

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральского государственного университета (НИУ)»
«Институт естественных и точных наук»
Физический факультет
Кафедра физики наноразмерных систем

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой д.ф.-м.н. проф.

_____ /Воронцов А.Г.

« ___ » _____ 2020г.

Разработка газоанализатора на основе электрохимических,
полупроводниковых и оптических сенсоров для мониторинга качества
воздуха

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 11.03.04.2020.453 ПЗ ВКР

Руководитель к.ф.-м.н., доцент

_____ / Соболев А.Н.

« ___ » _____ 2020г.

Автор, студент группы ЕТ-453

_____ / Мартынов Г.И.

« ___ » _____ 2020г.

Нормоконтроллер к.т.н., доцент

_____ /Колмакова Н.С.

« ___ » _____ 2020г.

Челябинск, 2020

АННОТАЦИЯ

Мартынов Г. И. Разработка газоанализатора на основе электрохимических, полупроводниковых и оптических сенсоров для мониторинга качества воздуха. – Челябинск: ЮУрГУ, ЕТ-453, 74 с., 18 ил., 12 табл., библиогр. список – 44 наим., 3 прил.

В ходе работы был разработан газоанализатор, основанный на электрохимическом, полупроводниковом и оптическом датчиках. Так же были рассмотрены традиционные и нестандартные методы очистки воздушной среды и выявлены наиболее распространенные загрязнители воздушной массы. Разработанный газоанализатор создан для мониторинга качества воздуха и выявления зон неблагоприятных для жизни человека, он поможет своевременно выявить источник загрязнения и устранить его последствия при помощи предложенных методов. В перечень исследуемых веществ входят: ЛОС, CO₂, CH₂O, PM2.5, PM10. В процессе разработки газоанализатора были изучены программы Altium Designer, IAR Embedded Workbench, Arduino IDE, AutoCAD, разработано программное обеспечение для микроконтроллера STM8S и ESP32, и спроектированы управляющая печатная плата и защитный корпус устройства. Данный газоанализатор может быть применен в офисных и жилых помещениях, детских дошкольных учреждениях, школах и университетах и т.п.

					ЮУрГУ 11.03.04.2020.453 ПЗ ВКР			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Мартынов Г.И.			Разработка газоанализатора на основе электрохимических, полупроводниковых и оптических сенсоров для мониторинга качества воздуха	Лит.	Лист	Листов
Проверил		Соболев А.Н.					5	74
Н.конт.		Колмакова Н.С.						
Зав. кафедрой		Воронцов А.Г.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1. ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА	11
1.1. Загрязнители атмосферы	13
1.2. Санитарно-эпидемиологическое благополучие населения Челябинской области в 2019 году	15
1.3. Показатели уровня загрязнения атмосферы	17
1.4. Расчет индекса AQI	20
1.5. Современные биологические методы решения проблем загрязнения воздуха	22
1.6. Вывод	23
2. ГАЗОВЫЕ СЕНСОРЫ	25
2.1. Выбор газовых сенсоров	25
2.2. Принцип работы выбранных сенсоров	27
2.2.1. Электрохимический сенсор Winsen ZE08-CH ₂ O	27
2.2.2. Полупроводниковый сенсор AMS AG CCS811B-JOPR5K	29
2.2.3. Оптический сенсор SDS011	31
2.3. Вывод	33
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ	35
3.1. Постановка задач проектирования и разработка принципиальной схемы	36
3.2. Размещение элементов и трассировка ПП	38
3.3. Экспорт документации	41
3.4. Вывод	43
4. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	44
4.1. Программирование микроконтроллера STM8S	45
4.2. Программирование микроконтроллера ESP8266 (ESP-12F)	48
4.3. Вывод	51
5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТНОГО КОРПУСА ГАЗОАНАЛИЗАТОРА	53
5.1. AutoCAD	53
5.2. Вывод	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	55
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	58

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

ПРИЛОЖЕНИЕ	63
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	63
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	72
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	75

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение атмосферного воздуха является одной из серьезнейших глобальных проблем, стоящих перед человечеством. Опасность загрязнения атмосферы заключается в том, что вредные вещества губят живые организмы, и изменяют климат Земли.

Сейчас загрязнение атмосферы человеком привело к тому, что большая часть населения РФ проживает в районах, где уровень загрязнения превышает установленные рекомендации ВОЗ по качеству воздуха. Но при этом, человечество продолжает активно сжигать ископаемое топливо и уничтожать леса. Процесс настолько глобален, что приводит к масштабным экологическим проблемам. Загрязнение воздуха происходит и в результате других видов деятельности человечества. Например, сжигание топлива на тепловых электростанциях сопровождается выбросом двуокиси серы, а с выхлопными газами автомобилей в атмосферу поступают оксиды азота. При сгорании топлива образуется большое количество угарного газа. Так же пагубное влияние оказывают мелкодисперсные твердые частицы, которые также являются загрязнителями, к ним относятся копоть, пыль и т. п.

Для решения этих проблем существуют различные методы по очищению воздуха: механические, абсорбционные, адсорбционные, термokatалитические, биохимические, биологические, плазмохимические, плазмокаталитические, фотокаталитические методы, термическое дожигание. Каждый метод имеет свой результат и эффективность, и для их изучения требуются различные детекторы, которые смогли бы проанализировать эти результаты и установить необходимость данных приборов. Для районов, в которых было зафиксировано превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) вредных веществ, требуется правильное расставление приоритетов, т. к. отдельные небезопасные точки требуют немедленного вмешательства. Но в силу того, что оборудование, подходящее под данные

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

задачи не может быть реализовано в нужном количестве из-за своей высокой стоимости и доступности, в рамках выполнения научно – прикладной работы были поставлены следующие цель и задачи.

Цель: Разработать портативный газоанализатор для исследования современных методов очистки воздуха и качества воздушной массы, с возможностью мгновенного отклика изменяющихся параметров, который будет отличаться от своих аналогов конечной стоимостью и расширенным функционалом.

Задачи:

1. Провести анализ проблемы загрязнения воздуха в городах России, в особенности Челябинска.
2. Проанализировать различные виды газовых сенсоров, для определения наиболее подходящих к задачам.
3. Разработать газоанализатор способный эффективно оценить тот или иной метод очистки воздуха, и его качества.
4. Предложить новые или уже имеющиеся на рынке методы очистки воздуха, в качестве решения проблемы.

									Лист
									10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

1. ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА

Всю серьезность экологических проблем, связанных с загрязнением атмосферы, показывают статистические данные. Предельно допустимая концентрация загрязнений воздуха в 151-м городе РФ превышена в 5 раз, и в 87-ми городах ПДК превышен в 10 раз. [1]

Так как факторы загрязнения атмосферы могут быть связаны, как с естественными природными процессами, так и с деятельностью человека, все источники загрязнения принято делить на естественные и искусственные (антропогенные).

К первым относят природные загрязнители минерального, растительного или микробиологического происхождения, поступающие в атмосферу в процессе вулканических извержений вулканов и лесных пожаров. Кроме того, естественным загрязнителем воздуха является пыль, образующаяся в результате разрушения горных пород, пыльцы растений, выделений животных и т.п.

Искусственные (антропогенные) факторы загрязнения атмосферы делятся на транспортные - образующиеся при работе автомобилей, поездов, воздушного, морского и речного транспорта; производственные - выбросы, происходящие в результате технологических процессов; бытовые - образующиеся при сжигании топлива для отопления и приготовления пищи, а также при