используемом модуле), образуя с ним делитель напряжения. В документации к датчику [53] сказано, что итоговое значение концентрации газа находится из отношения сопротивления датчика, к его же сопротивлению в чистом воздухе (рисунок 4.1).

Так как для определения сопротивления необходимо знать точное значение опорного напряжения (внешнего), используется следующий метод:

1. переключаем опорное напряжение на внутреннее (согласно документации к микроконтроллеру [37], внутреннее опорное напряжение равно $1,1 \text{ В} \pm 0,1 \text{ В}$);
2. измеряем фактическое внутреннее опорное напряжение;

3. по фактическому и теоретическому значению внутреннего опорного напряжения, зная разрядность АЦП (10 бит), вычисляем фактическое значение внешнего опорного напряжения;
4. переключаем опорное напряжение обратно на внешнее [54].

Реализовывать описанный выше алгоритм самостоятельно не пришлось, функция была взята из репозитория на GitHub [55].

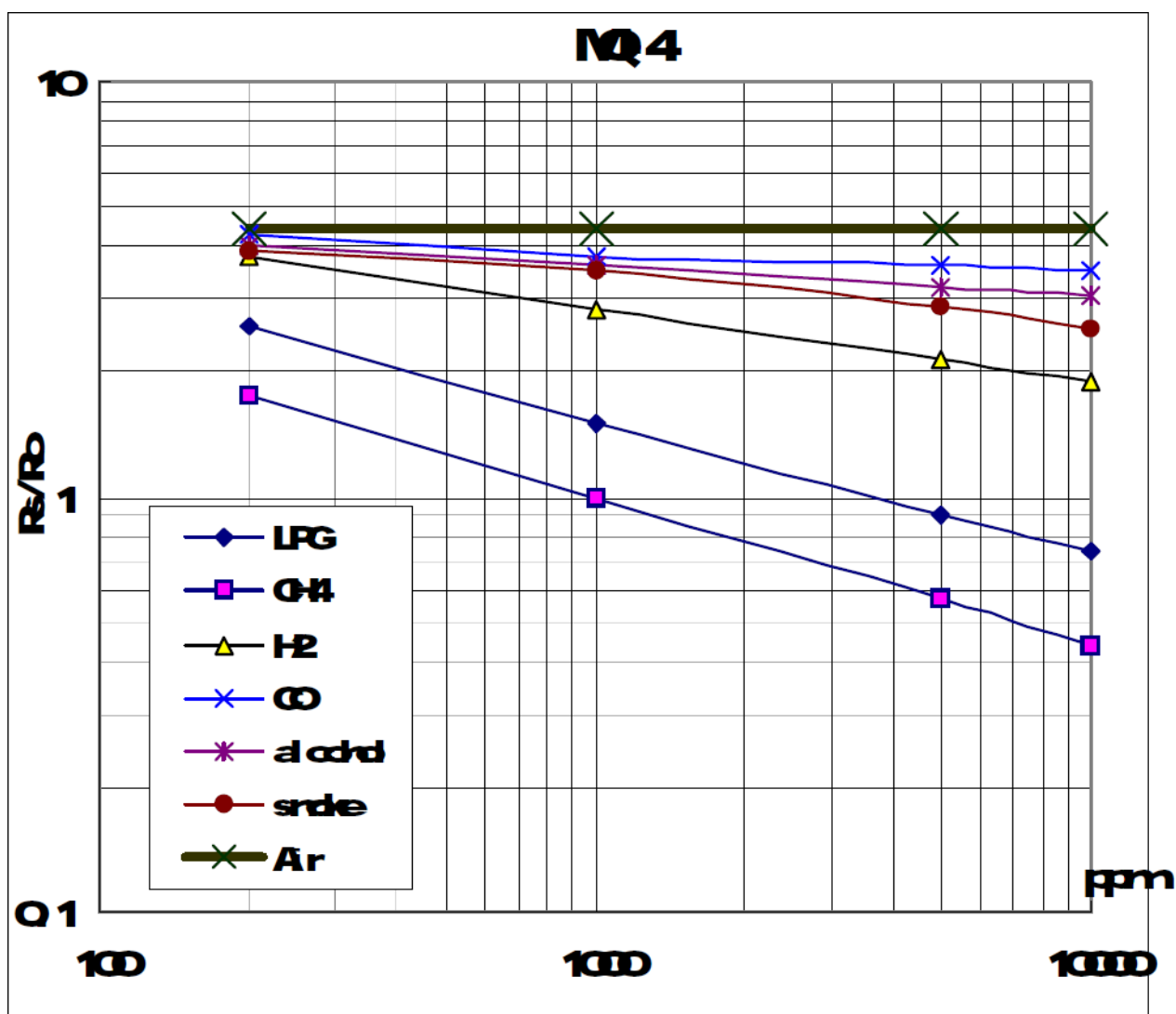


Рисунок 4.1 – Зависимость отношения сопротивлений датчика от концентрации газа

Расчёт сопротивления датчика производится по следующей формуле:

$$R_S = \frac{v_{cc} - \frac{v_{oMeasured} \times v_{cc}}{1023}}{\frac{v_{oMeasured} \times v_{cc}}{1023} * R_L} \quad (4.8)$$

где, R_S – сопротивление датчика, Ом;

v_{cc} – внешнее опорное напряжение, В;

$v_{oMeasured}$ – показания АЦП (от 0 до 1023);

R_L – сопротивление нагрузочного резистора, Ом.

Анализ графика, приведённого на рисунке 4.1, производился с помощью ПО WebPlotDigitizer [56]. Данное ПО позволило сделать выборку из 29 точек, узнать их точные координаты (рисунок 4.2).

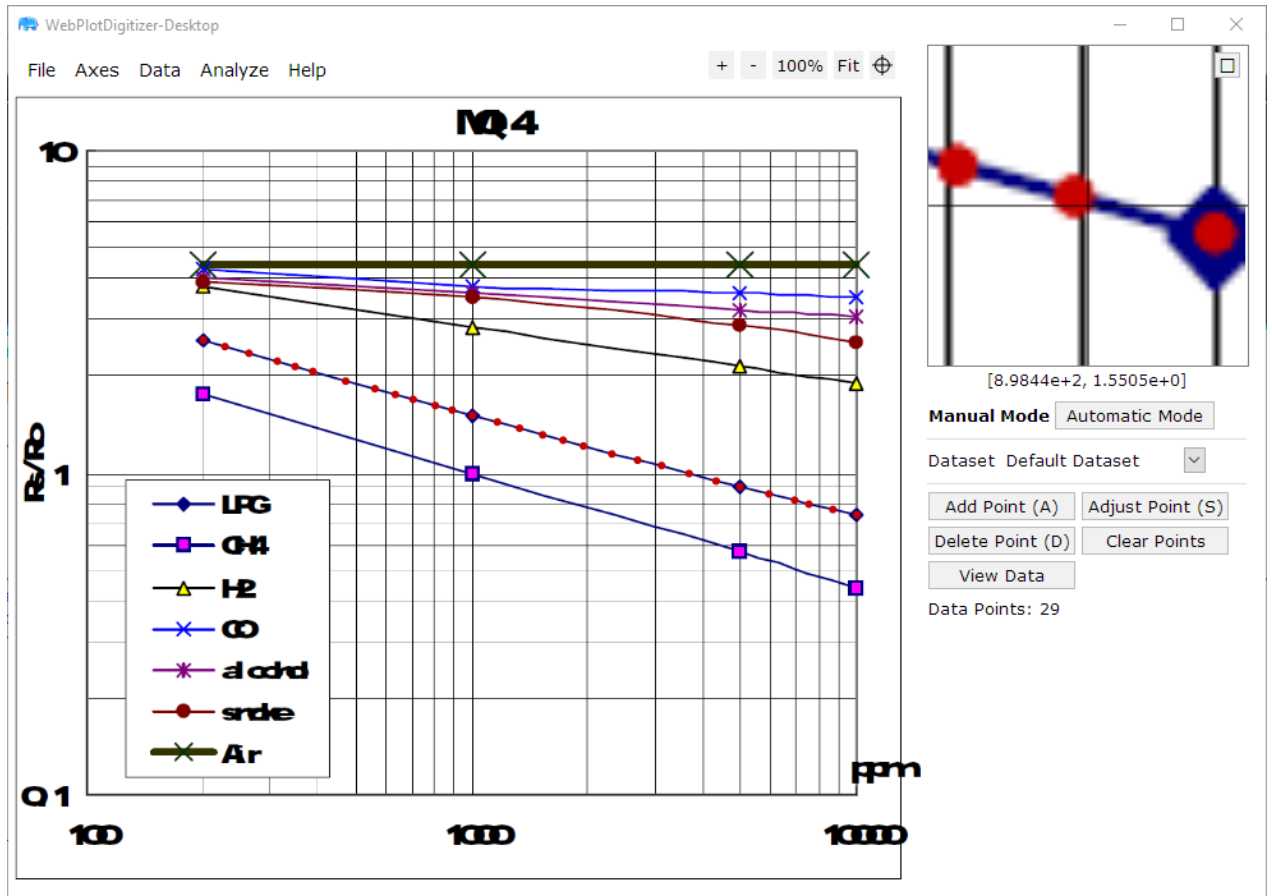


Рисунок 4.2 – Анализ графика в WebPlotDigitizer

Для интерполяции данных была построена степенная регрессионная модель с помощью онлайн инструмента [57]. Итоговая интерполирующая функция имеет вид:

$$\text{Концентрация газа} = 13,91826722 \times (R_S/R_O)^{-0,320860296} \quad (4.9)$$

Стоит отметить, что показания используемого датчика так же зависят от температуры и влажности воздуха (рисунок 4.3). Анализ зависимости R_S/R_O от влажности показал, что отношение изменяется практически линейно (уменьшается на 0,00288462 с каждым 1% влажности от базового значения в 33%). Зависимость R_S/R_O от температуры изменяется нелинейно. Для получения интерполирующей функции использовался онлайн инструмент [58]. Получившаяся функция, описывающая коэффициент при R_S/R_O , имеет вид:

$$k = 1,147618596 \times e^{-5,50023923 \times 10^{-3} \times Temp} \quad (4.10)$$

Полученные соотношения применены для корректировки данных, полученных с помощью формулы (4.9).

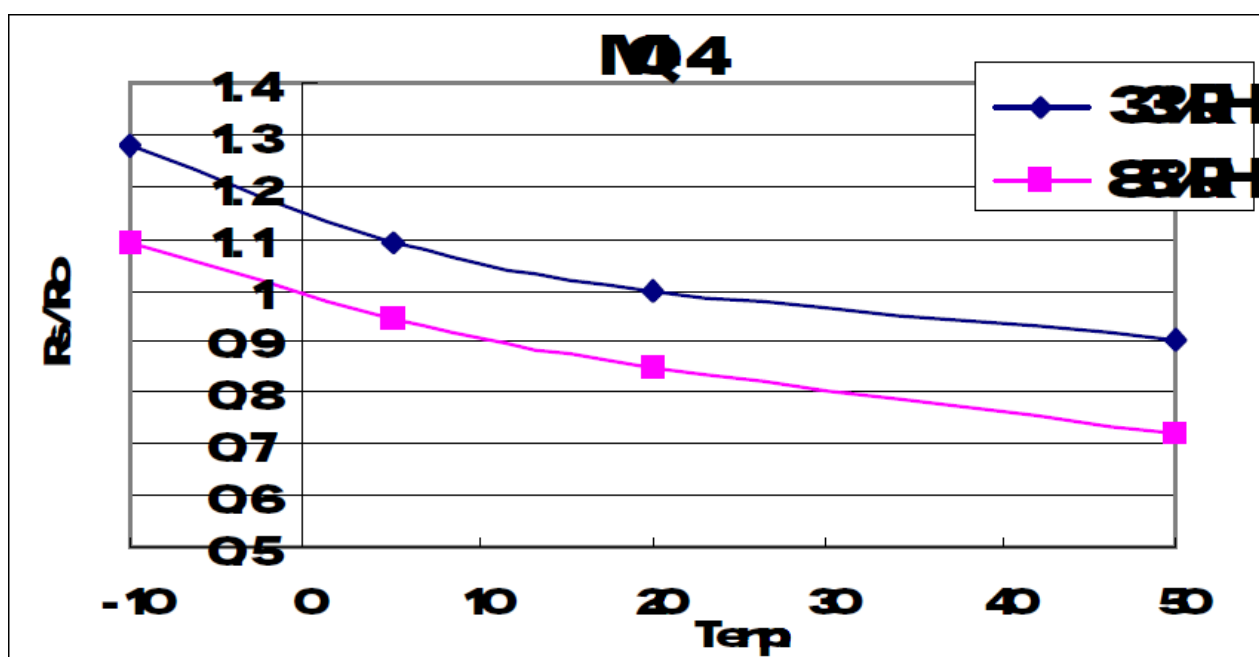


Рисунок 4.3 – Зависимость R_S/R_O от температуры и влажности

4.1.5 Получение данных о температуре и влажности

Считывание данных с датчика DHT22 осуществляется по уникальному для данного датчика протоколу, чем-то напоминающему протокол 1-wire. Протокол общения такой:

1. шина прижимается к 0 в течение 80мкс, после чего отпускается (это служит меткой запроса);
2. датчик откликается удерживанием линии в 1 течение 90мкс, и начинает передавать данные (каждый бит — это 0 в течение 50 мкс и 1 в течение 25 или 125 мкс);
3. датчик передаёт 2 байта данных влажности, 2 байта температуры и 1 байт — сумма первых 4 (CRC);
4. после завершения передачи (около 4 мс) датчик отпускает линию в состояние 1 [59].

Для работы с данным датчиком писать собственную библиотеку не пришлось. Для работы с датчиком была использована библиотека «DHT» содержащаяся в стандартном наборе библиотек Arduino IDE. Библиотека позволяет абстрагироваться от низкоуровневой работы с датчиком, получать данные с точностью до двух знаков после запятой.

4.1.6 Получение данных о концентрации взвешенных частиц

Согласно документации, к датчику взвешенных частиц [42], штатный режим работы датчика – импульсный. Светодиод внутри датчика необходимо зажигать на не менее чем на 320 микросекунд, выдерживать паузу до следующего включения светодиода не менее 9680 микросекунд (рисунок 4.4). Съём показателей должен осуществляться не ранее чем через 280 микросекунд после включения светодиода (рисунок 4.5).

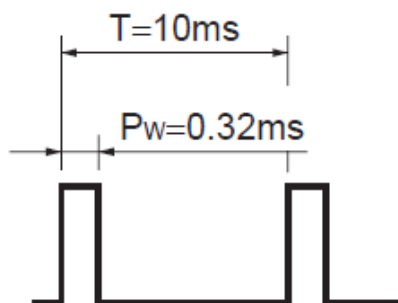


Рисунок 4.4 – Минимально необходимые задержки при работе с датчиком взвешенных частиц

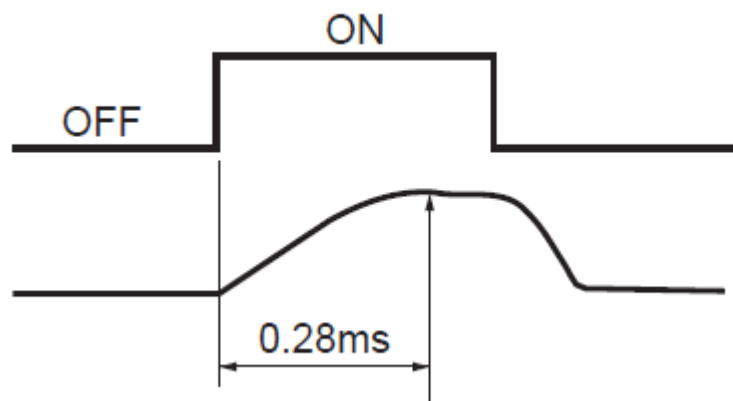


Рисунок 4.5 – Сравнение напряжения на датчике взвешенных частиц и отклика датчика

Так как все описанные выше операции не занимают большого количество времени, данный алгоритм был реализован с использованием функции `delayMicroseconds`, которая приостанавливает выполнение программы микроконтроллером на заданное количество микросекунд.

Согласно документации к датчику [42], концентрация взвешенных частиц в воздухе связана с напряжением на выходе датчика нелинейной зависимостью (рисунок 4.6). Для анализа графика вновь использовался `WebPlotDigitizer` [56], для интерполяции применялся онлайн инструмент (линейная регрессия) [60]. Итоговая функция имеет вид (рисунок 4.6):

$$y = 0,1672547404 \times x - 0,09215522988 \quad (4.11)$$

где, y – концентрация взвешенных частиц, мкг/м^3 ;

x – напряжение на выходе датчика, В.

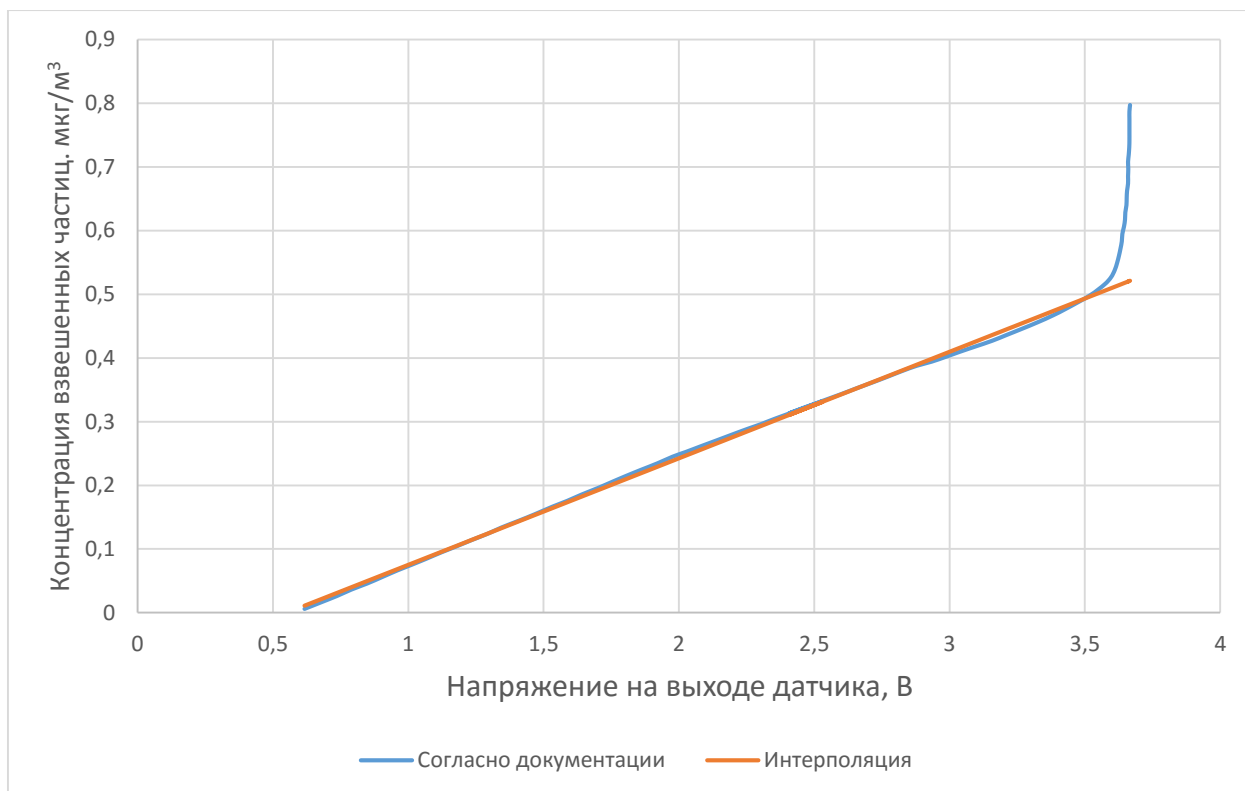


Рисунок 4.6 – Сравнение графиков функций, описывающих зависимость концентрации взвешенных частиц от напряжения на выходе датчика (согласно документации, интерполяция)

4.1.7 Формирование данных для отправки основному микроконтроллеру

Формирование строки с данными для экономии оперативной памяти микроконтроллера реализована с помощью C строк, хотя wiring поддерживает строки в формате C++. Готовая к отправке строка представляется собой блоки (по одному на каждый датчик), разделённые символом «|», и контрольную сумму, отделённую от данных символом «*». В каждом блоке содержится от двух до четырёх полей, разделённых символом «;», содержащие значение скользящего среднего, а также значение стандартной ошибки. При отсутствии данных (если буфер скользящего среднего ещё не заполнен), вместо данных вставляется «-1».

Контрольная сумма вычисляется простым сложением байтов, составляющих строку, по модулю 256, что обеспечивает теоретическую возможность обнаружения сбоев при передаче с вероятностью 256:1.

При вставке численных данных в строку с помощью функции `dtostrf` возникла проблема с появлением «ведущих» пробелов, увеличивающих длину передаваемой строки. Для решения этой проблемы была применена готовая функция [61] для удаления лишних пробелов.

4.2 Разработка прошивки для основного микроконтроллера

В функционал прошивки основного микроконтроллера входит:

- получение и анализ данных от дополнительного микроконтроллера;
- взаимодействие с ЖК-дисплеем;
- обработка запросов к web-интерфейсу;
- отправка данных модулю воспроизведения звука;
- отправка данных на MQTT-брокер.

Настройки микроконтроллера хранятся в специальной структуре, которая имеет следующие поля:

- имя wi-fi сети;
- пароль wi-fi сети;
- вкл./выкл. отправки данных MQTT брокеру;
- адрес MQTT-брокера;
- порт MQTT-брокера;
- логин MQTT-брокера;
- пароль MQTT-брокера;
- границы зелёной, желтой и красной зоны («уровня опасности») для всех отслеживаемых параметров;

- вкл./выкл. проверку, попадает ли значение параметра в доверительный интервал 95% (если не попадает, то «уровень опасности» изменяться не будет, оповещение не прозвучит).

Настройки при старте микроконтроллера загружаются с SD-карты, при изменениях параметров записываются на неё же. В случае отсутствия SD-карты, или её повреждения, будут использоваться настройки «по умолчанию» записанные в flash памяти микроконтроллера. Для работы с файлом конфигурации используется библиотека «ArduinoJson» [62].

В случае, если при включении устройства wi-fi сеть, заданная в настройках не будет найдена, будет создана точка доступа с именем «AirQuality». При подключении к ней web-интерфейс будет доступен по адресу *192.168.4.1*.

Часть исходного кода прошивки основного микроконтроллера приведена в приложении Г.

4.2.1 Получение и анализ данных от дополнительного микроконтроллера

Проверка поступления данных от дополнительного микроконтроллера производится раз в 500 миллисекунд. В первую очередь производится проверка контрольной суммы. Если проверка успешно пройдена, строка разбивается на блоки, а блоки на поля с данными. Разбиение производится с помощью функции getStringPartByNr взятой из репозитория на GitHub [63].

Для хранения данных в памяти микроконтроллера используется специальная структура, в которой хранится значение каждого отслеживаемого параметра и его стандартной ошибки с типом float, так же с типом string. Кроме того, для каждого отслеживаемого параметра хранится идентификатор, показывающий в какую из зон, попадает значение параметра. Под зоной подразумевается разделение шкалы каждого из параметров на классы по уровню опасности.

Разделение производится на три зоны: зелёную, желтую и красную. Границы зон «по умолчанию» заданы в соответствии с ГОСТ [15], санитарными нормами [18, 16], но могут быть изменены через web-интерфейс.

Если после приема данных были получены какие-то новые данные (а не только «-1»), то данные анализируются, после чего происходит их отправка на MQTT-брокер с помощью библиотеки PubSubClient [64].

При анализе данных проверяется, в какую зону попадает значение параметра, и, если значение попадает в красную зону, а ранее не попадало, запрос на воспроизведение оповещения добавляется в очередь (если звуковые оповещения включены).

4.2.2 Обработка запросов к web-интерфейсу

В качестве web-сервера в прошивке используется библиотека ESP8266WebServer, входящая в состав пакета совместимости [65] для микроконтроллеров esp8266 со средой Arduino IDE (и языком wiring).

Для взаимодействия с пользователем через web-интерфейс в прошивке микроконтроллера был реализован ряд обработчиков, часть из которых при запросе определённого URI генерирует XML файл с данными, а часть сохраняет настройки, переданные в качестве параметров.

Пример объявления обработчика:

```
HTTP.on("/setnetworksettings", handleSetNetworkSettings);
```

Пример обработчика:

```
{
    if (HTTP.args() == 0) return; //Если параметров нет
    if (HTTP.arg("SSID") != "")
    {
        Settings.SSIDCfg = HTTP.arg("SSID");
    }
    if (HTTP.arg("WifiPass") != "")
    {
        Settings.WifiPass = HTTP.arg("WifiPass");
    }
    SaveSettings();
}
```

4.2.3 Взаимодействие с модулем воспроизведения звука

Для организации очереди воспроизведения (структура FIFO) была использована библиотека LinkedList [66].

В каждой итерации основного цикла микроконтроллер проверяет:

- выключены ли звуковые оповещения;
- пуста ли очередь воспроизведения;
- воспроизводится ли сейчас файл.

Если все три проверки закончатся отрицательно, модулю DFPlayer Mini будет отправлено задание воспроизвести следующий файл из очереди. Отправка задания происходит с помощью библиотеки DFPlayer-Mini-mp3 [67].

4.3 Разработка web-интерфейса

Web-интерфейс устройства служит для настройки параметров устройства. Через web-интерфейс так же есть возможность отслеживать текущие показатели, собираемые устройством.

В качестве web-интерфейса используются html страницы с JavaScript кодом. Базовый шаблон html шаблон с css стилями был взят с сайта html5webtemplates [68], после чего частично переработан. Иконка для web-интерфейса взята с сайта iconfinder [69]. Страница-файловый менеджер взята из [70].

Общий алгоритм работы JavaScript кода на страницах web-интерфейса схож. У тега «<body>» указан обработчик события «onload», который при срабатывании выполняет запрос к заданному URI, после чего разбирает полученные от микроконтроллера данные и заполняет ими поля формы с настройками.

Так же обработчик события «onload» вызывает ещё одну функцию, которая начинает вызывать сама себя с заданным интервалом. Эта функция периодически получает от микроконтроллера данные о времени работы микроконтроллера, а также о том, установлено ли соединение с MQTT-

брокером. На главной странице дополнительно подгружаются данные о текущих значениях отслеживаемых устройством параметрах.

Часть JavaScript кода приведена в приложении Д.

На стороне основного микроконтроллера за обработку запросов отвечает библиотека «ESP8266WebServer» [71], часть стандартных функций взята из примеров, поставляемых вместе с библиотекой [72].

4.4 Разработка графического интерфейса

Разработка графического интерфейса осуществлялась в специальной среде разработки для экранов Nextion «Nextion Editor» [73]. Для визуализации проектируемого интерфейса была построена схема с изображенными на ней формами и связями между ними (рисунок 4.8).

В Nextion Editor'е были созданы окна интерфейса (рисунок 4.7), заданы обработчики для кнопок позволяющие перемещаться между экранами. Так же были разработаны окна с цифровой и текстовой клавиатурой (редактирование строки данных реализовано исключительно средствами экрана). Все остальные обработчики были заданы на стороне основного микроконтроллера.

Работа с экраном велась с использованием библиотеки NeoNextion [74]. Были созданы специальные переменные, описывающие элементы интерфейса, с которыми будет осуществляться взаимодействие, переменным были поставлены в соответствие обработчики, которые будут вызваны при взаимодействии пользователя с элементом управления. Изменение какого-либо параметра пользователем обрабатывается следующим образом:

1. при нажатии пользователя на элемент управления на стороне микроконтроллера вызывается обработчик, запоминается идентификатор элемента;
2. пользователь перенаправляется на экран с соответствующей клавиатурой (с помощью триггера в интерфейсе);

3. после того, как пользователь закончил ввод данных, пользователь перенаправляется на главный экран (с помощью триггера в интерфейсе);
4. обработчик на стороне микроконтроллера считывает поле данных (все текстовые поля с которыми осуществляется работа, для удобства заданы на стороне экрана как глобальные переменные), и в зависимости от значения идентификатора, запомненного ранее, изменяется тот или иной параметр в настройках;
5. настройки сохраняются, данные раздела, в котором был изменён параметр, повторно записываются в переменные экрана.



Рисунок 4.7 – Разработка интерфейса в Nextion Editor

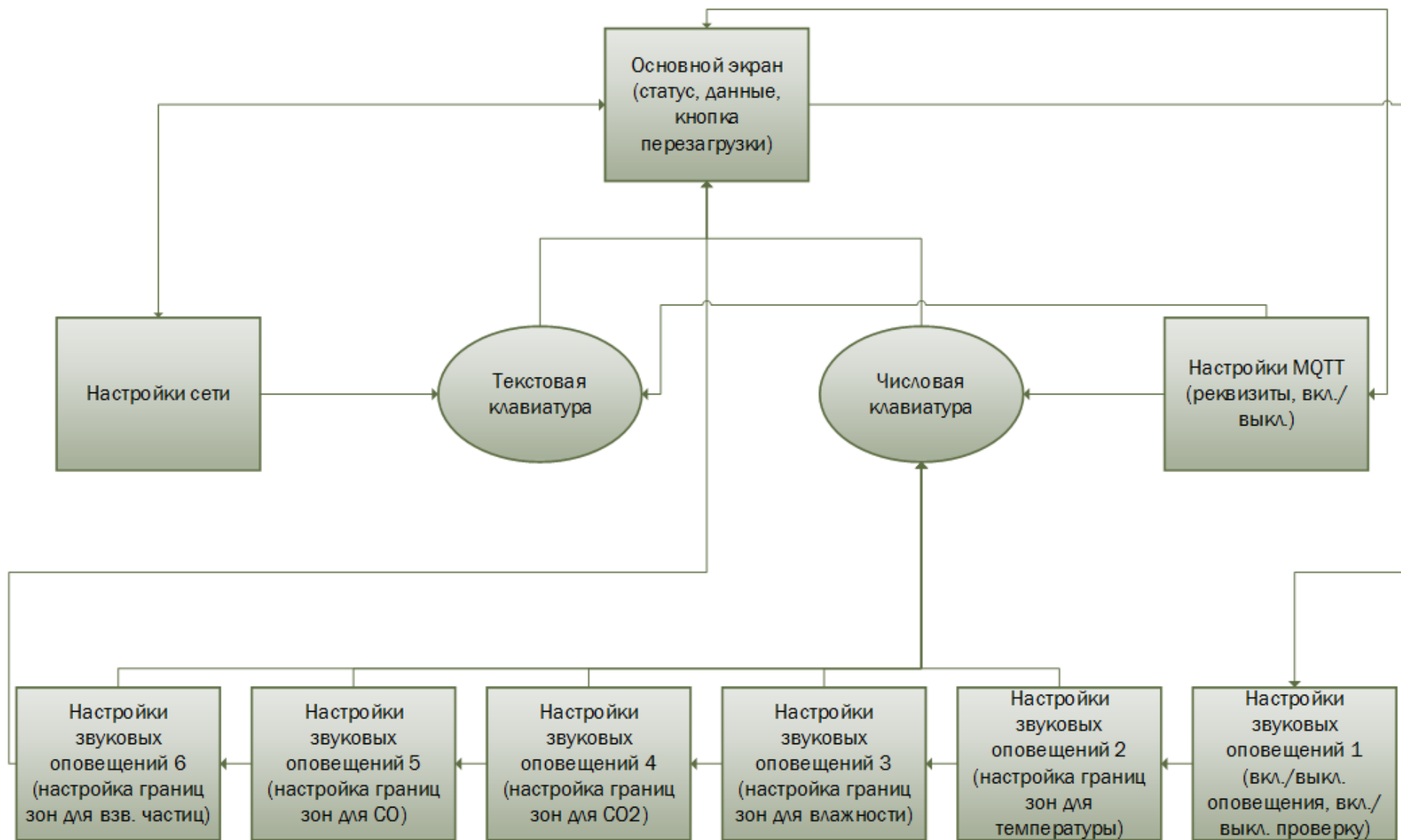


Рисунок 4.8 – Схема экранов графического интерфейса и переходы между ними

5 РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

5.1 Введение

5.1.1 Область применения

Данное руководство предназначено для помощи при настройке и эксплуатации устройства пользователем.

5.1.2 Краткое описание возможностей

Аппаратно-программный комплекс (далее устройство) предназначен для отслеживания следующих параметров окружающей среды:

- температура;
- влажность;
- концентрация CO₂;
- концентрация CO;
- количество взвешенных частиц в воздухе.

Так же устройство способно детектировать утечки природного газа. В случае превышения параметрами заданных показателей, а также при выявлении утечки природного газа, способно произвести звуковое информирование.

Устройство способно передавать собираемые данные по протоколу MQTT для дальнейшей машинной обработки.

5.1.3 Уровень подготовки пользователя

Для взаимодействия с устройством через web-интерфейс необходим опыт работы с ПО Google Chrome. Никаких дополнительных специальных требований к пользователю системы не предъявляется.

Для настройки интеграции с другими информационными системы пользователь должен обладать базовыми знаниями о протоколе MQTT или о об архитектуре REST (Representational State Transfer – передача состояния представления) взаимодействия.

5.2 Назначение и условия использования устройства

Устройство предназначено для предупреждения людей, находящихся в жилых помещениях об отклонениях в отслеживаемых показателях отгружающей среды от нормы, тем самым предотвращая возможные негативные последствия для жизни и здоровья людей.

Так же устройство может быть использовано как поставщик данных об окружающей среде для систем умных домов, а также для автоматизированных систем вентиляции. Данная функция доступна только при условии того, что устройство находится в зоне покрытия wi-fi сети, в сети есть MQTT-брокер, автоматизированные системы способны получать данные по протоколу MQTT.

В качестве альтернативного канала получения данных от устройства, возможно использование *http GET* запросов, но в таком случае, частота запросов не должна превышать 5 секунд. При этом одновременный доступ к web-интерфейсу устройства с помощью браузера является нежелательным, и может привести к замедлению работы устройства.

Устройство предназначено для эксплуатации при температуре выше 0 °C и ниже 60 °C при относительной влажности не более 70 %.

5.3 Подготовка к работе

5.3.1 Дополнительное ПО

Для настройки устройства, а также для получения данных через web-интерфейс используется браузер Google Chrome. Он доступен для загрузки по адресу: <https://www.google.ru/chrome/browser/>.

5.3.2 Порядок проверки работоспособности

Для проверки работоспособности устройства необходимо:

1. Подключить блок питания устройства в сеть 220 В.

2. Убедиться, что на экране устройства отобразился графический интерфейс (рисунок 5.1).
3. В строке состояния на экране (№1 на рисунке 5.1) Должен появиться любой текст отличный от «-».

В случае возникновения проблем смотрите раздел решение проблем.

5.3.3 Настройка подключения к wi-fi сети

Индикатором подключения к wi-fi сети является квадратик отображаемый на экране устройства (№3 на рисунке 5.1). Если подключение к wi-fi сети было успешно, то квадратик имеет зелёный цвет, если нет, то красный. В случае невозможности подключения к wi-fi сети устройство создаёт открытую точку доступа с именем «*AirQuality*», где web-интерфейс доступен по адресу *192.168.4.1*.

Для настройки подключения через графический интерфейс необходимо:

1. Нажать на кнопку «Настр. WI-FI» на главном экране (№11 на рисунке 5.1).
2. Нажать на поле (№1 на рисунке 5.2) напротив надписи SSID.
3. При помощи появившейся клавиатуры (рисунок 5.10) ввести имя wi-fi сети (кнопка «C» стирает введённые данные, кнопка «<<» удаляет один символ, кнопка «St» меняет регистр клавиатуры). Подтверждение ввода осуществляется кнопкой «ОК» (№2 на рисунке 5.10).
4. Повторно нажать на кнопку «Настр. WI-FI», задать пароль от wi-fi сети аналогичным образом (№2 на рисунке 5.2).
5. Перезагрузить устройство (№1 на рисунке 5.1).

Внимание: web-интерфейс является вторичным. Загрузка страниц интерфейса может происходить до 2,5 минут.

Для настройки подключения через web-интерфейс необходимо:

1. Подключиться к открытой wi-fi сети «*AirQuality*».

2. В браузере Google Chrome перейти по адресу *192.168.4.1*. Должен отобразиться такой же интерфейс как на рисунке 5.12. Если этого не произошло, то смотрите пункт решение проблем.
3. Перейти на страницу «Настройки сети», которая находится в панели навигации (№1 на рисунке 5.12).
4. На странице «Настройки сети» (рисунок 5.13) ввести имя сети в поле под номером 2, а пароль в поле номер 3, после чего нажать на кнопку «Сохранить настройки» (№4 на рисунке 5.13).
5. Перейти на страницу «Служебное», нажать на кнопку «Перезагрузить устройство» (№4 на рисунке 5.16).

5.3.4 Настройка подключения к MQTT-брокеру

Индикатором подключения к MQTT-брокеру является квадратик отображаемый на экране устройства (№4 на рисунке 5.1). Если подключение к MQTT-брокеру было успешно, то квадратик имеет зелёный цвет, если нет, то красный.

Внимание: если использование функции передачи данных по протоколу MQTT не планируется, убедитесь, что данная опция отключена. Для этого необходимо нажать на кнопку «Настр. MQTT» на главном экране графического интерфейса (№12 на рисунке 5.1), убедиться, что кнопка «Выключит MQTT» (№1 на рисунке 5.3) находится во включённом состоянии. Если настройка производится через web-интерфейс, то данную опцию можно найти на странице «Настройки MQTT» (№2 на рисунке 5.14).

Сообщения будут публиковаться в теме «*Air*» в подтемах со следующими именами:

- *Temperature*;
- *Temperature_Error*;
- *Humidity*;
- *Humidity_Error*;

- *CO2*;
- *CO2_Error*;
- *CO*;
- *CO_Error*;
- *Dust*;
- *Dust_Error*.

В подтемы с постфиксом «*Error*» публикуются данные о средней ошибке соответствующего параметра.

Для настройки подключения через графический интерфейс необходимо:

1. Нажать на кнопку «Настр. MQTT» на главном экране (№12 на рисунке 5.1).
2. Последовательно нажимая на поля, помеченные как 2,3,4 и 5 на рисунке 5.3 задать параметры подключения. После задания каждого параметра будет происходить возврат на главный экран. Необходимо выполнять действия с первого пункта пока не будут указаны все реквизиты.
3. Если была включена опция «Выключить MQTT» (№1 на рисунке 5.2), то её необходимо выключить.

Внимание: web-интерфейс является вторичным. Загрузка страниц интерфейса может происходить до 2,5 минут.

Для настройки подключения через web-интерфейс необходимо:

1. В браузере Google Chrome перейти по адресу ip адресу по которому устройство доступно в вашей сети (уточните у вашего системного администратора) Должен отобразиться такой же интерфейс как на рисунке 5.12. Если этого не произошло, то смотрите пункт решение проблем.
2. Перейти на страницу «Настройки MQTT», которая находится в панели навигации (№1 на рисунке 5.12).

3. На странице «Настройки MQTT» (рисунок 5.14) ввести реквизиты для подключения к MQTT-брокеру (№3, №4, №5, №6 на рисунке 5.14), после чего нажать на кнопку «Сохранить настройки» (№4 на рисунке 5.14).
4. Если была включена опция «Выключить MQTT» (№2 на рисунке 5.14), то её необходимо выключить.
5. Если подключение к MQTT-брокеру с заданными реквизитами было успешно, то в течение 10 секунд на панели состояния (№8 на рисунке 5.14) появится сообщение, что соединение установлено.

5.3.5 Настройка оповещений

Программное обеспечение устройства подразделяет значения отслеживаемых параметров на зелёную, желтую и красную зону в зависимости от того, в какой из установленных в настройках интервалов попадает значение параметра. Значения параметров «по умолчанию» заданы с учётом государственных стандартов и санитарных норм, действующих в РФ.

Если в настройках включены звуковые оповещения, то при попадании значения отслеживаемого параметра в красную зону будет воспроизведено голосовое оповещение.

Для уменьшения вероятности ложного срабатывания предусмотрена статистическая проверка, попадет ли значение параметра в 95% доверительный интервал.

Настройка через графический интерфейс осуществляется через серию экранов (рисунки 5.4 – 5.9), попасть на которую можно нажав кнопку «Настр. оповещений» (№13 на рисунке 5.1). На первом экране (рисунок 5.4) осуществляется включение и выключение звуковых оповещений, а также включение и выключение статистической проверки данных. Переход к следующему экрану в серии осуществляется с помощью кнопки «Дальше» (4 на рисунке 5.4). На всех следующих экранах в серии можно изменить границы зон. Для этого необходимо нажать на тот параметр, который необходимо изменить, ввести новое значение на появившейся клавиатуре (рисунок 5.11),

подтвердить внесение изменений с помощью кнопки «Готово» (№5 на рисунке 5.11)

В web-интерфейсе настройка оповещений осуществляется на вкладке «Настройки оповещений» (рисунок 5.15). Переключателями, отмеченными 2 и 3 на рисунке 5.15, осуществляется включение и выключение звуковых оповещений, а также включение и выключение статистической проверки данных. В поля с 4 по 31 при загрузке страницы загружаются текущие настройки границ зон. В случае модификаций каких-либо значений или изменении позиций переключателей сохранение изменений осуществляется нажатием на кнопку «Сохранить настройки» (№34 на рисунке 5.15).

5.4 REST интерфейс устройства

Внимание: отправка запросов к устройству чаще одного раза в пять секунд не рекомендуется!

5.4.1 Получение данных от устройства

Устройство отвечает на GET запросы данными в формате XML. Поддерживаются следующие запросы:

- */xml*
- */alarmsettings*
- */networksettings*
- */mqttsettings*

5.4.1.1 Получение текущих значений отслеживаемых параметров

Для получения текущих значений отслеживаемых параметров необходимо выполнить GET запрос к URI */xml*. В ответе будет содержаться текущие значения отслеживаемых параметров, а также в какую зону попадают значения (0 – нет данных, 1 – зелёная зона, 2 – желтая зона, 3 – красная зона). Кроме того, в ответе будут содержаться данные о времени бесперебойной работы устройства, и о том, установлено ли соединение с MQTT-брокером (1 или 0). Пример ответа устройства:

```
<Result>
<uptime>01:14:41</uptime>
<Temperature>26.90</Temperature>
<TemperatureState>1</TemperatureState>
<Humidity>31.53</Humidity>
<HumidityState>1</HumidityState>
<CO2>782.00</CO2>
<CO2State>1</CO2State>
<CO>0.50</CO>
<COState>1</COState>
<Dust>0.00</Dust>
<DustState>1</DustState>
<LPGState>2</LPGState>
<MQTTConnectionStatus>1</MQTTConnectionStatus>
</Result>
```

5.4.1.1.1 Получение текущих настроек сети

Для получения текущих настроек сети необходимо выполнить GET запрос к URI */networksettings*. В ответе будет содержаться текущие значения SSID и пароля. Пример ответа устройства:

```
<Result>
<SSID>vovikkk</SSID>
<WifiPass>Aionlaion</WifiPass>
</Result>
```

5.4.1.1.2 Получение текущих настроек MQTT

Для получения текущих настроек MQTT необходимо выполнить GET запрос к URI */mqttsettings*. В ответе будет содержаться текущие значения реквизитов для подключения к MQTT-брокеру (сервер, порт, логин, пароль), а также включена ли передача данных по протоколу MQTT (1 или 0). Пример ответа устройства:

```
<Result>
<MQTTDisabled>0</MQTTDisabled>
<MQTTServer>vovikkk.ru</MQTTServer>
<MQTTPort>1883</MQTTPort>
<MQTTLogin>AirMonitor</MQTTLogin>
<MQTTPassword>diplom</MQTTPassword>
</Result>
```

5.4.1.1.3 Получение текущих настроек оповещений

Для получения текущих значений параметров, отвечающих за границы зон, а также за выдачу звуковых оповещений необходимо выполнить GET запрос к URI */mqttsettings*. В ответе будет содержаться текущие значения границ зелёной, желтой и красной зоны, данные о том включены ли голосовые

оповещения (1 или 0), включена ли статистическая проверка данных (1 или 0).

Пример ответа устройства:

```
<Result>
<AlarmState>0</AlarmState>
<CheckErrorState>1</CheckErrorState>
<TemperatureGreenZoneUP>28.00</TemperatureGreenZoneUP>
<TemperatureGreenZoneDown>22.00</TemperatureGreenZoneDown>
<TemperatureYellowZoneUP>27.00</TemperatureYellowZoneUP>
<TemperatureYellowZoneDown>20.00</TemperatureYellowZoneDown>
<TemperatureRedZoneUP>100.00</TemperatureRedZoneUP>
<TemperatureRedZoneDown>-50.00</TemperatureRedZoneDown>
<HumidityGreenZoneUP>60.00</HumidityGreenZoneUP>
<HumidityGreenZoneDown>30.00</HumidityGreenZoneDown>
<HumidityYellowZoneUP>65.00</HumidityYellowZoneUP>
<HumidityYellowZoneDown>20.00</HumidityYellowZoneDown>
<HumidityRedZoneUP>100.00</HumidityRedZoneUP>
<HumidityRedZoneDown>0.00</HumidityRedZoneDown>
<CO2GreenZoneUP>1400.00</CO2GreenZoneUP>
<CO2GreenZoneDown>0.00</CO2GreenZoneDown>
<CO2YellowZoneUP>1400.00</CO2YellowZoneUP>
<CO2YellowZoneDown>1000.00</CO2YellowZoneDown>
<CO2RedZoneUP>10000.00</CO2RedZoneUP>
<CO2RedZoneDown>1400.00</CO2RedZoneDown>
<COGreenZoneUP>2.58</COGreenZoneUP>
<COGreenZoneDown>0.00</COGreenZoneDown>
<COYellowZoneUP>4.30</COYellowZoneUP>
<COYellowZoneDown>0.00</COYellowZoneDown>
<CORedZoneUP>10000.00</CORedZoneUP>
<CORedZoneDown>0.00</CORedZoneDown>
<DustGreenZoneUP>0.15</DustGreenZoneUP>
<DustGreenZoneDown>0.00</DustGreenZoneDown>
<DustYellowZoneUP>0.50</DustYellowZoneUP>
<DustYellowZoneDown>0.00</DustYellowZoneDown>
<DustRedZoneUP>999.00</DustRedZoneUP>
<DustRedZoneDown>0.00</DustRedZoneDown>
</Result>
```

5.4.2 Изменение настроек устройства

Изменение настроек устройства осуществляется с помощью http PUT запросов. При успешном выполнении запроса устройство ответит кодом 200: *OK*, при неудачном 400: *Bad Request*.

5.4.2.1 Изменение настроек сети

Для изменения настроек сети необходимо выполнить запрос по URI */setnetworksettings*. Параметрами запроса должны являться *SSID* и *WifiPass*. При необходимости, тот параметр изменение которого не требуется можно опустить.

5.4.2.2 Изменение настроек MQTT

Для изменения настроек сети необходимо выполнить запрос по URI */setmqttsettings*. Параметрами запроса должны являться:

- *disable* (отключён ли MQTT, *1* или *0*);
- *server*;
- *port*;
- *login*;
- *password*.

При необходимости, те параметры изменение которых не требуется можно опустить.

5.4.2.3 Изменение настроек оповещений

Для изменения границ зон, а также для включения и выключения голосовых оповещений и статистической проверки данных необходимо выполнить запрос по URI */setalarmsettings*. Параметрами запроса должны являться:

- *AlarmState* (включены ли голосовые оповещения, *1* или *0*);
- *CheckErrorState* (включена ли статистическая проверка данных, *1* или *0*);
- *TGZUP* (температура: верхняя граница зелёной зоны);
- *TGZDown* (температура: нижняя граница зелёной зоны);
- *TYZUP* (температура: верхняя граница желтой зоны);
- *TYZDown* (температура: нижняя граница желтой зоны);
- *TRZUP* (температура: верхняя граница красной зоны);
- *TRZDown* (температура: нижняя граница красной зоны);
- *HGZUP* (влажность: верхняя граница зелёной зоны);
- *HGZDown* (влажность: нижняя граница зелёной зоны);
- *HYZUP* (влажность: верхняя граница желтой зоны);
- *HYZDown* (влажность: нижняя граница желтой зоны);
- *HRZUP* (влажность: верхняя граница красной зоны);

- *HRZDown* (влажность: нижняя граница красной зоны);
- *CO2GZUP* (углекислый газ: верхняя граница зелёной зоны);
- *CO2GZDown* (углекислый газ: нижняя граница зелёной зоны);
- *CO2YZUP* (углекислый газ: верхняя граница желтой зоны);
- *CO2YZDown* (углекислый газ: нижняя граница желтой зоны);
- *CO2RZUP* (углекислый газ: верхняя граница красной зоны);
- *CO2RZDown* (углекислый газ: нижняя граница красной зоны);
- *COGZUP* (угарный газ: верхняя граница зелёной зоны);
- *COGZDown* (угарный газ: нижняя граница зелёной зоны);
- *COYZUP* (угарный газ: верхняя граница желтой зоны);
- *COYZDown* (угарный газ: нижняя граница желтой зоны);
- *CORZUP* (угарный газ: верхняя граница красной зоны);
- *CORZDown* (угарный газ: нижняя граница красной зоны);
- *DGZUP* (взвешенные частицы: верхняя граница зелёной зоны);
- *DGZDown* (взвешенные частицы: нижняя граница зелёной зоны);
- *DYZUP* (взвешенные частицы: верхняя граница желтой зоны);
- *DYZDown* (взвешенные частицы: нижняя граница желтой зоны);
- *DRZUP* (взвешенные частицы: верхняя граница красной зоны);
- *DRZDown* (взвешенные частицы: нижняя граница красной зоны).

При необходимости, те параметры изменение которых не требуется можно опустить.

5.4.3 Прочие запросы

Для перезагрузки устройства может использоваться *http PUT* запрос по URI */reset*. В случае получения запроса устройство ответит кодом *200: OK*, после чего основной микроконтроллер будет перезагружен.

5.5 Решение проблем

Таблица 5.1 – Проблемы и их возможные решения

Проблема	Возможные решения
Нет индикации на экране, устройства нет в сети.	Проверить наличие питания, работоспособность блока питания.
На экране долгое время не изменяются данные, хотя в web-интерфейсе изменяются.	Перезагрузить устройство по питанию.
После изменения параметров через графический интерфейс, настройки остаются прежними.	Перезагрузить устройство по питанию.
Как вернуть настройки к состоянию «по умолчанию»?	<p>Получить от разработчика оригинальный конфигурационный файл;</p> <p>В web-интерфейсе перейти на страницу «Служебное», нажать на ссылку «Загрузка файлов на SD-карту» (№3 на рисунке 5.16);</p> <p>Удалить файл <i>config.jsn</i> (нажать по файлу правой кнопкой и выбрать «Delete»);</p> <p>С помощью кнопки изображенной под номером 2 на рисунке 5.17 выбрать файл, полученный от разработчика;</p> <p>Нажать на кнопку «Upload» (4 на рисунке 5.17);</p> <p>Подождать 5 секунд;</p> <p>Перезагрузить устройство.</p>
После изменения настроек подключения к wi-fi сети, подключение к данной сети не происходит.	Перезагрузить устройство.

В случае, если описанные в таблице 5.1 проблемы не удалось решить указанным способом, или если проблема отсутствует в таблице свяжитесь с разработчиком устройства.



Рисунок 5.1 – Главный экран графического интерфейса

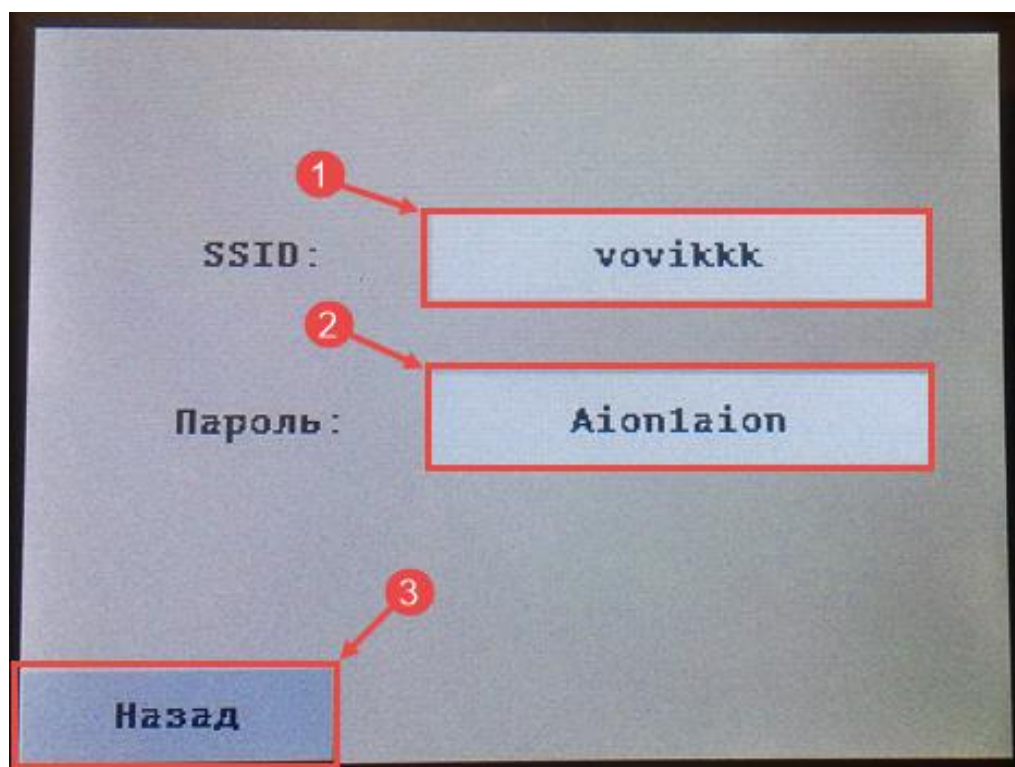


Рисунок 5.2 – Экран настроек wi-fi сети

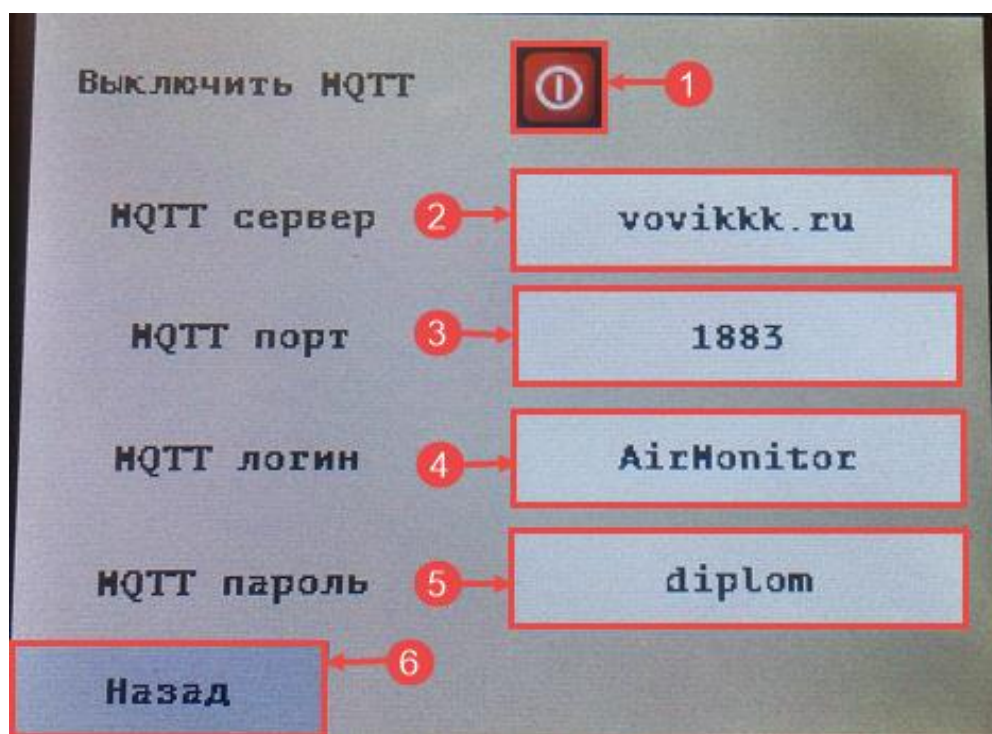


Рисунок 5.3 – Экран настроек MQTT

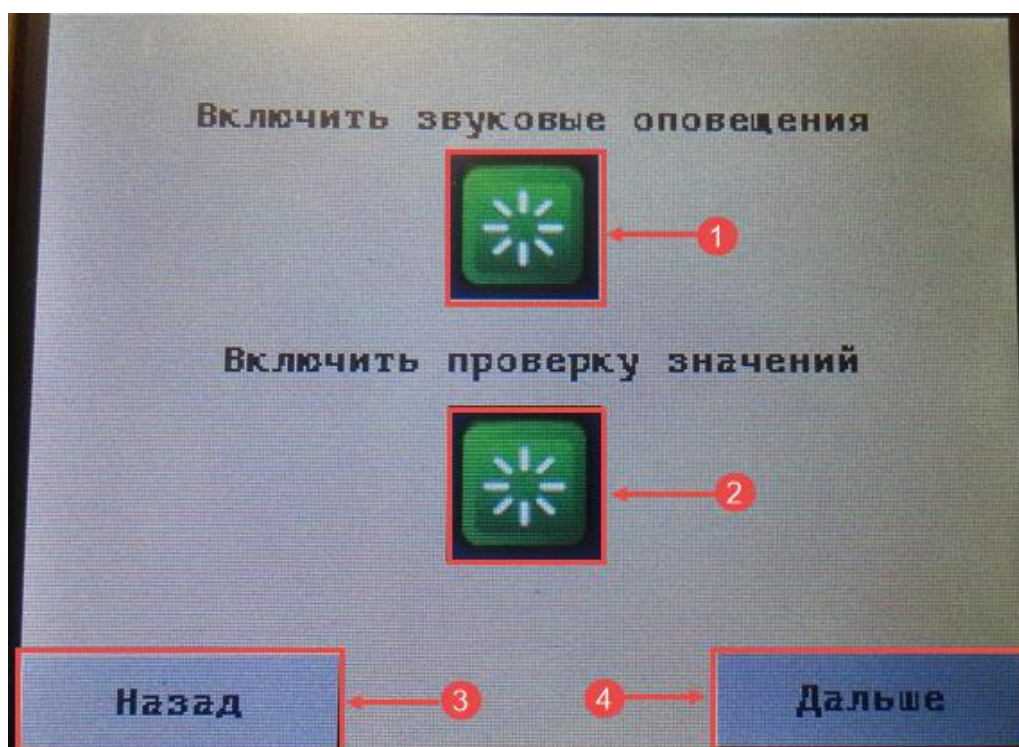


Рисунок 5.4 – Первый экран настроек оповещений

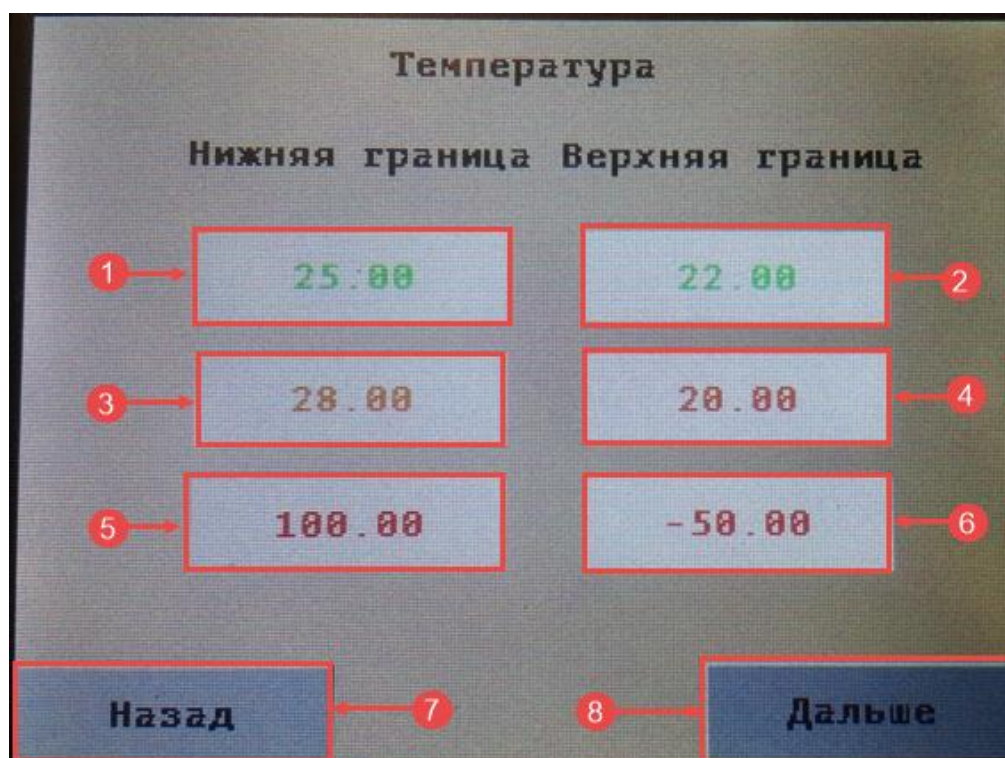


Рисунок 5.5 – Второй экран настроек оповещений

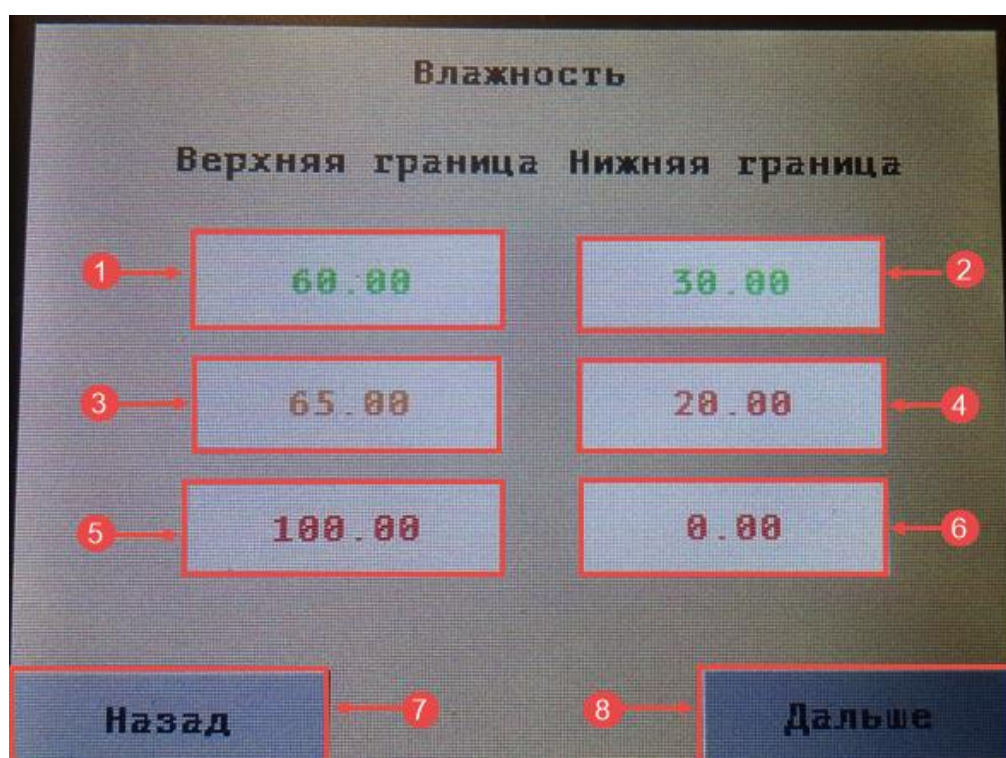


Рисунок 5.6 – Третий экран настроек оповещений

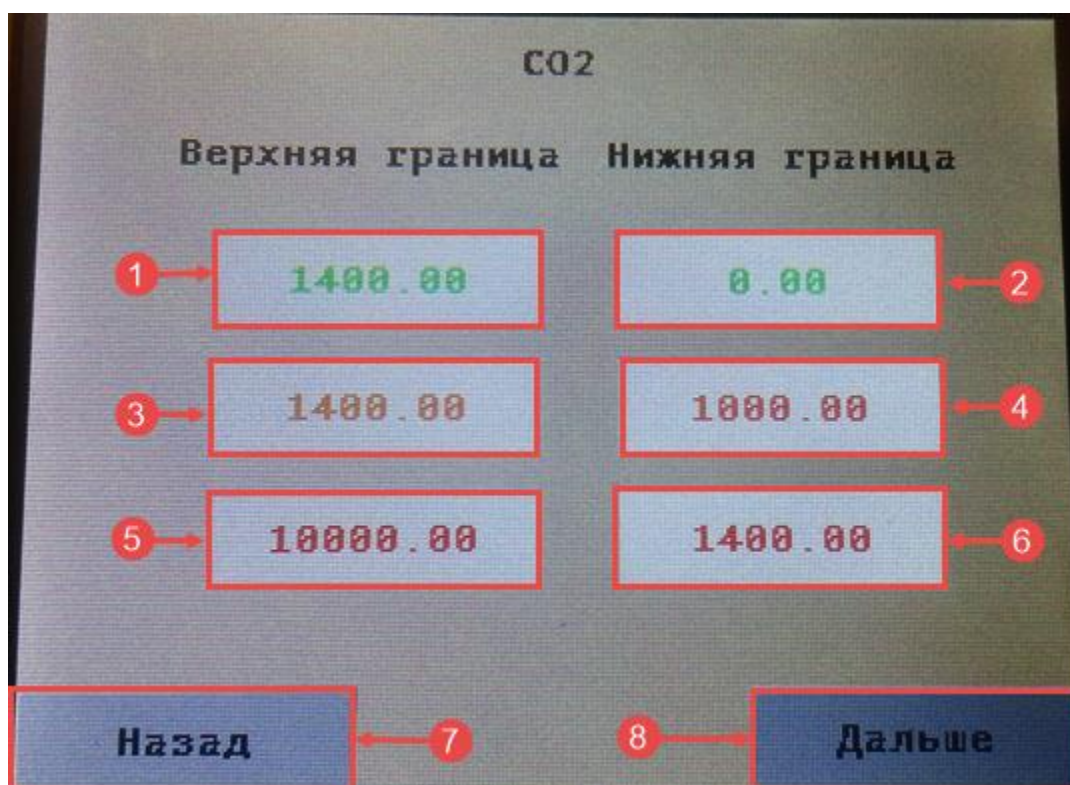


Рисунок 5.7 – Четвёртый экран настроек оповещений

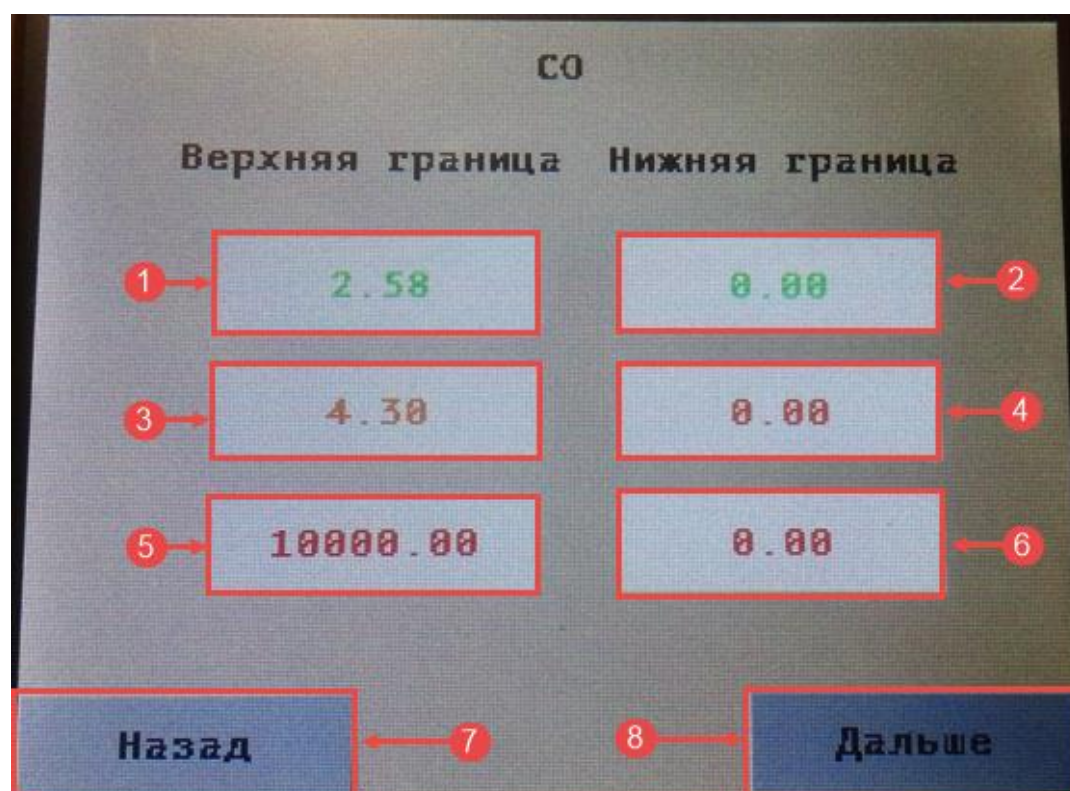


Рисунок 5.8 – Пятый экран настроек оповещений

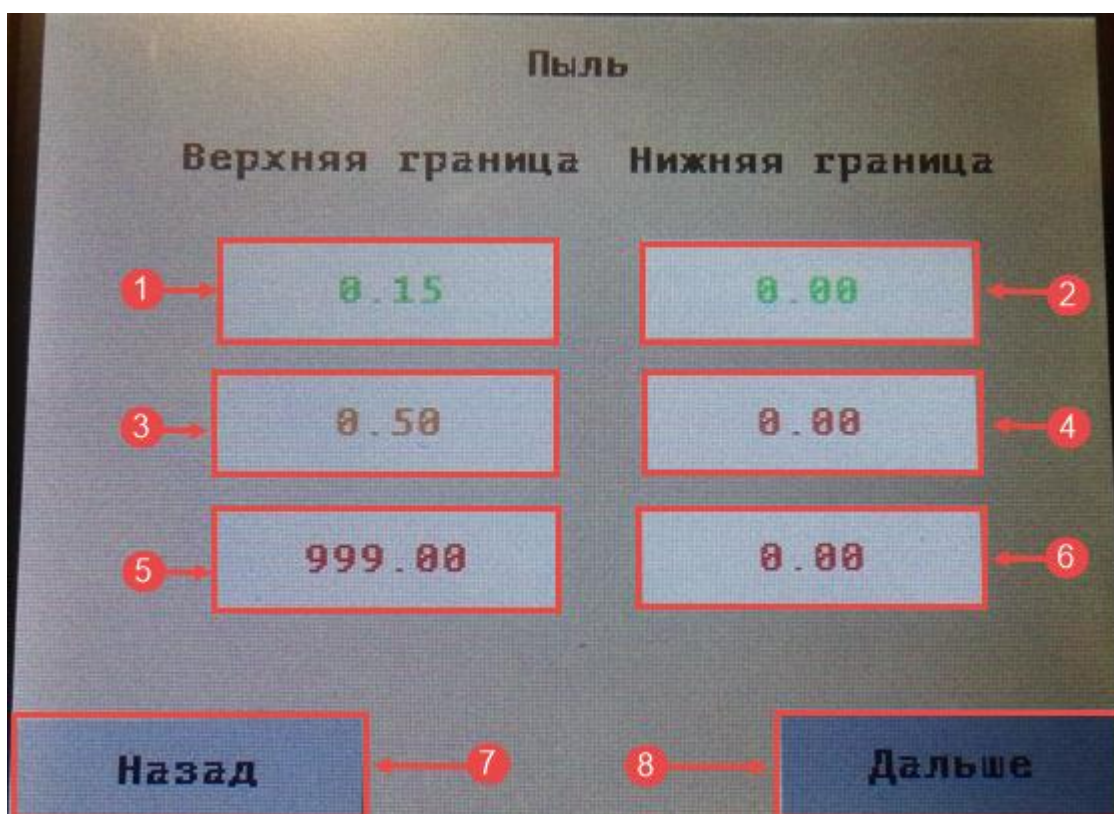


Рисунок 5.9 – Шестой экран настроек оповещений

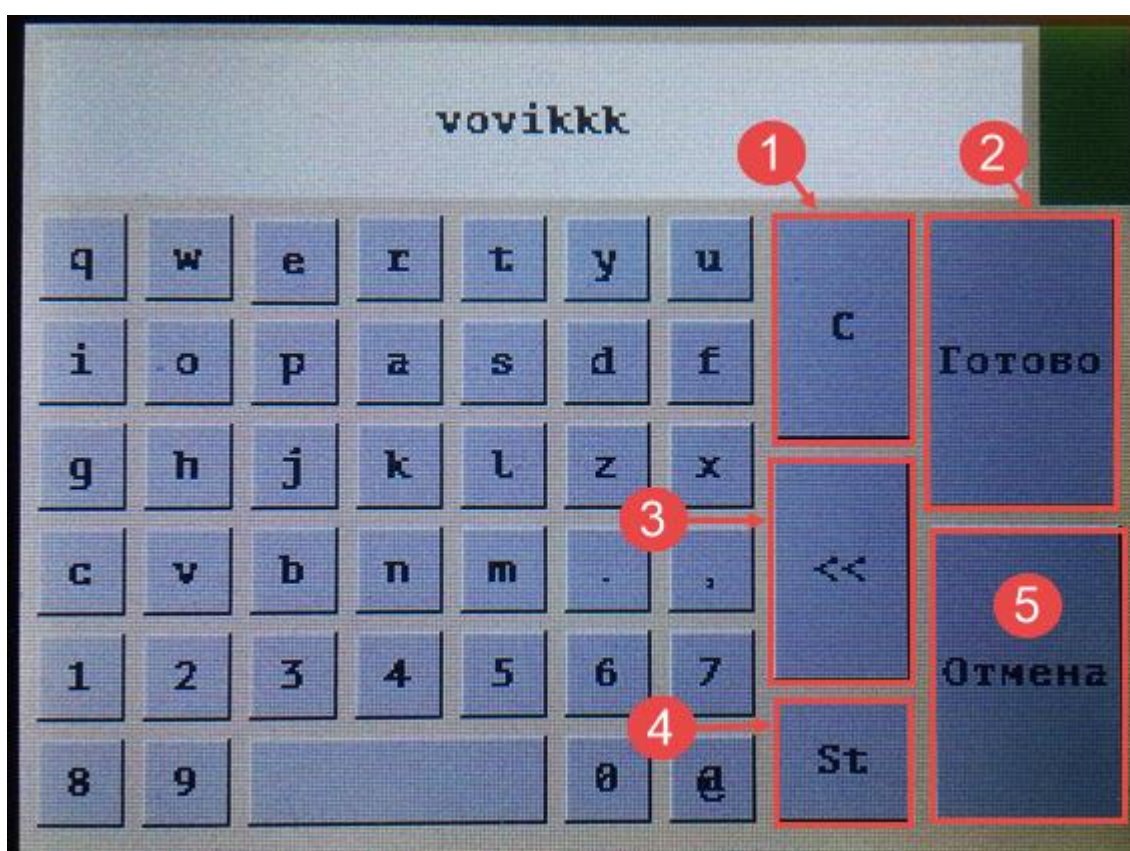


Рисунок 5.10 – Текстовая клавиатура



Рисунок 5.11 – Цифровая клавиатура

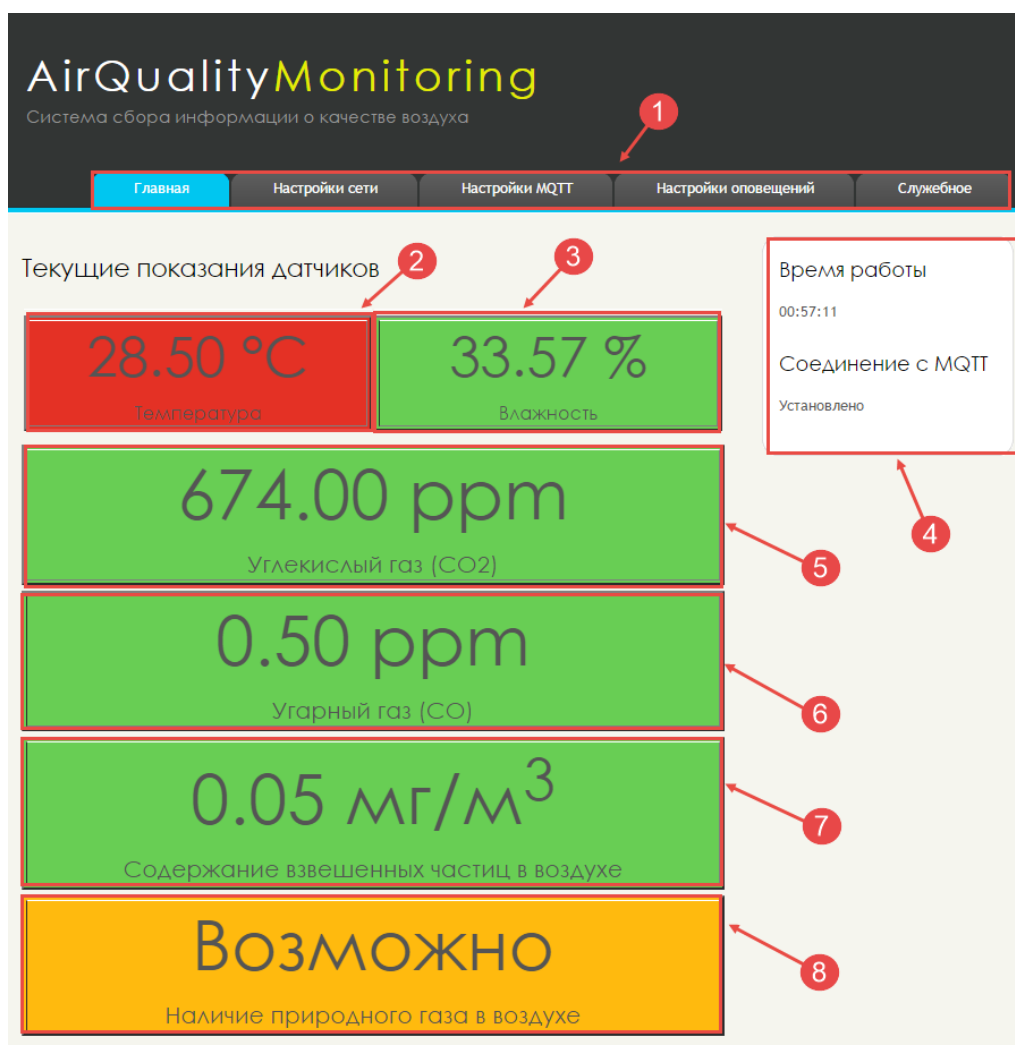


Рисунок 5.12 – Главная страница web-интерфейса



Рисунок 5.13 – Страница настроек wi-fi сети в web-интерфейсе

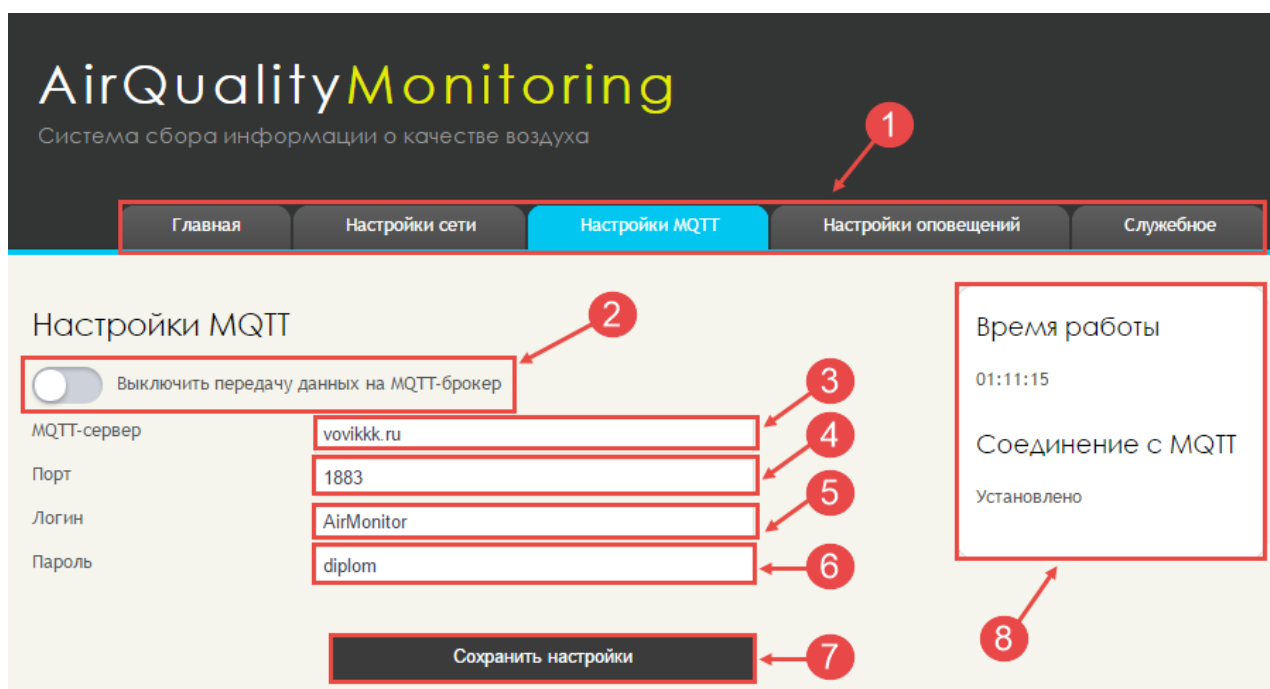


Рисунок 5.14 – Страница настроек MQTT в web-интерфейсе

AirQualityMonitoring

Система сбора информации о качестве воздуха

Главная

Настройки сети

Настройки MQTT

Настройки оповещений

Службное

Настройки звуковых оповещений

☒ Включить звуковые оповещения

☒ Включить проверку данных

ТЕМПЕРАТУРА

Верхняя граница зелёной зоны	25.00	°C
Нижняя граница зелёной зоны	22.00	°C
Верхняя граница желтой зоны	28.00	°C
Нижняя граница желтой зоны	20.00	°C
Верхняя граница красной зоны	100.00	°C
Нижняя граница красной зоны	-50.00	°C

ВЛАЖНОСТЬ

Верхняя граница зелёной зоны	60.00	%
Нижняя граница зелёной зоны	30.00	%
Верхняя граница желтой зоны	65.00	%
Нижняя граница желтой зоны	20.00	%
Верхняя граница красной зоны	100.00	%
Нижняя граница красной зоны	0.00	%

CO2

Верхняя граница зелёной зоны	1400.00	ppm
Нижняя граница зелёной зоны	0.00	ppm
Верхняя граница желтой зоны	1400.00	ppm
Нижняя граница желтой зоны	1000.00	ppm
Верхняя граница красной зоны	10000.00	ppm
Нижняя граница красной зоны	1400.00	ppm

CO

Верхняя граница зелёной зоны	2.58	ppm
Нижняя граница зелёной зоны	0.00	ppm
Верхняя граница желтой зоны	4.30	ppm
Нижняя граница желтой зоны	0.00	ppm
Верхняя граница красной зоны	10000.00	ppm
Нижняя граница красной зоны	0.00	ppm

ВЗВЕШЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ

Верхняя граница зелёной зоны	0.15	мг/м³
Нижняя граница зелёной зоны	0.00	мг/м³
Верхняя граница желтой зоны	0.50	мг/м³
Нижняя граница желтой зоны	0.00	мг/м³
Верхняя граница красной зоны	999.00	мг/м³
Нижняя граница красной зоны	0.00	мг/м³

Сохранить настройки

Время работы

01:18:47

Соединение с MQTT

Установлено

Рисунок 5.15 – Страница настроек оповещений в web-интерфейсе

75

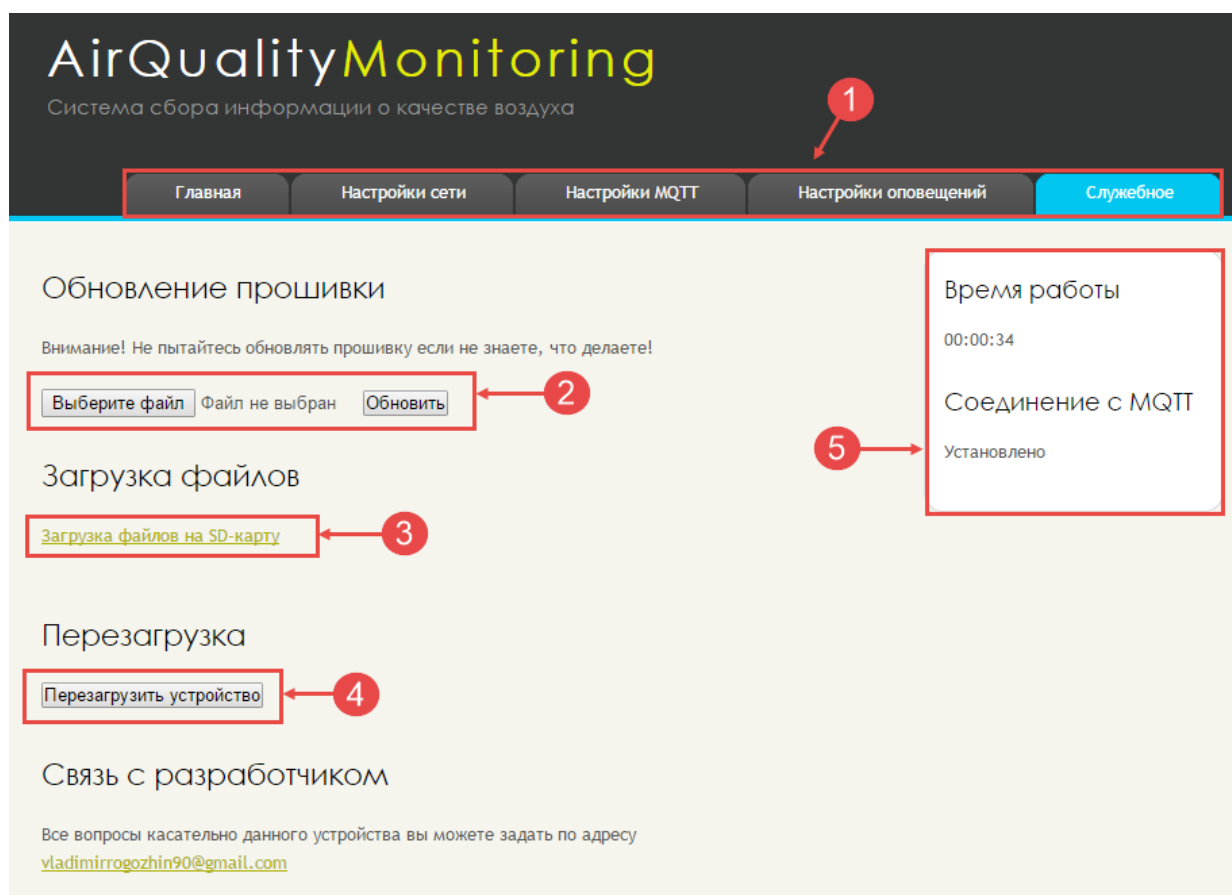


Рисунок 5.16 – Страница служебных операций в web-интерфейсе

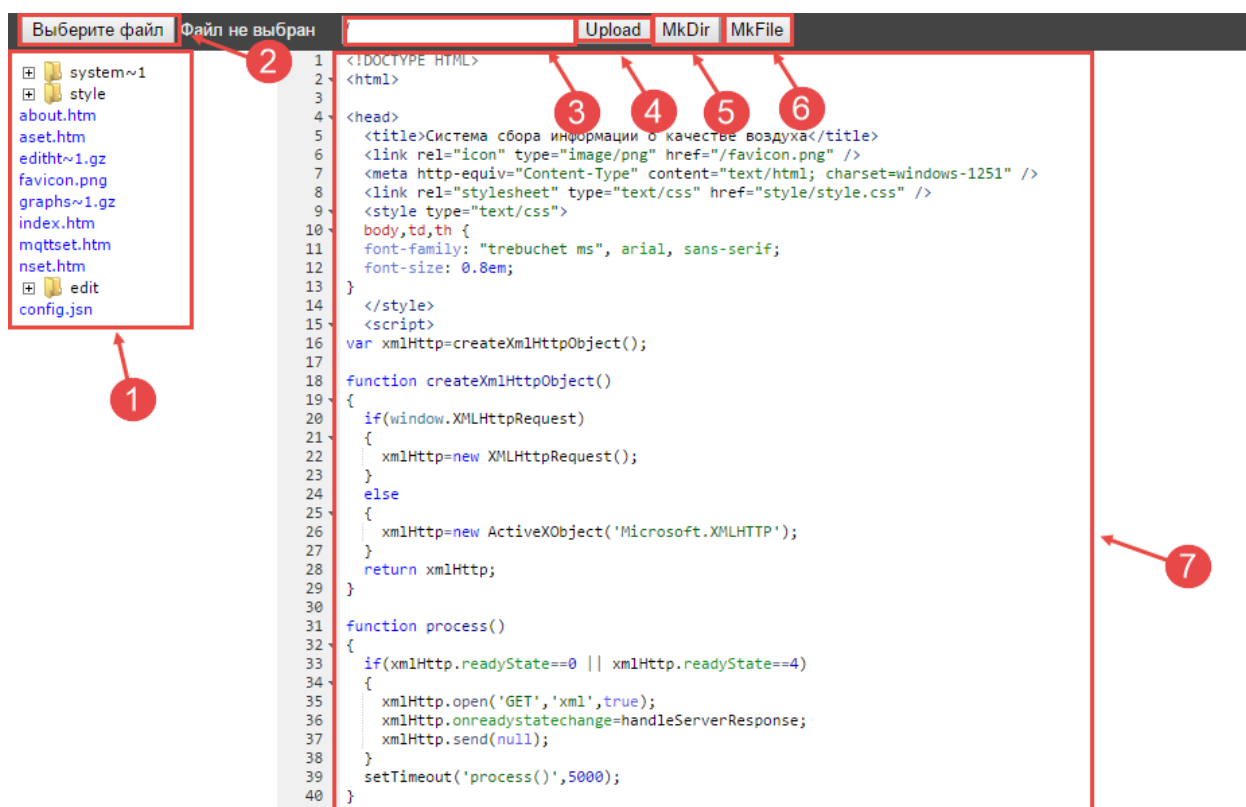


Рисунок 5.17 – Web-файловый менеджер

6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

6.1 Введение

6.1.1 Цель дипломного проекта

Целью дипломного проекта является разработка аппаратно-программного комплекса для мониторинга качества воздуха в жилых помещениях. В ходе работы был собран макет устройства, написано программное обеспечение для микроконтроллеров, входящих в состав устройства.

6.1.2 Характеристика рабочего места

Рабочее место располагается в комнате офисного помещения, находящегося в жилом доме (дом проекта 141СВ-014), оборудованном под рабочий кабинет. Рабочее место в помещении единственное. Помещение имеет площадь 16 м², высота потолка 2,75 м, общий объём помещения 44 м³, располагается в Чкаловском районе города Екатеринбург. Климат в г. Екатеринбург умеренно континентальный, с холодной зимой и тёплым летом. Среднегодовая температура — +3.5 °С с тенденцией к быстрому увеличению. Среднегодовое количество осадков — 537 мм [75], роза ветров приведена на рисунке 6.1. В помещении расположено одно рабочее место. Рабочее место оборудовано ПК. В состав ПК входят: системный блок типоразмера mid-tower, ЖК монитор с диагональю 23 дюйма, акустическая система. При необходимости рабочее место дооборудуется паяльной станцией Likei 936.

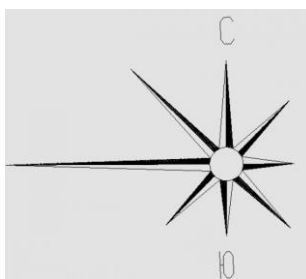


Рисунок 6.1 – Роза ветров

6.2 Безопасность проекта

6.2.1 Состояние воздуха рабочей зоны

6.2.1.1 Микроклимат

Параметры микроклимата в помещениях регламентируются ГОСТом 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» [15]. Под микроклиматом подразумевается состояние внутренней среды помещения, оказывающее воздействие на человека, характеризуемое показателями температуры воздуха и ограждающих конструкций, влажностью и подвижностью воздуха.

Параметры, характеризующие микроклимат:

- температура воздуха;
- скорость движения воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- результирующая температура помещения;
- локальная асимметрия результирующей температуры.

Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне помещений жилых зданий и общежитий приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Нормы температуры согласно [15]

Период года	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая не более	оптимальная не более	допустимая не более
Холодный	20-22	18-24	19-20	17-23 (19-23)	45-30	60	0,15	0,2
Теплый	22-25	20-28	22-24	18-27	60-30	65	0,2	0,3

Согласно ГОСТу [15] теплым называется период года с температурой выше +8°C, холодным - с температурой ниже или равной +8°C.

С помощью разрабатываемого в ходе данной работы устройства были замерены показатели температуры и влажности рабочего помещения, которые составили 27,3 °С и 21% соответственно (при использовании увлажнителя воздуха, влажность поднимается до 27%). Полученные показатели температуры укладываются в допустимый интервал для тёплого сезона, показатели влажности находятся ниже оптимальных.

Оборудование для замера результирующей температуры и скорости движение воздуха отсутствует.

6.2.1.2 Качество воздуха

Параметры качества воздуха в помещениях регламентируются тем же ГОСТом 30494-2011 «Здания жилые и общественные». Параметры микроклимата в помещениях [15]. Под качеством воздуха подразумевается состав воздуха в помещении, при котором при длительном воздействии на человека обеспечивается оптимальное или допустимое состояние организма человека.

Качество воздуха в помещениях жилых и общественных зданий обеспечивается согласно действующим нормативно-техническим документам [76] необходимым уровнем вентиляции (величиной воздухообмена в помещениях), обеспечивающим допустимые значения содержания углекислого газа в помещении. Классификация качества воздуха в помещениях в зависимости от концентрации CO₂ приведена в таблице 6.2. Средние уровни содержания CO₂ в воздухе приведены в таблице 6.3 [15].

Так же с помощью разрабатываемого устройства, были измерены уровни CO₂ как за пределами здания, так и в помещении. Средний уровень CO₂ на улице составил 415 см³/м³, 655 см³/м³ в помещении, что позволяет охарактеризовать качество воздуха в помещении как оптимальное (высокое).

Таблица 6.2 – Классы качества воздуха в зависимости от содержания CO₂

Класс	Качество воздуха в помещении		Допустимое содержание CO ₂ *, см ³ /м ³
	Оптимальное	Допустимое	
1	Высокое	-	400 и менее
2	Среднее	-	400-600
3	-	Допустимое	600-1000
4	-	Низкое	1000 и более
* Допустимое содержание CO ₂ в помещениях принимают сверх содержания CO ₂ в наружном воздухе, см ³ /м ³ .			

Таблица 6.3 – Средняя концентрация CO₂ и CO в воздухе

Местность	Концентрация в воздухе	
	CO ₂ , см ³ /м ³	CO, мг/м ³
Сельская местность, существенные источники отсутствуют	350	1
Небольшой город	375	1-3
Загрязненный центр большого города	400	2-6

6.2.1.3 Запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны регламентируется гигиеническими нормативами ГН 2.2.5.1313-03 [77], в воздухе населённых мест гигиеническими нормами ГН 2.1.6.1338-03 [18].

Из-за отсутствия датчиков, нет возможности произвести замеры содержания вредных веществ в воздухе, за исключением концентрации взвешенных частиц в воздухе, а также содержания в воздухе оксида углерода (угарного газа).

Гигиенические нормы ГН 2.2.5.1313-03 не регламентируют ПДК взвешенных частиц неизвестного происхождения, поэтому будем использовать ПКД установленные в ГН 2.1.6.1338-03. Документом [18] устанавливается максимальная разовая концентрация равная 0,5 мг/м³, максимальная среднесуточная концентрация равная 0,15 мг/м³ [18].

Гигиенические нормы устанавливают [18] ПДК угарного газа в воздухе рабочей зоны на уровне 20 мг/м^3 , что равно 17.2 ppm (частям на миллион).

По результатам измерений было установлено, что средняя концентрация взвешенных части в рассматриваемом помещении находится на уровне $0,09 \text{ мг/м}^3$, а концентрация угарного газа на уровне 0,5 ppm или $0,58 \text{ мг/м}^3$, что полностью соответствует гигиеническим нормам.

6.2.2 Освещённость

6.2.2.1 Требования к освещению рабочего места в зависимости от разряда зрительной работы

Недостаток освещения рабочего места приводит к напряжению зрения, понижается общая работоспособность и производительность труда, вследствие чего возрастает и количество ошибок. Чрезмерно яркое освещение вызывает ослепление, раздражение и резь в глазах.

Нормативные требования к освещению рабочих мест с компьютерами определяются несколькими документами – СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» [78], СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» [79] и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [80]. Так же требования к освещению на рабочем месте регламентируются ГОСТ Р... – (ЕН12464-1:2011) [81].

В помещении находится единственное окно, ориентированное на восток. Так как в ходе данной работы производился монтаж элементов на печатную плату, а размер выводов компонентов более 0,4 мм, можно заключить, что согласно [78], разряд зрительной работы Б-2. Нормируемое значения КЕО e_N , согласно [78], должен быть больше 0,7% (для бокового освещения).

6.2.2.2 Расчет коэффициента естественной освещенности рабочего места

Согласно СНиП 23-05-95/05 [78] нормируется коэффициент естественной освещенности. Расчет площади световых проемов производится по формуле:

$$S_0 = \frac{S_n \cdot E_n \cdot K_1 \cdot g \cdot K_2}{T_0 \cdot V \cdot 100} \quad (6.1)$$

где S_n - площадь зала помещения (16 м²);

E_n - нормативное значение КЕО (0,7);

K_1 - коэффициент запаса (1,4);

g - световая характеристика окон (43);

K_2 - коэффициент, учитывающий затемнение окон противостоящими зданиями (1);

V - коэффициент, учитывающий повышение КЕО, благодаря отражению света (2);

T_0 - общий коэффициент светопропускания, определяемый по формуле (6.2).

$$T_0 = T_1 \cdot T_2 \cdot T_3 \cdot T_4 \quad (6.2)$$

где T_1 - коэффициент светопропускания материала (для окон двойного стекла 0,8);

T_2 - потери света в переплетах светопроема (0,7);

T_3 - потери света в несущих конструкциях (1);

T_1 - потери света в солнцезащитных устройствах (1)

K_2 - коэффициент, учитывающий затемнение окон противостоящими зданиями (1);

V - коэффициент, учитывающий повышение КЕО, благодаря отражению света (2);

T_0 - общий коэффициент светопропускания.

Таким образом, получаем:

$$S_0 = \frac{16 * 0,7 * 1,4 * 43 * 1}{0,8 * 0,7 * 1 * 1 * 2 * 100} = \frac{647,24}{112} = 5,77 \text{ м}^2.$$

Площадь оконного проема равна 1,38 м², что недостаточно для работы при естественном освещении, поэтому необходимо дополнительно применять искусственное освещение.

6.2.2.3 Расчёт искусственного освещения

Для обозначения параметров рабочего места ГОСТ Р... – (ЕН12464-1:2011) [81] вводятся следующие понятия:

- зрительная задача (visual task): Объект зрительной работы с основными характеристиками, его определяющими (размер объекта различения, его яркость, контраст с фоном и продолжительность работы);
- зона зрительной задачи (task area): Часть площади рабочей поверхности, на которой выполняется зрительная работа. Для случаев, когда размер и/или расположение зрительной задачи неизвестны, зона зрительной задачи, считается полной зоной зрительной задачи.
- зона непосредственного окружения (immediate surrounding area): Зона, шириной не менее 0,5м, окружающая объект наблюдения внутри поля зрения;

- зона периферии (background area): Зона, следующая за зоной непосредственного окружения объекта наблюдения;
- экраны мониторов (display screen equipment): Электронные экраны
- для отображения буквенно-цифровой информации, используемые в процессе работы (90/270/ЕЕС);
- коэффициент пульсации освещенности $K_{п}$, %: критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока источников света во осветительной установке при питании их переменным током, выражающийся формулой $K_{п} = ((E_{\text{макс}} - E_{\text{мин}}) / 2 E_{\text{ср}}) * 100$ где $E_{\text{макс}}$ и $E_{\text{мин}}$ - соответственно максимальное и минимальное значения освещенности за период ее колебания, лк; $E_{\text{ср}}$ – среднее значение освещенности за этот же период, лк.

На рабочих местах, где люди находятся постоянно, освещенность должна быть не ниже 200лк. Для различных зон регламентируются различные уровни освещенности.

Предполагается, что в области зрительной деятельности, внутри поля зрения выделяются три зоны (рисунок 6.2):

1. зона зрительной задачи;
2. зона непосредственного окружения (полоса шириной не менее 0,5м, окружающая зону зрительной задачи);
3. зона периферии (полоса шириной не менее 3м в пределах помещения, следующая за зоной непосредственного окружения).

Освещенность в зоне непосредственного окружения связана с освещенностью зрительной задачи и обеспечивает хорошо сбалансированное распределение яркости в поле зрения.

Освещенность в зоне непосредственного окружения ниже, чем освещенность зрительной задачи, но не должна быть меньше указанной в таблице 4.

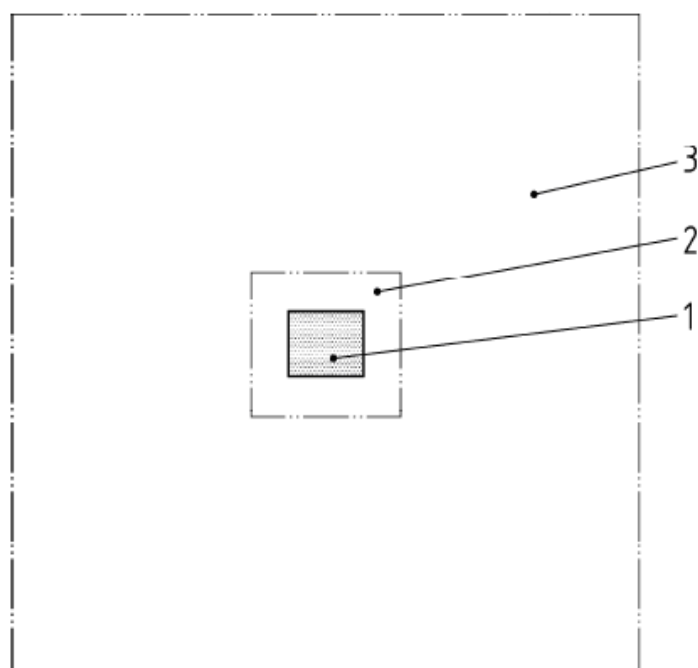


Рисунок 6.2 – Разделение поля зрения на зоны

Таблица 6.4 – Минимальные требования к освещённости зоны зрительной задачи и зоны непосредственного окружения

Освещенность зрительной задачи, лк	Освещенность зоны непосредственного окружения, лк
Не менее 750	500
500	300
300	200
200	150
150	Е зр.задачи
100	Е зр.задачи
Не более 50	Е зр.задачи

Освещенность в зоне периферии также является эксплуатационной освещенностью и не должна быть менее $1/3$ от освещенности зоны непосредственного окружения. Зона зрительной задачи должна быть освещена как можно более равномерно.

Нормируемые показатели согласно [81] приведены в таблице 6.5. Так как тип зрительной задачи различен, будем ориентироваться на более высокие требования.

Таблица 6.5 – Требования к параметрам освещённости рабочего места

Наименование помещения, зрительной задачи и вида деятельности	Е экспл ,лк	Ra	К п , %
Электротехническая промышленность: монтажные операции высокой точности	750	80	10
Офисы: письмо, машинопись, чтение, обработка данных	500	80	10

Освещение рабочих мест, оборудованных мониторами, должно соответствовать требованию по отраженному свету (таблица 6.6).

Таблица 6.6 – Требования, предъявляемые к количеству отраженного света от экранов мониторов

Жидкокристаллические экраны, высококачественные трубки с низким отражением	Средняя яркость светильников, отражающихся в экране, при яркости экрана монитора $L_{\text{экp}}$, кд/м ²	
	$L_{\text{экp}} > 200$ кд/м ²	$L_{\text{экp}} \leq 200$ кд/м ²
Класс А (позитивное представление информации, темные знаки)	≤ 3000	≤ 1500
Класс В (негативное представление информации, светлые знаки)	≤ 1500	≤ 1000

Процедура замера уровня освещенности достаточно подробно рассмотрена в стандарте [81]. Предусматривается выбор сетки точек измерений с отношением сторон в диапазоне от 0,5 до 2,0.

Максимальное расстояние между точками расчета внутри площадки определяется по формуле:

$$P = 0,2 \times 5^{\lg d} \quad (6.3)$$

где d — размер наибольшей стороны сетки в м при отношении длины к ширине <2 .

В соответствии с данной формулой и общими рекомендациями стандарта было выбрано расстояние 30 см. Измерения проводились цифровым датчиком освещенности на базе сенсора BH1750 соединённым посредством макетной платы Arduino Uno с ПК. Результаты измерений приведены в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Результаты измерений освещённости

Зона	Е ,лк
Экран монитора	820, 930, 560
Зона зрительной задачи	1110
Зона непосредственного окружения	515, 650, 470, 550, 790, 550, 510, 480
Зона периферии	330, 341, 259, 279, 294, 325, 346, 275, 234

Результаты измерений позволяют сделать вывод о соответствии рабочего места по параметрам освещённости требованиям, предъявляемым к рабочим местам для выполнения монтажных операций. Информация на мониторе представляется в позитивно, яркость монитора составляет 160 кд/м², следовательно, яркость отраженного от монитора света находится в допустимых пределах. Средняя освещённость зоны периферии составляет 0,58 от средней освещённости зоны непосредственного окружения, что так же соответствует требованиям стандарта.

Дополнительно стандартом [81] регламентируются требования к цветовой температуре и индексу цветопередачи используемых ламп. Выполняемая работа подпадает под категорию «различение цветных объектов при невысоких требованиях к цветоразличению, качество цветопередачи отличное». Данная категория допускает использование ламп с цветовой температурой порядка 2700К только при освещённости менее 300 лк, при освещённости более 500 лк цветовая температура ламп должна находиться в

диапазоне от 4000К до 6000К. Индекс цветопередачи должен находиться в диапазоне от 80 до 84.

Источниками искусственного света в помещении являются светодиодные лампы IKEA 703.059.79 LED1476G22 (в потолочном светильнике) и IKEA RYET 703.115.98 LED 1461G13 (в настольном светильнике). Информация о параметрах используемых ламп, по данным интернет-портала ламптест [82], приведена в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Параметры используемых ламп

Лампа	Световой поток ,лм	Цветовая температура, К	Индекс цветопередачи (Ra)	К п , %
LED 1476G22	1601	2727	92,5	10
LED 1461G13	1105	2754	83,2	13

Цветовая температура ламп не соответствует требованиям стандарта, индекс цветопередачи лампы LED 1476G22 не соответствует требованиям стандарта, но коэффициент пульсации находится в допустимых границах. Лампа LED 1461G13 наоборот соответствует требованиям по индексу цветопередачи, но не соответствует по коэффициенту пульсации.

6.2.3 Шумовые и вибрационные характеристики

Характеристикой шума являются уровни звукового давления в дБА в октавных полосах. Согласно санитарным нормам [83], уровень шума в рабочем кабинете программиста не должен превышать 50 дБА. Сильный шум действует отрицательно не только на органы слуха, но и на весь организм в целом, в том числе и на нервную систему. Шум приводит к усилению утомляемости и резкому падению производительности труда. Для снижения шума следует: ослабить шум самих источников, используя звукоизоляцию; снизить эффект суммарного воздействия отраженных звуковых волн; использовать архитектурные и технологические решения, направленные на изоляцию источников шума; располагать помещение вдали от источников шума и вибрации.

В данном помещении источниками шумов являются встроенные в компьютер вентиляторы. Уровень шума от вентиляторов не превышает 30 дБА (данные взяты из технического паспорта), следовательно, уровень шума в рассматриваемом помещении следует считать допустимым

6.2.4 Уровни вибрации

Предельно допустимые уровни вибрации устанавливаются СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы» [83]. На рабочем месте вибрации отсутствуют.

6.2.5 Электробезопасность

Согласно ПУЭ [84] в разделе 1.1.13 в отношении опасности поражения людей электрическим током, помещение относится к категории помещений без повышенной опасности (сухие, беспыльные помещения с нормальной температурой воздуха и с изолирующими полами). Персональные компьютеры, подключены к бытовой сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Герц и с глухозаземлённой нейтралью.

Для предохранения оборудования от перепадов напряжения в электросети применяются сетевые фильтры. Разрабатываемый прототип питается напряжением 5 В, что является безопасным напряжением для человека.

Основным организационным мероприятием по защите от поражения электрическим током является инструктаж и обучение безопасным методам труда, а также проверка знаний правил безопасности и инструкций. Эксплуатация и ремонт электрооборудования производится специально обученным персоналом, имеющим соответствующий допуск к работам.

6.2.6 Обеспечение безопасности сосудов, работающих под давлением

Сосудов под давление в рассматриваемом помещении нет.

6.2.7 Энергетическое воздействие

Рабочее место в помещении оснащено ЖК-монитором. ЖК-монитор не имеет недостатков ЭЛТ монитора — его электромагнитные поля находятся на уровне фона от блока питания, а создаваемое им изображение абсолютно не мерцает, т.к. изображение обновляется единовременно, незаметно для глаза пользователя. Других источников мощного электромагнитного излучения нет.

6.2.8 Эргономичность рабочего места

При организации рабочих мест необходимо учитывать то, что конструкция рабочего места, его размеры и взаимное расположение его элементов должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психофизиологическим данным человека, а также характеру.

6.2.8.1 Правильность расположения монитора на рабочем месте

Угол наклона монитора -10° . Положение экрана определяется:

- расстоянием считывания (0,6-0,7м);
- углом считывания, направлением взгляда на 20° ниже горизонтали к центру экрана, причем экран перпендикулярен этому направлению.

Должна быть предусмотрена возможность регулирования экрана:

- по высоте $+3$ см;
- по наклону от -10° до $+20^\circ$ относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях [80].

На рассматриваемом рабочем месте расстояние считывания незначительно больше установленных требований (0,73 м). Угол наклона монитора 10° , регулируется в диапазоне от -20° до $+20^\circ$, что полностью соответствует требованиям. Регулировка монитора по высоте невозможна, при необходимости монитор можно передвигать в правом или левом направлении на 0,25 м.

6.2.8.2 Обеспечение оптимального зрительного поля, рабочей позы и цветовой гаммы

Эргономическими аспектами проектирования рабочих мест, в частности, являются: высота рабочей поверхности, размеры пространства для ног, требования к расположению документов на рабочем месте (наличие и размеры подставки для документов, возможность различного размещения документов, расстояние от глаз пользователя до экрана, документа, клавиатуры и т.д.), характеристики рабочего кресла, требования к поверхности рабочего стола, регулируемость элементов рабочего места.

Основным рабочим положением является положение сидя.

Рабочая поза сидя вызывает минимальное утомление. Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

Максимальная зона досягаемости рук - это часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми максимально вытянутыми руками при движении их в плечевом суставе. Оптимальная зона - часть моторного поля рабочего места, ограниченного дугами, описываемыми предплечьями при движении в локтевых суставах с опорой в точке локтя и с относительно неподвижным плечом.

Стол должен удовлетворять следующим условиям:

- высота стола выбрана с учетом возможности сидеть свободно, в удобной позе;
- нижняя часть стола сконструирована так, чтобы человек мог удобно сидеть, не был вынужден поджимать ноги;
- поверхность стола должна обладать антибликовыми свойствами;
- в конструкции стола предусмотрено наличие выдвижных ящиков;

- высота рабочей поверхности 700 мм.
- Высота поверхности, на которую устанавливается клавиатура 650мм.

Большое значение придается характеристикам рабочего кресла. Рекомендуемая высота сиденья над уровнем пола находится в пределах 420-550мм.

Предусмотрена возможность различного размещения документов: сбоку от монитора, между монитором и клавиатурой и т.п.

Большое значение также придается правильной рабочей позе пользователя. При неудобной рабочей позе могут появиться боли в мышцах, суставах и сухожилиях.

Высота рабочей поверхности на рассматриваемом рабочем месте составляет 770мм, клавиатура располагается на ней же, что не удовлетворяет требованиям стандарта. Высота кресла регулируется в диапазоне от 400 до 500 мм, что позволяет частично компенсировать нерегулируемость высоты стола.

6.3 Чрезвычайные ситуации

Вблизи описываемого рабочего места нет предприятий, на которые могут произойти чрезвычайные ситуации техногенного характера.

К ситуациям природного характера, которые могут возникнуть вблизи рабочего места можно отнести: сильный шквалистый ветер, о которых обычно заранее предупреждают метеорологи и органы ГО и ЧС.

6.3.1 Пожарная безопасность

В современных ПЭВМ высокая плотность размещения элементов электронных схем приводит к тому что в непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода, коммутационные кабели и другие электронные компоненты. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество тепла, что может привести к повышению температуры отдельных узлов до 80 – 100°С. Это может привести к

оплавлению изоляции соединительных проводов и привести к пожару. Для отвода избыточной теплоты внутри ПЭВМ служат системы воздушного охлаждения

Для помещения, оборудованного вычислительной техникой, установлена категория пожарной опасности категории В, по НПБ 105-05 [85]. В соответствии со СНиП 21-01.97 [86], помещение имеет II степень огнестойкости. Число эвакуационных выходов из рассматриваемого помещения одно.

В качестве первичных средств пожаротушения применяются порошковые огнетушители ОП-1. В помещении присутствует один огнетушитель.

Противопожарная защита помещения обеспечивается автоматизированной системой противопожарной сигнализации с дымоулавливающими датчиками, а также организационно-техническими мероприятиями.

Рядом с дверью кабинета расположен план эвакуации, на котором показаны кратчайшие пути выхода из здания, включая аварийный выход, и инструкция по пожарной безопасности.

Помещение соответствует нормам и требованиям противопожарной безопасности в соответствии с ГОСТ 12.1.004-91 [87]. Существует инструкция "О мерах пожарной безопасности", инструкция "По действиям работников РЦ в случае возникновения пожара или других ЧС".

6.4 Выводы

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

Состояние воздуха рабочей зоны вполне комфортны, за исключением слишком низкой влажности воздуха.

Освещение не соответствует предъявляемым требованиям по цветовой температуре, коэффициент пульсации и индекс цветопередачи незначительно

отличаются от рекомендованных значений, яркость освещения соответствует стандартам.

Уровень вибраций и шума соответствуют норме.

Электробезопасность рабочего места соответствует нормам. В помещении нет повышенной опасности поражения электрическим током, все токоведущие части надежно изолированы, присутствует защитное заземление.

Эргономика рабочего места в большей степени удовлетворяет санитарным нормам.

По правилам пожарной безопасности в офисе учтены все необходимые правила. В помещении находятся огнетушитель и висит план эвакуации.

7 ОБОСНОВАНИЕ ЗАТРАТ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА

В предыдущих разделах выпускной квалификационной работы описываются этапы разработки аппаратно-программного комплекса для оперативного мониторинга качества воздуха в жилых помещениях. В ходе выполнения работы было проведено изучение аналогов, имеющихся на рынке, спроектировано устройство, построен прототип, написано программное обеспечение для микроконтроллеров, входящих в состав устройства, проведены работы по отладке устройства.

Разработанное устройство относится к классу потребительской электроники, и не предназначено для интеграции в промышленные системы. Целевой аудиторией являются люди со средним или выше достатком, с энтузиазмом воспринимающие идеи об автоматизации жилища, или люди трепетно относящиеся к своему здоровью, и желающие быть уверенными в безопасности того воздуха, которым они дышат.

7.1 Расчёт себестоимости НИР

Себестоимость научно-исследовательской работы можно подразделить на следующие статьи затрат:

1. материалы;
2. затраты на заработную плату;
3. затраты на страховые взносы;
4. затраты на электроэнергию;
5. амортизационные отчисления;
6. затраты на специальное оборудование [88].

7.1.1 Расчёт затрат на материалы

Материалы приобретались в магазинах «Промэлектроника» [89], «ЧИП И ДИП» [90], онлайн площадке «AliExpress» [91]. Цены на электронные компоненты в расчёте приведены розничные, по данным с сайтов этих

магазинов. Транспортно-заготовительные расходы приняты на уровне 2%. Общая сумма затрат на материалы составила 6693,81 рублей. Расчёт затрат на материалы приведён в таблице 7.2.

7.1.2 Расчёт затрат на специальное оборудование

Затраты на специальное оборудование включают в себя затраты на приобретение отладочных плат и сопутствующих им материалов. Сумма затрат на специальное оборудование составила 1349,2 рублей. Расчёт затрат приведён в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Расчёт затрат на специальное оборудование при проведении НИР

Позиция	Количество, шт.	Цена, руб./шт.	Стоимость, руб.
Отладочная плата WeMos D1	1	365,01	365,01
Отладочная плата Arduino UNO	1	331,08	331,08
Отладочная плата (без пайки)	2	164,2	328,4
Набор проводов для отладочной платы	2	88,17	176,34
Модуль конвертера уровней	2	49,76	99,52
USB-UART переходник	1	48,85	48,85
Итого			1349,2

7.1.3 Расчёт затрат на заработную плату

Затраты на заработную плату складываются из затрат на основную и дополнительную заработную плату разработчика. Затраты определяются исходя из количества нормо-часов, необходимых для выполнения отдельных работ и тарифных часовых ставок.

Условно примем в расчет месячный оклад равным 35000 руб. Часовая тарифная ставка (Ст) за рабочий месяц (22 дня) при 8- ми часовом рабочем дне составит:

$$C_T = 20000 / 22 \times 8 = 198,86 \text{ руб./час.} \quad (7.1)$$

Таблица 7.2 – Расчёт затрат на материалы при проведении НИР

Позиция	Кол-во, шт.	Цена за 1 шт., руб.	Стоимость, руб.	Транспортно-заготовительные расходы, руб.	Сумма затрат на позицию, руб.
1	2	3	4	5	6
DIP переключатель (2 контакта)	1	40,62	40,62	0,8124	41,4324
Датчик AM2303	1	175	175	3,5	178,5
Микроконтроллер ESP-12E	1	121	121	2,42	123,42
Датчик MQ-4 в составе модуля FC-22	1	86	86	1,72	87,72
Датчик взвешенных частиц GP2Y1010AU0F	1	260	260	5,2	265,2
Конденсатор керамический 0,1мкФ	4	2,26	9,04	0,1808	9,2208
Конденсатор электролитический полярный 100мкФ	1	8	8	0,16	8,16
Резистор 10КОм (MFR-12JT-52- 10K)	17	1,42	24,14	0,4828	24,6228
Конденсатор электролитический полярный 10мкФ	1	5	5	0,1	5,1
Резистор 300Ом (MFR-12JT-52- 300R)	1	1,42	1,42	0,0284	1,4484
Резистор 150Ом (MFR-12FTF52- 150R)	1	0,64	0,64	0,0128	0,6528
Кварцевый резонатор 16МГц (hc-49u)	1	15	15	0,3	15,3
Конденсатор электролитический полярный 220мкФ	1	8	8	0,16	8,16
Конденсатор керамический 22пФ	2	1,88	3,76	0,0752	3,8352
Микроконтроллер ATMEGA328P в DIP корпусе	1	150,15	150,15	3,003	153,153
MOSFET транзистор BSS138 (SOT23-3)	5	3,16	15,8	0,316	16,116
Модуль DfPlayer mini	1	207	207	4,14	211,14

Продолжение табл. 7.2

1	2	3	4	5	6
Тактовая кнопка DTS-3	2	7,18	14,36	0,2872	14,6472
Линейный стабилизатор LM1117T-3.3	1	65,43	65,43	1,3086	66,7386
Датчик углекислого газа MH-Z14	1	1830	1830	36,6	1866,6
Дисплей NEXTION 2.8'	1	852	852	17,04	869,04
Вилка на плату PLS-40	1	8,93	8,93	0,1786	9,1086
MicroSD карта	2	116	232	4,64	236,64
Динамик 3Вт, 8 Ом	1	193,71	193,71	3,8742	197,5842
Датчик угарного газа ZE07-CO	1	1250	1250	25	1275
Блок питания 5В, 2А	1	140	140	2,8	142,8
Корпус	1	500	500	10	510
Гнездо питания на панель DJK-04A	1	100	100	2	102
Гнездо на плату 2мм 1x10 прямое PBS2-10	2	55	110	2,2	112,2
Гнездо на кабель BLS-1x04	3	3,73	11,19	0,2238	11,4138
Гнездо на кабель BLS-1x06	1	4,37	4,37	0,0874	4,4574
Текстолит	1	120	120	2,4	122,4
Итого					6693,8112

С учетом Уральского коэффициента (15%) итоговая ставка составит:

$$C_{\text{т.итог.}} = 110,36 \text{ руб.} \times 1,15 = 228,69 \text{ руб./час.} \quad (7.2)$$

Таблица 7.3 – Расчёт затрат инженерно-технические работы

Название этапа	Дни	Количество труда, затраченного работником, ч.	Часовая ставка, руб.	Основная зарплата, руб.
Анализ предметной области	5	40	228,69	9147,6
Проектирование устройства	5	40	228,69	9147,6
Выбор элементной базы	5	40	228,69	9147,6
Сборка макета	10	80	228,69	18295,2
Написание прошивок для микроконтроллеров	15	120	228,69	27442,8
Отладка устройства	10	80	228,69	18295,2
Изготовление прототипа	10	80	228,69	18295,2
Разработка документации	5	40	228,69	9147,6
Итого				118918,8

Таким образом, основная заработная плата составит:

$$З_{\text{осн.}} = 118918,8 \text{ руб.}$$

К дополнительной заработной плате относятся выплаты компенсационного и стимулирующего характера. Дополнительная заработная плата в среднем составляет 10-20% к основной заработной плате в зависимости от конкретного предприятия. В условиях отсутствия данных это величина принимается за 15%.

$$З_{\text{дзп}} = 118918,8 \times 0,15 = 17837,82 \text{ руб.} \quad (7.3)$$

Таким образом затраты на заработную плату составляют:

$$З_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{дзп}} = 136756,62 \text{ руб.} \quad (7.4)$$

7.1.4 Расчёт затрат на социальные выплаты

Социальные выплаты включают в себя единый социальный налог и отчисления на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

В соответствии с положениями ст. 58.2 закона №212-ФЗ, а также ст. 33.1 закона №167-ФЗ применяются следующие тарифы страховых взносов:

- отчисления в пенсионный фонд – 22%;
- отчисления на социальное страхование – 2,9%;
- отчисления на медицинское страхование – 5,1%.

Так же в данную статью затрат входят отчисления на обязательное социальное страхование от несчастных случаев, которые примем за 0.2%.

Нормативы социальных выплат принимаются в процентах от основной и дополнительной заработной платы.

Норматив начисления составит:

$$H_{\text{нн}} = 22 + 2,9 + 5,1 + 0,2 = 30,2\%. \quad (7.5)$$

Начисления на заработную плату составят:

$$З_{\text{нзп}} = (118918,8 + 17837,82) \times 0,302 = 41300,50 \text{ руб.} \quad (7.6)$$

7.1.5 Расчёт затрат на электроэнергию

Расчет суммы затрат на электроэнергию производится исходя из стоимости одного киловатт-часа электроэнергии; количества единиц установленного оборудования; потребляемой мощности единицей оборудования (берется из технической документации) и количества часов работы каждого вида оборудования.

Таблица 7.4 – Расчёт затрат на электроэнергию

Наименование оборудования	Кол-во единиц, шт.	Потребляемая мощность, кВт	Кол-во часов, час	Стоимость одного Руб./кВт·ч.	Затраты, Руб.
1	2	3	4	5	6
ПЭВМ	1	0,6	520	2,31	720,72

Продолжение табл. 7.4

1	2	3	4	5	6
Монитор	1	0,1	520	2,31	120,12
Освещение	1	0,04	350	2,31	32,34
Маршрутизатор	1	0,03	1560	2,31	108,11
Сервер	1	0,26	840	2,31	504,50
Макет	1	0,11	400	2,31	101,64
Паяльная станция	1	0,04	24	2,31	2,2176
Итого					1589,65

Таким образом, общие затраты на электроэнергию эксплуатируемого оборудования составляет 1589,65 руб.

7.1.1 Расчёт амортизационных отчислений

Амортизация – это процесс накопления средства путем перенесения их стоимости на вновь созданный продукт. Амортизационные накопления включаются в состав себестоимости продукции. Для расчета общей суммы амортизационных отчислений необходимо по основному оборудованию рассчитать первоначальную стоимость приобретенного оборудования и определиться со сроком его полезного использования

Первоначальная стоимость амортизируемого оборудования определяется по данным бухгалтерского учета и включает в себя: стоимость приобретения; транспортные расходы по доставке основных фондов; затраты на монтаж, установку и окончательное доведение до состояния, в котором оборудование пригодно для его эксплуатации.

Сроком полезного использования признается период, в течение которого объект служит для выполнения целей деятельности налогоплательщика (таблица 7.5). Расчет стоимости амортизационных отчислений производится способом списания стоимости пропорционально объему работ (таблица 7.6).

Таблица 7.5 – Перечень оборудования, подлежащего амортизации

Наименование оборудования	Первоначальная стоимость оборудования, руб	Период полезного использования, мес.
ПЭВМ	40000	48
Монитор	10000	48
Маршрутизатор	2000	72
Сервер	10000	48
Паяльная станция	2500	48

Таблица 7.6 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование оборудования	Кол-во	Первоначальная стоимость оборудования, руб.	Ресурс работы, час	Кол-во часов работы	Сумма амортизационных отчислений, руб.
ПЭВМ	1	40000	20000	520	1040
Монитор	1	10000	20000	520	260
Маршрутизатор	1	2000	60000	1560	52
Сервер	1	10000	20000	840	420
Паяльная станция	1	2500	20000	24	3
Итого					1775

Общая сумма амортизационных отчислений, принятых к зачету в себестоимости производства прототипа составляет 1775 руб.

7.1.2 Расчёт накладных расходов

Так как помещение, в котором производилась НИР является комнатой в многоквартирном жилом доме, к накладным расходам можно отнести только затраты на арендную плату и оплату доступа в интернет в период проведения работ (таблица 7.7).

Таблица 7.7 – Расчет накладных расходов

Категория	Сумма
Арендная плата	7104,92
Оплата доступа в интернет	419,19
Итого	7524,11

Общая сумма накладных расходов составила 7524,11 рублей.

7.1.3 Общая сумма затрат на проектирование и изготовление прототипа

Общая сумма затрат на разработку и изготовления прототипа составила 196988,9 рублей (таблица 7.8).

Таблица 7.8 – Общая сумма затрат

Категория затрат	Размер затрат, руб.
Материалы	6693,81
Специальное оборудование	1349,2
Заработная плата	136756,62
Социальные выплаты	41300,50
Электроэнергия	1589,65
Амортизационные отчисления	1775
Накладные расходы	7524,11
Итого	196988,9

7.2 Привлечение инвестиций

Так как объём рынка доподлинно неизвестен, самым оптимальным вариантом для привлечения средств на серийное производство является краудфандинг с нефинансовым вознаграждением (спонсоры получают устройство). Такой способ привлечения инвестиций по отношению к данному проекту обладает следующими преимуществами:

- становится известен размер целевой аудитории;
- становится известно точное количество единиц устройства, которое необходимо произвести;
- отсутствует необходимость выплачивать проценты за пользование денежными средствами;
- минимальные финансовые риски в случае непредвиденных обстоятельств.

В качестве площадки для сбора средств наиболее целесообразно использовать платформу «Kickstarter» или «Indiegogo». Анализ схожих компаний по сбору средств на данных площадках показал, что подобные

проекты интересовывали от 300 (собрано 1 398 527,52 Р или 21 613 \$) [92] до 1000 (собрано 9 356 215,76 Р или 144 592 \$) [93] инвесторов.

7.3 Расчёт себестоимости при серийном производстве

Так как объёмы серийного производства пока неизвестны, произведём расчёт себестоимости устройства при условии выпуска партии в 100 штук.

7.3.1 Расчёт затрат на основные материалы

Цены для расчёта стоимости материалов взяты с сайтов магазинов «Промэлектроника» [89] и «ЧИП И ДИП» [90]. Так как для разных позиций оптовые цены действуют, начиная с разного количества, для некоторых позиций при расчёте используется розничная цена, для некоторых оптовая. Так же следует отметить, что для некоторых позиций, которые доступны только для заказа у китайских поставщиков, цены взяты розничные (по данным с онлайн площадки «AliExpress» [91]). Цена изготовления печатных платы взята с сайта ООО «Юниборд» [94]. Транспортно-заготовительные расходы приняты на уровне 3%.

Общая сумма затрат на материалы составила 652642,92 рублей, или 6526,43 рублей в расчёте на одно устройство. Расчёт затрат на материалы приведён в таблице 7.9.

7.3.2 Расчёт затрат на вспомогательные материалы

В качестве затрат на вспомогательные материалы можно выделить затраты на брендированную картонную упаковку в размере 50 рублей на одно устройство, или 5000 рублей на партию в сто штук.

Так же стоит упомянуть расходы на флюс и припой. Затраты на них составят порядка 1500 рублей на партию, или 15 рублей на одно устройство.

Итого расходов на вспомогательные материалы:

- 6500 рублей на партию;
- 65 рублей на одно устройство.

Таблица 7.9 – Расчёт стоимости материалов при изготовлении партии в 100 штук

Позиция	Количество, шт.	Цена, руб. за шт.	Стоимость, руб.	Транспортно- заготовительные расходы, руб.	Сумма затрат на позицию, руб.
1	2	3	4	5	6
DIP переключатель (2 контакта)	100	32,5	3250	65	3315
Датчик AM2303	100	175	17500	350	17850
Микроконтроллер ESP-12E	100	121	12100	242	12342
Датчик MQ-4 в составе модуля FC-22	100	86	8600	172	8772
Датчик взвешенных частиц GP2Y1010AU0F	100	260	26000	520	26520
Конденсатор керамический 0,1мкФ	400	2,26	904	18,08	922,08
Конденсатор электролитический полярный 100мкФ	100	8	800	16	816
Резистор 10КОм (MFR-12JT-52- 10K)	1700	0,53	901	18,02	919,02
Конденсатор электролитический полярный 10мкФ	100	5	500	10	510
Резистор 300Ом (MFR-12JT-52- 300R)	100	1,42	142	2,84	144,84
Резистор 150Ом (MFR-12FTF52- 150R)	100	0,64	64	1,28	65,28
Кварцевый резонатор 16МГц (hc-49u)	100	15	1500	30	1530
Конденсатор электролитический полярный 220мкФ	100	8	800	16	816
Конденсатор керамический 22пФ	200	1,88	376	7,52	383,52
Микроконтроллер ATMEGA328P в DIP корпусе	100	135,14	13514	270,28	13784,28
MOSFET транзистор BSS138 (SOT23-3)	500	1,98	990	19,8	1009,8
Модуль DfPlayer mini	100	207	20700	414	21114
Тактовая кнопка DTS-3	200	5,75	1150	23	1173

Продолжение табл. 7.9

1	2	3	4	5	6
Линейный стабилизатор LM1117T-3.3	100	52,35	5235	104,7	5339,7
Датчик углекислого газа MH-Z14	100	1830	183000	3660	186660
Дисплей NEXTION 2.8'	100	852	85200	1704	86904
Вилка на плату PLS-40	100	8,93	893	17,86	910,86
MicroSD карта	200	116	23200	464	23664
Динамик 3Вт, 8 Ом	100	173,89	17389	347,78	17736,78
Датчик угарного газа ZE07-CO	100	1250	125000	2500	127500
Блок питания 5В, 2А	100	140	14000	280	14280
Корпус	100	500	50000	1000	51000
Гнездо питания на панель DJK-04A	100	85	8500	170	8670
Гнездо на плату 2мм 1x10 прямое PBS2-10	200	55	11000	220	11220
Гнездо на кабель BLS-1x04	300	2,49	747	14,94	761,94
Гнездо на кабель BLS-1x06	100	2,91	291	5,82	296,82
Изготовление платы	100	56	5600	112	5712
Итого					652642,92
Итого на 1 устройство					6526,43

7.3.3 Расчёт затрат на заработную плату

Для сборки партии устройств достаточно будет нанять одного монтажника. Для исключения затрат на электроэнергию, аренду помещения и амортизационные отчисления, работу будет предлагаться выполнять на дому (предполагается, что у работника есть паяльная станция). Работника планируется привлекать на сдельной основе.

Основная заработная плата рабочих при сдельной оплате труда рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{о.п.р}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{тар } i} \times t_{\text{шт.к}} \times k_{\text{п}} \quad (7.7)$$

где $Z_{\text{о.п.р}}$ – основная заработная плата производственных рабочих на одно изделие, руб.;

$i = 1, \dots, n$ – номер технологической операции;

$C_{\text{тар } i}$ – часовая тарифная ставка производственного рабочего на i – й технологической операции, руб./нормо-час;

$t_{\text{шт.к}}$ – норма штучно-калькуляционного времени i -й технологической операции, нормо-час;

$k_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент (1,5 для Урала).

Выделим 3 технологические операции:

1. запайка элементов на печатную плату (тарифная ставка 150 руб./ нормо-час, 1 нормо-час);
2. сборка устройства (тарифная ставка 120 руб./ нормо-час, норма 0,2 нормо-часа);
3. проверка устройства (тарифная ставка 100 руб./ нормо-час, норма 0,5 нормо-часа);
4. упаковка устройства (тарифная ставка 100 руб./ нормо-час, норма 0,08 нормо-часа).

Таким образом затраты на основную заработную плату в расчёте на одно устройство составят 344 рублей, или 34 400 рублей в расчёте на партию в 100 штук.

Так же запланируем дополнительную заработную плату в размере 15% от основной, для премирования в случае выполнения нормативов. Таким образом общие затраты на заработную плату составят 395,6 рублей в расчёте на одно устройство, или 39 560 рублей на партию.

7.3.4 Расчёт затрат на социальные выплаты

Расчёт социальных выплат осуществляется по аналогии с расчётом социальных выплат при проведении НИР.

Размер социальных отчислений равен 119,47 рублям в расчёте на одно устройство, или 11 947,12 рублям в расчёте на партию в 100 штук.

7.3.5 Расчёт коммерческих расходов

Примем коммерческие расходы на уровне 5% от производственной себестоимости, что составит 355,33 рубля на одно изделие, или 35 532,5 на партию.

В большей степени данные расходы будут направлены на размещение рекламных статей на порталах habrahabr.ru и geektimes.ru, размещение контекстной рекламы через системы «Яндекс Директ» и «Google Adwords», в меньшей степени на складирование готовой продукции.

7.3.6 Общая сумма затрат

Общая сумма затрат на одно изделие составила 7461,83 рублей, на партию из ста устройств 74 6182,54 рублей (таблица 7.10).

Таблица 7.10 – Общая сумма затрат

Категория затрат	Размер затрат на партию в 100 штук, руб.	Размер затрат на одно устройство, руб.
Материалы	652642,92	6526,43
Вспомогательные материалы	6500	65
Заработная плата	39560	395,6
Социальные выплаты	11947,12	119,47
Коммерческие расходы	35 532,5	355,33
Расходы на НИР	196988,9	1969,89
Итого	943171,44	9431,72

7.4 Расчёт нижнего предела цены

Нижний предел цены описывается формулой:

$$C_{\text{п}} \leq S_{\text{п}} \times (1 + H_{\text{р}}) \quad (7.8)$$

где $S_{\text{п}}$ – полная себестоимость проектируемого изделия, руб.;

$H_{\text{р}}$ – норматив рентабельности изделия.

При нормативе рентабельности 0,3 получим нижний предел цены 12261,24 рублей. При нормативе рентабельности 0,5 получим нижний предел цены в 14147,58 рубля.

7.5 Выводы по разделу

В данном разделе была рассчитана минимальная цена конечного изделия, и все затраты её составляющие. Так как объём рынка доподлинно неизвестен до момента проведения краудфандинговой компании, все расчёты были выполнены из расчёта партии в 100 устройств.

Анализ устройств с аналогичной или близкой функциональностью (таблица 2.1) показал, что цены на наиболее близкие аналоги лежат в диапазоне от 7700,22 рублей до 12876,83 рублей. В связи с этим, для повышения конкурентоспособности устройства имеет смысл установить минимально возможную цену при рентабельности равной 0,3. С учётом

вышесказанного цена на готовое устройство (при серии в 100 штук) составит 12261,24 рублей (примерно 185\$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной целью данного дипломного проекта ставилось разработать аппаратно-программный комплекс, с помощью которого можно оперативно получать данные о качестве воздуха, параметрах микроклимата, содержании монооксида углерода, двуокси углерода, взвешенных частиц и природного газа в воздухе жилых помещений.

В ходе дипломного проектирования были достигнуты следующие результаты:

- Изучена предметная область. Рассмотрены аналоги разработанного устройства, представленные на рынке.
- Произведён выбор датчиков, наиболее подходящих для использования в устройстве.
- Рассмотрены вопросы, связанные с получением корректных данных с выбранных датчиков.
- Разработана принципиальная схема устройства.
- Разработаны прошивки для двух микроконтроллеров, входящих в состав устройства.
- Разработан графический интерфейс, представленный ЖК-дисплеем и web-интерфейс.
- Написано руководство пользователя.
- Построен прототип устройства.

В экономическом разделе дипломного проекта оценены затраты на проведение НИР, рассмотрен вопрос привлечения инвестиций, рассчитана итоговая стоимость устройства из расчёта партии в сто штук.

В дальнейшем планируется:

- Реализовать возможность изменения интервала отправки данных на MQTT-брокер.

- Реализовать возможность выбора «темы», в которую будут публиковаться данные на MQTT-брокере, что позволит использовать множество экземпляров устройства с одним MQTT-брокером.
- Реализовать мобильное приложение.
- Реализовать возможность отключения автоматического перехода устройства в режим точки доступа при недоступности wi-fi сети.
- Реализовать аутентификацию пользователя при доступе к web-интерфейсу устройства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. FIFO [Электронный ресурс] // Википедия - Свободная энциклопедия: [сайт]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/FIFO>
2. REST [Электронный ресурс] // Википедия - Свободная энциклопедия: [сайт]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/REST>
3. Протокол MQTT [Электронный ресурс] // Интернет вещей: [сайт]. URL: <http://i-o-t.ru/protokol-mqtt/>
4. Универсальный асинхронный приёмопередатчик [Электронный ресурс] // Википедия - Свободная энциклопедия: [сайт]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Универсальный_асинхронный_приёмопередатчик
5. Введение в JSON [Электронный ресурс] // JSON: [сайт]. URL: <http://www.json.org/json-ru.html>
6. URI [Электронный ресурс] // Википедия - Свободная энциклопедия: [сайт]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/URI>
7. Монитор качества воздуха [Электронный ресурс] // Интернет-магазин "Даджет" - Даджет.ру: [сайт]. URL: <https://dadget.ru/katalog/zdorove/monitor-co2>
8. Features [Электронный ресурс] // Foobot - Air Quality Monitor: [сайт]. URL: <http://foobot.io/features/>
9. Birdi | Tech [Электронный ресурс] // Birdi | Better Than A Smoke Alarm: [сайт]. URL: <http://getbirdi.com/tech.html>
10. Koto: Your home's best friend [Электронный ресурс] // Koto: Your home's best friend: [сайт]. URL: <http://koto.io/>
11. Датчик CO2: виды, конструкции, функции, достоинства и недостатки, эксплуатация, меры предосторожности, неисправности, производители и модели, фото [Электронный ресурс] // HRAN.IM Журнал про безопасность: [сайт]. URL: <https://hran.im/датчик-co2/>
12. Википедия — свободная энциклопедия [Электронный ресурс] // Датчик загазованности: [сайт]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Датчик_загазованности
13. Полупроводниковые газовые датчики [Электронный ресурс] // Датчики газов: [сайт]. URL: <http://gas-sensor.ru/parts-semiconductor-gas-sensors/>

14. Наумов А.Л., Капко Д.В. СО₂: критерий эффективности систем вентиляции // АВОК. Январь 2015.
15. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях // СНИПОВ.нет СНИПы, нормативная, строительная документация, госты, типовые серии и проекты. 2013. URL: http://snipov.net/database/c_4164565190_doc_4293788520.html
16. ГН 2.2.5.2100-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Дополнение N 2 к ГН 2.2.5.1313-03 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. 2006. № 38.
17. Опасные токсичные газы в быту. СО, монооксид, оксид углерода, угарный. Чем можно задохнуться? [Электронный ресурс] // База полезных статей, советов и ответов: [сайт]. URL: <http://hw4.ru/poisonous-gases>
18. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест // Типография "Нефтяник". 2003. № 2003.
19. Головина Л., Первушин А., Леенсон И., Заборин Н. Рекомендации по качеству воздуха в Европе. Весь Мир, 2004.
20. Портал медицинских лекций [Электронный ресурс] // Микроклимат и его гигиеническое значение. Виды микроклимата и влияние дискомфорта микроклимата на теплообмен и здоровье человека: [сайт]. URL: <http://medlec.org/lek-112201.html>
21. Всемирная организация здравоохранения. Воздействие взвешенных частиц на здоровье // Всемирная организация здравоохранения Европейское региональное бюро. 2013. URL: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0007/189052/Health-effects-of-particulate-matter-final-Rus.pdf
22. Всемирная организация здравоохранения. Рекомендации ВОЗ по качеству воздуха, касающиеся твердых частиц, озона, двуокиси азота и двуокиси серы. Глобальные обновленные данные 2005 год // ВОЗ | Всемирная организация здравоохранения. 2006. URL: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/4/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_rus.pdf
23. Samoli E., Peng R., Ramsay T., Pipikou M., Touloumi G., Dominici F., Burnett R., Cohen A. Acute effects of ambient particulate matter on mortality

in Europe and North America: results from the APHENA Study // Environmental Health Perspectives, No. 116(11), 2008. pp. 1480–1486.

24. Beelen R., Hoek G., Goldbohm R., Fischer P., Schouten L., Jerrett M. Long-term effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-AIR Study) // Environmental Health Perspectives, No. 116(2), 2008. pp. 196–202.
25. Krewski D., Jerrett M., Burnett R., Ma R., Hughes E., Shi Y., Turner M., Calle E. Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society linking particulate air pollution and mortality // HEI Research Report. 2009. No. 140.
26. Pope C.I., Burnett R., Thun M., Calle E., Krewski D., Ito K., Thurston G. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution // Journal of the American Medical Association, No. 287(9), 2002. pp. 1132–1141.
27. World Health Organization. Exposure to air pollution (particulate matter) in outdoor air // WHO/Europe. 2011. URL: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0018/97002/ENHIS_Factsheet_3.3_July_2011.pdf?ua=1
28. Dust Sensor, Монитор воздуха (датчик пыли) | купить оптом и в розницу [Электронный ресурс] // Чип и Дип Приборы и электронные компоненты: [сайт]. URL: <http://www.chipdip.ru/product/dust-sensor/>
29. Espressif Systems. ESP-12E Brief Spec // Seeed Studio Bazaar, Boost ideas, Extend the Reach. URL: http://www.seeedstudio.com/wiki/images/7/7d/ESP-12E_brief_spec.pdf
30. MP3-плеер [Электронный ресурс] // Амперка: [сайт]. URL: <http://amperka.ru/product/df-player-mp3-module>
31. Adafruit Eagle Library [Электронный ресурс] // GitHub: [сайт]. URL: <https://github.com/adafruit/Adafruit-Eagle-Library>
32. DFPlayer-Eagle-Library [Электронный ресурс] // GitHub: [сайт]. URL: <https://github.com/inflo/DFPlayer-Eagle-Library>
33. SparkFun Electronics Eagle Libraries [Электронный ресурс] // GitHub: [сайт]. URL: <https://github.com/sparkfun/SparkFun-Eagle-Libraries>
34. ESP8266-Eagle_Library [Электронный ресурс] // GitHub: [сайт]. URL: https://github.com/wvanvlaenderen/ESP8266-Eagle_Library

35. Питание микроконтроллеров AVR и тактовая частота. Подключение питания к микроконтроллеру AVR. Снижение риска непреднамеренного сброса. Микроконтроллер в схеме с электромоторами. [Электронный ресурс] // myROBOT - Роботы, робототехника, микроконтроллеры, программирование AVR: [сайт]. URL: http://myrobot.ru/articles/mc_stab.php
36. Optiboot Bootloader for Arduino and Atmel AVR [Электронный ресурс] // GitHub: [сайт]. URL: <https://github.com/Optiboot/optiboot>
37. Atmel. ATMEL 8-BIT MICROCONTROLLER WITH 4/8/16/32KBYTES IN-SYSTEM PROGRAMMABLE FLASH DATASHEET // Atmel Corporation - Microcontrollers, 32-bit, and touch solutions. 2015. URL: http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf
38. Согласование логических уровней 5В и 3.3В устройств / Схемотехника / Сообщество EasyElectronics.ru [Электронный ресурс] // Электроника для всех | Блог о электронике: [сайт]. URL: <http://we.easyelectronics.ru/Shematech/soglasovanie-logicheskikh-urovney-5v-i-33v-ustroystv.html>
39. MH-Z14 CO2 Module Datasheet // Futurlec, The Electronic Components and Semiconductor Superstore. URL: <https://www.futurlec.com/Datasheet/Sensor/MH-Z14.pdf>
40. Winsen Electronics. Electrochemical CO Module (Model : ZE07-CO) User's Manual // CO2 sensor Gas sensor CO sensor-Winsen Electronics. 2014. URL: <http://www.winsen-sensor.com/d/files/co-module/ze07-co/ze07.pdf>
41. Aosong. MK90 // Temperature and humidity module AM2302 Product Manual. URL: <http://mk90.ru/files/datasheets/AM2302.pdf>
42. Sharp. GP2Y1010AU0F Datasheet // SparkFun Electronics. 2006. URL: https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/gp2y1010au_e.pdf
43. Микроконтроллер – работаем с SD картой без файловой системы [Электронный ресурс] // Записки инженера. Доступным языком заметки по IT технологиям.: [сайт]. URL: <http://s-engineer.ru/mikrokontroller-rabotaem-s-sd-kartoj-bez-fajlovoj-sistemoj/>
44. DFRobot. DFPlayer Mini Datasheet // Амперка. URL: http://files.amperka.ru/datasheets/DFPlayer_Mini.pdf

45. SoftwareSerial [Электронный ресурс] // GitHub: [сайт]. URL: <https://github.com/arduino/Arduino/tree/master/hardware/arduino/avr/libraries/SoftwareSerial>
46. Чичков Б.А. Совершенствование оценок изменения регистрируемых параметров с использованием скользящего среднего // Научный вестник МГТУ ГА, № 186, 2012. С. 96-101.
47. Скользящая средняя [Электронный ресурс] // Википедия - Свободная энциклопедия: [сайт]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Скользящая_средняя
48. Moving average [Электронный ресурс] // Wikipedia - The free encyclopedia: [сайт]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Moving_average
49. Среднее квадратическое отклонение, среднее ошибка средней арифметической и их значение в оценке отдельных признаков [Электронный ресурс] // NeoStom - Сайт по стоматологии: [сайт]. URL: <http://neostom.ru/osnovi-sanitarnoy-statistiki/srednee-kvadraticeskoe-otklonenie-srednee-oshibka-sredney-arifmeticheskoy-i-ich-znachenie-v-otsenke-otdelnich-priznakov.html>
50. Среднеквадратическое отклонение [Электронный ресурс] // Википедия - свободная энциклопедия: [сайт]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Среднеквадратическое_отклонение
51. A runningAverage Class for Arduino [Электронный ресурс] // Arduino - Home: [сайт]. URL: <http://playground.arduino.cc/Main/RunningAverage>
52. RunningAverage [Электронный ресурс] // GitHub: [сайт]. URL: <https://github.com/RobTillaart/Arduino/tree/master/libraries/RunningAverage>
53. Hanwei Electronics. MQ-4 GAS SENSOR TECHNICAL DATA // SparkFun Electronics. URL: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-4.pdf>
54. Arduino. Секретный вольтметр. Правильное измерение напряжения [Электронный ресурс] // Just for Fun | Информационные технологии: [сайт]. URL: <http://tim4dev.com/arduino-secret-true-voltmeter/>
55. true_voltmeter // GitHub. URL: https://github.com/tim4dev/arduino/tree/master/sensor-test/true_voltmeter

56. WebPlotDigitizer [Электронный ресурс] // WebPlotDigitizer - Extract data from plots, images, and maps: [сайт]. URL: <http://arohatgi.info/WebPlotDigitizer/index.html>
57. Online Power Regression [Электронный ресурс] // Xuru's Website: [сайт]. URL: <http://www.xuru.org/rt/PowR.asp>
58. Online Exponential Regression [Электронный ресурс] // Xuru's Website: [сайт]. URL: <http://www.xuru.org/rt/ExpR.asp>
59. Датчик температуры и влажности DHT22 [Электронный ресурс] // Блог им. Catethysis: [сайт]. URL: <http://catethysis.ru/dht22-moisture-termometer-stm32/>
60. Online Linear Regression [Электронный ресурс] // Xuru's Website: [сайт]. URL: <http://www.xuru.org/rt/LR.asp>
61. How do I trim leading/trailing whitespace in a standard way? [Электронный ресурс] // Stack Overflow: [сайт]. URL: <http://stackoverflow.com/questions/122616/how-do-i-trim-leading-trailing-whitespace-in-a-standard-way>
62. Arduino JSON library [Электронный ресурс] // GitHub: [сайт]. URL: <https://github.com/bblanchon/ArduinoJson>
63. Arduino_getStringPartByNr [Электронный ресурс] // GitHub: [сайт]. URL: https://github.com/BenTommyE/Arduino_getStringPartByNr
64. Arduino Client for MQTT [Электронный ресурс] // GitHub: [сайт]. URL: <https://github.com/knolleary/pubsubclient>
65. Arduino core for ESP8266 WiFi chip [Электронный ресурс] // GitHub: [сайт]. URL: <https://github.com/esp8266/Arduino>
66. LinkedList [Электронный ресурс] // GitHub: [сайт]. URL: <https://github.com/ivanseidel/LinkedList>
67. DFPlayer-Mini-mp3 [Электронный ресурс] // GitHub: [сайт]. URL: <https://github.com/DFRobot/DFPlayer-Mini-mp3>
68. Templates [Электронный ресурс] // Free HTML5 Website Templates: [сайт]. URL: <http://www.html5webtemplates.co.uk/templates.html>
69. Monitoring icon [Электронный ресурс] // Iconfinder: [сайт]. URL: https://www.iconfinder.com/icons/131975/monitoring_icon#size=48

70. SDWebServer [Электронный ресурс] // GitHub: [сайт]. URL: <https://github.com/esp8266/Arduino/tree/master/libraries/ESP8266WebServer/examples/SDWebServer>
71. ESP8266WebServer [Электронный ресурс] // GitHub: [сайт]. URL: <https://github.com/esp8266/Arduino/tree/master/libraries/ESP8266WebServer>
72. ESP8266WebServer examples [Электронный ресурс] // GitHub: [сайт]. URL: <https://github.com/esp8266/Arduino/tree/master/libraries/ESP8266WebServer/examples>
73. Nextion [Электронный ресурс] // Nextion: [сайт]. URL: <http://nextion.itead.cc/>
74. NeoNextion [Электронный ресурс] // GitHub: [сайт]. URL: <https://github.com/DanNixon/NeoNextion>
75. Климат Екатеринбурга [Электронный ресурс] // Википедия - Свободная энциклопедия: [сайт]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Климат_Екатеринбурга
76. ГОСТ Р ЕН 13779-2007. Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования // СНИПОВ.нет СНИПы, нормативная, строительная документация, гости, типовые серии и проекты. 2008. URL: http://snipov.net/database/c_3383564190_doc_4293834852.html
77. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны // СНИПОВ.нет Строительные нормы и правила, СНИПы. Строительная документация. 2003. URL: http://snipov.net/database/c_4294944084_doc_4294814666.html
78. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение // СНИПОВ.нет СНИПы, нормативная, строительная документация, гости, типовые серии и проекты. 1996. URL: http://snipov.net/database/c_4294944066_doc_4294854801.html
79. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий // СНИПОВ.нет СНИПы, нормативная, строительная документация, гости, типовые серии и проекты. 2003. URL: http://snipov.net/database/c_4294956131_doc_4294844923.html

80. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. // Российская газета. 2003. URL: <https://rg.ru/2003/06/21/134.html>
81. ГОСТ Р. – (ЕН12464-1:2011) Свет и освещение. Освещение рабочих мест. // НП ПСС - Некоммерческое партнёрство Производителей Светодиодов и Систем на их основе. 2011. URL: <http://nprpss.ru/public/Standarty/Discussion/5.pdf>
82. Результаты тестирования [Электронный ресурс] // Тестирование светодиодных ламп: [сайт]. URL: http://lamptest.ru/results/?base_2=on&brand_4=on&type_1=on
83. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий // СНИПОВ.нет СНИПы, нормативная, строительная документация, гости, типовые серии и проекты. 1996. URL: http://snipov.net/database/c_4294956131_doc_4294851485.html
84. ПРАВИЛА УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК. Издание седьмое // Информационный портал "ОХРАНА ТРУДА В РОССИИ". 2002. URL: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/7/7177/
85. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности // ГУГПС и ФГУ ВНИИПО МЧС России, № 2003, 2003.
86. СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений // ГУП ЦПП, № 2002, 2002.
87. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования // СНИПОВ.нет Строительные нормы и правила, СНИПы. Нормативно-техническая документация. 1992. URL: http://snipov.net/database/c_4162767090_doc_4294852046.html
88. Копылов Е.А., Москалев А.Н., Шилков В.И. Организационно-экономическое обоснование дипломных проектов: учебное пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008.
89. Каталог товаров [Электронный ресурс] // Компания Промэлектроника - один из крупнейших российских поставщиков электронных компонентов: [сайт]. URL: <http://www.promelec.ru/catalog/>

90. Весь каталог [Электронный ресурс] // ЧИП и ДИП - интернет-магазин приборов, радиодеталей и электронных компонентов: [сайт]. URL: <http://www.chipdip.ru/catalog/>
91. Catalog [Электронный ресурс] // AliExpress.com - Online Shopping for Electronics, Fashion, Home & Garden, Toys & Sports, Automobiles from China.: [сайт]. URL: <http://www.aliexpress.com/>
92. Air.Air! ~ Portable Air Quality Detector [Электронный ресурс] // Kickstarter: [сайт]. URL: <https://www.kickstarter.com/projects/1886143677/airair-portable-air-quality-detector/description>
93. #AirQualityEgg [Электронный ресурс] // Kickstarter: [сайт]. URL: <https://www.kickstarter.com/projects/edborden/air-quality-egg>
94. Изготовление печатных плат [Электронный ресурс] // Юниборд: [сайт]. URL: <http://www.uniboard.ru/dpp.html>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ЛИСТИНГ ЧАСТИ ИСХОДНОГО КОДА ПРОШИВКИ

МИКРОКОНТРОЛЛЕРА СБОРА ДАННЫХ

```
#define UNSIGNED_LONG_MAX 4294967295UL

unsigned long prev_micro = 0;
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

RunningAverage temperatureSMA(settings.MicroclimatSMAPoints);
RunningAverage humiditySMA(settings.MicroclimatSMAPoints);
void ProcessMicroclimat()
{
    float t = dht.readTemperature();
    float h = dht.readHumidity();

    if (!isnan(t)) temperatureSMA.addValue(t);
    if (!isnan(h)) humiditySMA.addValue(h);
}

SoftwareSerial SoftSerialCO2(10, 11); // RX, TX
unsigned long prev_co2 = 0;
RunningAverage CO2SMA(settings.CO2SMAPoints);
void ProcessCO2()
{
    SoftSerialCO2.listen();
    while (SoftSerialCO2.available()) SoftSerialCO2.read();
    byte request[] = { 0xff, 0x01, 0x86, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x79 };
    byte result[9];
    byte checksum = 0;
    SoftSerialCO2.write(request, sizeof(request));
    while (!SoftSerialCO2.available()) {}
    for (byte i = 0; i < 9; i++)
    {
        delay(5);
        result[i] = SoftSerialCO2.read();
        if ((i>0) && (i<8)) checksum += result[i];
    }
    checksum = (~checksum) + 1;
    if (checksum == result[8])
    {
```

```

        int temp = result[2] * 256 + result[3];
        CO2SMA.addValue(temp);
    }
}

#define samplingTime 280
#define deltaTime 40
unsigned long prev_dust = 0;
RunningAverage DustSMA(settings.DustSMAPoints);

void ProcessDust()
{
    digitalWrite(2, LOW); // Подаём питание на LED
    delayMicroseconds(samplingTime);
    float voMeasured = analogRead(A1);
    delayMicroseconds(deltaTime);
    digitalWrite(2, HIGH); // Выключаем
    float calcVoltage = voMeasured * (readVcc() / 1023.0);
    float dustDensity = 0.167255 * calcVoltage - 0.0921552;
    if(dustDensity>=0) DustSMA.addValue(dustDensity);
    else DustSMA.addValue(0);
}

unsigned long prev_lpg = 0;
float LPGCurve[2] = {13.91826722,-0.320860296};
float RL_VALUE = 1;
float Ro = 1.22;
RunningAverage LPGSMA(settings.LPGSMAPoints);

void ProcessLPG()
{
    if (!temperatureSMA.FullBuffer()) return; //Продолжаем только если у нас
    есть данные о микроклимате
    float voMeasured = analogRead(A0);
    float vcc = readVcc();
    float vrl = voMeasured*(vcc / 1023);
    float resistance = (vcc - vrl) / vrl*RL_VALUE;
    resistance = resistance*(1.147618596*pow(2.71828182846, ((-
    0.00550023923)*temperatureSMA.getFastAverage()))); //Компенсация температуры
    resistance = resistance + (33.0 -
    humiditySMA.getFastAverage())*0.002884615; //Компенсация влажности
    float ratio = resistance / Ro;

```

```

    float result = LPGCurve[0] * pow(ratio,LPGCurve[1]);
    LPGSMA.addValue(result);
}

unsigned long check_perepol=0;
bool perepol = false;
void loop()
{
    if (check_perepol > millis()) perepol = true;

    if (((!perepol) && (millis() > settings.MicroclimatProgrev) && (millis() -
prev_micro >= settings.MicroclimatInterval))
        || ((perepol) && (UNSIGNED_LONG_MAX - check_perepol + millis() >=
settings.MicroclimatInterval)))
    {
        ProcessMicroclimat();
        prev_micro = millis();
    }

    if (((!perepol) && (millis() > settings.CO2Progrev) && (millis() - prev_co2
>= settings.CO2Interval))
        || ((perepol) && (UNSIGNED_LONG_MAX - check_perepol + millis() >=
settings.CO2Interval)))
    {
        ProcessCO2();
        prev_co2 = millis();
    }

    if (((!perepol) && (millis() > settings.COProgrev) && (millis() - prev_co
>= settings.COInterval))
        || ((perepol) && (UNSIGNED_LONG_MAX - check_perepol + millis() >=
settings.COInterval)))
    {
        ProcessCO();
        prev_co = millis();
    }

    if (((!perepol) && (millis() > settings.DustProgrev) && (millis() -
prev_dust >= settings.DustInterval))
        || ((perepol) && (UNSIGNED_LONG_MAX - check_perepol + millis() >=
settings.DustInterval)))
    {
        ProcessDust();
        prev_dust = millis();
    }
}

```

```

    }

    if (((!perepol) && (millis() > settings.LPGProgreve) && (millis() - prev_lpg
    >= settings.LPGInterval)))

        || ((perepol) && (UNSIGNED_LONG_MAX - check_perepol + millis() >=
    settings.LPGInterval)))

    {

        ProcessLPG();

        prev_lpg = millis();

    }

    if (((!perepol) && (millis() - send_prev >= settings.SendDataInterval)))

        || ((perepol) && (UNSIGNED_LONG_MAX - check_perepol + millis() >=
    settings.SendDataInterval)))

    {

        MakeDataString();

        SoftTransmitter.println(DataString);

        send_prev = millis();

    }

    #pragma endregion
    check_perepol = millis();
    perepol = false;
}

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ЛИСТИНГ ЧАСТИ ИСХОДНОГО КОДА БИБЛИОТЕКИ

RUNNINGAVARAGE

Мной в данной библиотеке реализованы методы *FullBuffer*, *GetStandardDeviation* и *GetStandardError*. Остальные методы уже содержались в репозитории [52].

```
uint8_t _size;
uint8_t _cnt;
uint8_t _idx;
double _sum;
double * _ar;
double _min;
double _max;

RunningAverage::RunningAverage(const uint8_t size)
{
    _size = size;
    _ar = (double*) malloc(_size * sizeof(double));
    if (_ar == NULL) _size = 0;
    clear();
}

void RunningAverage::addValue(const double value)
{
    if (_ar == NULL) return;
    if(_ar[_idx]==_min) _min = GetMinInBuffer(); //++
    if(_ar[_idx]==_max) _max = GetMaxInBuffer(); //++
    _sum -= _ar[_idx];
    _ar[_idx] = value;
    _sum += _ar[_idx];
    _idx++;
    if (_idx == _size) _idx = 0;

    if (_cnt == 0) _min = _max = value;
    else if (value < _min) _min = value;
    else if (value > _max) _max = value;

    if (_cnt < _size) _cnt++;
}
```

```

double RunningAverage::getFastAverage() const
{
    if (_cnt == 0) return NAN;
    return _sum / _cnt;
}

bool RunningAverage::FullBuffer() const
{
    if (_cnt == _size) return true;
    return false;
}

double RunningAverage::GetStandardDeviation() const
{
    if (_cnt == 0) return NAN;
    double temp = 0;
    double average = getFastAverage();
    for (uint8_t i = 0; i < _cnt; i++)
    {
        temp += pow((_ar[i] - average), 2);
    }
    temp = sqrt(temp / (_cnt - 1));
    return temp;
}

double RunningAverage::GetStandardError() const
{
    double temp = GetStandardDeviation();
    if (temp == NAN) return NAN;
    double n;
    if (_cnt >= 30) n = _cnt;
    else n = _cnt - 1;
    temp = temp / sqrt(n);
    return temp;
}

```

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ФОРМАТ «ОБЩЕНИЯ» С МОДУЛЕМ ZE07-CO И ДАТЧИКОМ МН-Z14

Таблица 1 – Формат пакета данных модуля ZE07-CO

Номер байта	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Назначение байта	Стартовый байт (0xFF)	Тип газа (0x04)	Единицы измерения (0x03)	Номер датчика (0x01)	«Верхний» канал	«Нижний» канал	00	00	Проверочный байт

Таблица 2 – Формат запроса данных у датчика МН-Z14

Номер байта	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Назначение байта	Стартовый байт (0xFF)	Номер датчика (0x01)	Запрос данных (0x86)	00	00	00	00	00	Проверочный байт

Таблица 3 – Формат ответа датчика МН-Z14

Номер байта	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Назначение байта	Стартовый байт (0xFF)	Номер датчика	«Верхний» канал	«Нижний» канал	Температура	00	00	00	Проверочный байт

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

ЛИСТИНГ ЧАСТИ ИСХОДНОГО КОДА ПРОШИВКИ ОСНОВНОГО
МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

```
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    SoftTransmitter.begin(9600);
    delay(10);

    if (SD.begin(SS))
    {
        hasSD = true;
    }
    LoadSettings();

    pinMode(D2, INPUT); //Для чтения статуса воспроизведения
    mp3_set_serial(SoftTransmitter);
    mp3_set_volume(22);

    DisplaySetup();

    WiFi.mode(WIFI_STA);
    delay(50);
    if (findWiFiAndConnect())
    {
        NetworkStatusDislpaySet(true);
    }
    else
    {
        NetworkStatusDislpaySet(false);
        WiFi.mode(WIFI_AP);
        WiFi.softAP("AirQuality");
    }

    if ((!Settings.DisableMQTT) && (WiFi.mode(WIFI_STA)) && (WiFi.status()
== WL_CONNECTED))
    {
```

```

        if (ConnectToMQTT())
        {
            MQTTStatusDislpaySet(true);
        }
        else
        {
            MQTTStatusDislpaySet(false);
        }
    }
    else
    {
        MQTTStatusDislpaySet(false);
    }
    HTTP_init();
}

bool findWiFiAndConnect()
{
    bool flag = false;
    String networkname;
    int numberofnetworks = WiFi.scanNetworks();
    if (numberofnetworks == 0)
    {
        return false;
    }
    else
    {
        if (Settings.SSIDCfg != "")
        {
            for (int i = 0; i < numberofnetworks; ++i)
            {
                if (WiFi.SSID(i) == Settings.SSIDCfg)
                {
                    networkname = Settings.SSIDCfg;
                    flag = true;
                    WiFi.begin(Settings.SSIDCfg.c_str(),
Settings.WifiPass.c_str());
                }
            }
        }
        if(flag)
        {

```

```

        unsigned long temp = millis();
        while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
        {
            delay(500);
            if (millis() - temp > 10000UL)
            {
                WiFi.disconnect();
                return false;
            }
        }
        return true;
    }
    else
    {
        return false;
    }
}

}

#pragma region DataWork

void ParseData(String rawdata)
{
    bool newdata = false; //Флаг поступления новых данных
    String data = getStringPartByNr(rawdata, '*', 0);
    String CRC_S = getStringPartByNr(rawdata, '*', 1);

    if (CRC_S == "") return; //Нет контрольной суммы - данные не корректны
    byte CRC = 0;
    for (size_t i = 0; i < data.length(); i++)
    {
        CRC = CRC + data.charAt(i);
    }
    if (CRC_S.toInt() != CRC) return; //Если не совпала контрольная сумма

    CRC_S.~String();

    String microclimat = getStringPartByNr(data, '|', 0);
    String CO2 = getStringPartByNr(data, '|', 1);
    String CO = getStringPartByNr(data, '|', 2);
    String dust = getStringPartByNr(data, '|', 3);

```

```

String LPG = getStringPartByNr(data, '|', 4);
data.~String();

String temp = "";
//Микроклимат
temp = getStringPartByNr(microclimat, ';', 0);
if (temp == "-1")
{
    Data.temperature_S = "-";
    Data.temperature = -999.0;
}
else
{
    Data.temperature_S = temp;
    Data.temperature = Data.temperature_S.toFloat();
    newdata = true;
}
temp = getStringPartByNr(microclimat, ';', 1);
if (temp == "-1")
{
    Data.temperature_Error_S = "-";
    Data.temperature_Error = -999.0;
}
else
{
    Data.temperature_Error_S = temp;
    Data.temperature_Error = Data.temperature_Error_S.toFloat();
    newdata = true;
}
temp = getStringPartByNr(microclimat, ';', 2);
if (temp == "-1")
{
    Data.humidity_S = "-";
    Data.humidity = -999.0;
}
else
{
    Data.humidity_S = temp;
    Data.humidity = Data.humidity_S.toFloat();
    newdata = true;
}
temp = getStringPartByNr(microclimat, ';', 3);

```

```

if (temp == "-1")
{
    Data.humidity_Error_S = "-";
    Data.humidity_Error = -999.0;
}
else
{
    Data.humidity_Error_S = temp;
    Data.humidity_Error = Data.humidity_Error_S.toFloat();
    newdata = true;
}
microclimat.~String();
//CO2
temp = getStringPartByNr(CO2, ';', 0);
if (temp == "-1")
{
    Data.CO2_S = "-";
    Data.CO2 = -999.0;
}
else
{
    Data.CO2_S = temp;
    Data.CO2 = Data.CO2_S.toFloat();
    newdata = true;
}
temp = getStringPartByNr(CO2, ';', 1);
if (temp == "-1")
{
    Data.CO2_Error_S = "-";
    Data.CO2_Error = -999.0;
}
else
{
    Data.CO2_Error_S = temp;
    Data.CO2_Error = Data.CO2_Error_S.toFloat();
    newdata = true;
}
CO2.~String();
//CO
temp = getStringPartByNr(CO, ';', 0);
if (temp == "-1")
{

```

```

        Data.CO_S = "-";
        Data.CO = -999.0;
    }
    else
    {
        Data.CO_S = temp;
        Data.CO = Data.CO_S.toFloat();
        newdata = true;
    }
    temp = getStringPartByNr(CO, ';', 1);
    if (temp == "-1")
    {
        Data.CO_Error_S = "-";
        Data.CO_Error = -999.0;
    }
    else
    {
        Data.CO_Error_S = temp;
        Data.CO_Error = Data.CO_Error_S.toFloat();
        newdata = true;
    }
    CO.~String();
    //Взвешенные частицы
    temp = getStringPartByNr(dust, ';', 0);
    if (temp == "-1")
    {
        Data.dust_S = "-";
        Data.dust = -999.0;
    }
    else
    {
        Data.dust_S = temp;
        Data.dust = Data.dust_S.toFloat();
        newdata = true;
    }
    temp = getStringPartByNr(dust, ';', 1);
    if (temp == "-1")
    {
        Data.dust_Error_S = "-";
        Data.dust_Error = -999.0;
    }
    else

```

```

{
    Data.dust_Error_S = temp;
    Data.dust_Error = Data.dust_Error_S.toFloat();
    newdata = true;
}
dust.~String();
//Газ
temp = getStringPartByNr(LPG, ';', 0);
if (temp == "-1")
{
    Data.LPG_S = "-";
    Data.LPG = -999.0;
}
else
{
    Data.LPG_S = temp;
    Data.LPG = Data.LPG_S.toFloat();
    newdata = true;
}
temp = getStringPartByNr(LPG, ';', 1);
if (temp == "-1")
{
    Data.LPG_Error_S = "-";
    Data.LPG_Error = -999.0;
}
else
{
    Data.LPG_Error_S = temp;
    Data.LPG_Error = Data.LPG_Error_S.toFloat();
    newdata = true;
}
LPG.~String();

if (newdata) //Если мы получили какие-то данные, то анализируем их
{
    AnalyzeAll();
    SendToDisplay();
}
}

int Analyze(float value, float GreenZoneUP, float GreenZoneDown, float
YellowZoneUP, float YellowZoneDown, float RedZoneUP, float RedZoneDown)

```

```

{
    int temp=-1;
    if ((value >= RedZoneDown) && (value <= RedZoneUP))
    {
        temp = 3;
    }
    if ((value >= YellowZoneDown) && (value <= YellowZoneUP))
    {
        temp = 2;
    }
    if ((value >= GreenZoneDown) && (value <= GreenZoneUP))
    {
        temp = 1;
    }
    if (temp == -1) temp = 0;
    return temp;
}

void SendToDisplay()
{
    char temp[10];

    strcpy(temp, Data.temperature_S.c_str());
    nexTempText.setText(temp);
    if (Data.temperature_state == 1) nexTempText.setColour("pco", 17640,
true);
    else if (Data.temperature_state == 2) nexTempText.setColour("pco",
64512, true);
    else if (Data.temperature_state == 3) nexTempText.setColour("pco",
63488, true);
    else nexTempText.setColour("pco", 0, true);

    strcpy(temp, Data.humidity_S.c_str());
    nexHumText.setText(temp);
    if (Data.humidity_state == 1) nexHumText.setColour("pco", 17640, true);
    else if (Data.humidity_state == 2) nexHumText.setColour("pco", 64512,
true);
    else if (Data.humidity_state == 3) nexHumText.setColour("pco", 63488,
true);
    else nexHumText.setColour("pco", 0, true);

    strcpy(temp, Data.CO2_S.c_str());
    nexCo2Text.setText(temp);

```



```

if (Data.CO2_state == 1) nexCo2Text.setColour("pco", 17640, true);
else if (Data.CO2_state == 2) nexCo2Text.setColour("pco", 64512, true);
else if (Data.CO2_state == 3) nexCo2Text.setColour("pco", 63488, true);
else nexCo2Text.setColour("pco", 0, true);

strcpy(temp, Data.CO_S.c_str());
nexCoText.setText(temp);
if (Data.CO_state == 1) nexCoText.setColour("pco", 17640, true);
else if (Data.CO_state == 2) nexCoText.setColour("pco", 64512, true);
else if (Data.CO_state == 3) nexCoText.setColour("pco", 63488, true);
else nexCoText.setColour("pco", 0, true);

strcpy(temp, Data.dust_S.c_str());
nexDustText.setText(temp);
if (Data.dust_state == 1) nexDustText.setColour("pco", 17640, true);
else if (Data.dust_state == 2) nexDustText.setColour("pco", 64512,
true);
else if (Data.dust_state == 3) nexDustText.setColour("pco", 63488,
true);
else nexDustText.setColour("pco", 0, true);

if (Data.LPG_state == 1)
{
    nexGasText.setText("No");
    nexGasText.setColour("pco", 17640, true);
}
else if (Data.LPG_state == 2)
{
    nexGasText.setText("Maybe");
    nexGasText.setColour("pco", 64512, true);
}
else if (Data.LPG_state == 3)
{
    nexGasText.setText("Yes");
    nexGasText.setColour("pco", 63488, true);
}
else
{
    nexGasText.setText("-");
    nexGasText.setColour("pco", 0, true);
}

```

```

    int alarmlevel = GetAlarmLevel();
    if (alarmlevel == 1)
    {
        SendStatusToDisplay("OK");
        nexStatusText.setColour("pco", 17640, true);
    }
    else if (alarmlevel == 2)
    {
        SendStatusToDisplay("Warning");
        nexStatusText.setColour("pco", 64512, true);
    }
    else if (alarmlevel == 3)
    {
        SendStatusToDisplay("Alarm");
        nexStatusText.setColour("pco", 63488, true);
    }
}

unsigned long check_perepol = 0;
bool perepol = false;
unsigned long cycles_counter = 0;
unsigned long mqtt_prev_zapros = 0;
void loop()
{
    if ((WiFi.getMode() == 3) || ((WiFi.getMode() != 3) && (WiFi.status() !=
WL_CONNECTED)))
    {
        NetworkStatusDislpaySet(false);
    }
    else
    {
        NetworkStatusDislpaySet(true);
    }

    if ((!Settings.DisableMQTT) && (!MQTTClient.connected()) &&
(WiFi.status() == WL_CONNECTED))
    {
        if (ConnectToMQTT())
        {
            MQTTStatusDislpaySet(true);

```

```

    }
    else
    {
        MQTTStatusDislpaySet(false);
    }
}
else if(Settings.DisableMQTT)
{
    MQTTStatusDislpaySet(false);
}
else if (MQTTClient.connected())
{
    MQTTStatusDislpaySet(true);
}
else if (!MQTTClient.connected())
{
    MQTTStatusDislpaySet(false);
}

if (check perepol > millis()) //Проверка на переполнение счётчика
миллисекунд со старта контроллера
{
    perepol = true;
    cycles_counter++;
}

if (Settings.AlarmOn && (queue.size() > 0) && (digitalRead(D2) == HIGH))
{
    mp3_play(queue.shift());
}

nex.poll(); //Обрабатываем сообщения от LCD-дисплея
if (((!perepol) && (millis() - prev_zapros >= 500UL))
    || ((perepol) && (UNSIGNED_LONG_MAX - check_perepol + millis() >=
500UL))) //Запрос данных раз в секунду
{
    String temp = "";
    char ch;
    if (SoftTransmitter.available())
    {
        unsigned long startrecive = millis();//debug
    }
}

```

```

        while (SoftTransmitter.available())
        {
            ch = SoftTransmitter.read();
            temp += ch;
            if (ch == '/n')
            {
                while (SoftTransmitter.available())
                {
                    SoftTransmitter.read();
                }
                break;
            }
            if (!(SoftTransmitter.available()) && (ch != '/n'))
            {
                delay(10);
            }
        }
        ParseData(temp);

    }
    prev_zapros = millis();
}

if (((!perepol) && (millis() - mqtt_prev_zapros >= 5000UL))
    || ((perepol) && (UNSIGNED_LONG_MAX - check_perepol + millis() >=
5000UL)))
{
    if (MQTTClient.connected()) SendToMQTT();

    if ((WiFi.getMode() == 1) && (WiFi.status() != WL_CONNECTED))
    {
        if (!findWiFiAndConnect())
        {
            NetworkStatusDislpaySet(false);
            WiFi.mode(WIFI_AP);
            WiFi.softAP("AirQuality");
        }
        else
        {
            NetworkStatusDislpaySet(true);
        }
    }
}

```

```

    }

    mqtt_prev_zapros = millis();
}

HTTP.handleClient();
check_perepol = millis();
perepol = false;
MQTTClient.loop();
}

String millis2time()
{
    String Time = "";
    unsigned long ss;
    unsigned int mm, hh;
    ss = millis() / 1000;
    hh = ss / 3600;
    mm = (ss - hh * 3600) / 60;
    ss = (ss - hh * 3600) - mm * 60;

    for (size_t i = 0; i < cycles counter; i++) //На случай переполнения
    счётчика миллисекунд со старта контроллера
    {
        unsigned long temp_ss = UNSIGNED_LONG_MAX / 1000;
        unsigned int temp_hh = temp_ss / 3600;
        unsigned int temp_mm = (temp_ss - temp_hh * 3600) / 60;
        temp_ss = (temp_ss - temp_hh * 3600) - temp_mm * 60;
        ss += temp_ss;
        hh += temp_hh;
        mm += temp_mm;
    }

    if (hh < 10)Time += "0";
    Time += (String)hh + ":";
    if (mm < 10)Time += "0";
    Time += (String)mm + ":";
    if (ss < 10)Time += "0";
    Time += (String)ss;
    return Time;
}

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

ЛИСТИНГ ЧАСТИ JAVASCRIPT КОДА ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ WEB-
ИНТЕРФЕЙСА С МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ

```
var xmlHttp=createXmlHttpRequest();
var xmlHttpSettings=createXmlHttpRequest();

function createXmlHttpRequest()
{
    if(window.XMLHttpRequest)
    {
        xmlHttp=new XMLHttpRequest();
    }
    else
    {
        xmlHttp=new ActiveXObject('Microsoft.XMLHTTP');
    }
    return xmlHttp;
}

function start()
{
    if(xmlHttpSettings.readyState==0 || xmlHttpSettings.readyState==4)
    {
        xmlHttpSettings.open('GET','mqttsettings',true);
        xmlHttpSettings.onreadystatechange=handleMQTTSettingsServerResponse;
        xmlHttpSettings.send(null);
    }
    process();
}

function process()
{
    if(xmlHttp.readyState==0 || xmlHttp.readyState==4)
    {
        xmlHttp.open('GET','stats',true);
        xmlHttp.onreadystatechange=handleServerResponse;
        xmlHttp.send(null);
    }
    setTimeout('process()',5000);
}
```

```

function handleMQTTSettingsServerResponse()
{
    if(xmlHttp.readyState==4 && xmlHttp.status==200)
    {
        xmlResponse=xmlHttp.responseXML;

        xmldoc = xmlResponse.getElementsByTagName('MQTTServer');
        message = xmldoc[0].firstChild.nodeValue;
        document.getElementById('MQTTServer').value=message;

        xmldoc = xmlResponse.getElementsByTagName('MQTTPort');
        message = xmldoc[0].firstChild.nodeValue;
        document.getElementById('MQTTPort').value=message;

        xmldoc = xmlResponse.getElementsByTagName('MQTTLogin');
        message = xmldoc[0].firstChild.nodeValue;
        document.getElementById('MQTTLogin').value=message;

        xmldoc = xmlResponse.getElementsByTagName('MQTTPassword');
        message = xmldoc[0].firstChild.nodeValue;
        document.getElementById('MQTTPassword').value=message;

        xmldoc = xmlResponse.getElementsByTagName('MQTTDisabled');
        message = xmldoc[0].firstChild.nodeValue;
        if(message==1)
        {
            document.getElementById('checkbox').setAttribute('checked',
'checked');

            document.getElementById('MQTTServer').disabled = true;
            document.getElementById('MQTTPort').disabled = true;
            document.getElementById('MQTTLogin').disabled = true;
            document.getElementById('MQTTPassword').disabled = true;
        }
        if(message==0)
        {
            document.getElementById('checkbox').removeAttribute('checked');

            document.getElementById('MQTTServer').disabled = false;
            document.getElementById('MQTTPort').disabled = false;
            document.getElementById('MQTTLogin').disabled = false;
        }
    }
}

```

```

        document.getElementById('MQTTPassword').disabled = false;
    }
}

function handleServerResponse()
{
    if(xmlHttp.readyState==4 && xmlHttp.status==200)
    {
        xmlResponse=xmlHttp.responseXML;

        xmldoc = xmlResponse.getElementsByTagName('uptime');
        message = xmldoc[0].firstChild.nodeValue;
        document.getElementById('Uptime').innerHTML=message;

        xmldoc = xmlResponse.getElementsByTagName('MQTTConnectionStatus');
        message = xmldoc[0].firstChild.nodeValue;
        if(message==0) //Нет соединения
        {
            document.getElementById('MQTTStatus').innerHTML = "Не
установлено";
        }
        if(message==1) //Есть соединение
        {
            document.getElementById('MQTTStatus').innerHTML =
"Установлено";
        }
    }
}

function savesettings()
{
    if(document.getElementById('checkbox').checked)
    {
        mqtttdisable=1;

        server = "/setmqttsettings?disable="+mqtttdisable;
    }
    else
    {
        mqtttdisable=0;
    }
}

```



```

        server = "/setmqttsettings?disable="+mqtttdisable;
        server += "&server=" +
document.getElementById('MQTTServer').value;
        server += "&port=" + document.getElementById('MQTTPort').value;
        server += "&login=" + document.getElementById('MQTTLogin').value;
        server += "&password=" +
document.getElementById('MQTTPassword').value;
    }

    request = new XMLHttpRequest();
    request.open("PUT", server, true);
    request.send();
}

function CheckCheckBox()
{
    if(document.getElementById('checkbox').checked==1)
    {
        document.getElementById('MQTTServer').disabled = true;
        document.getElementById('MQTTPort').disabled = true;
        document.getElementById('MQTTLogin').disabled = true;
        document.getElementById('MQTTPassword').disabled = true;
    }
    else
    {
        document.getElementById('MQTTServer').disabled = false;
        document.getElementById('MQTTPort').disabled = false;
        document.getElementById('MQTTLogin').disabled = false;
        document.getElementById('MQTTPassword').disabled = false;
    }
}
}

```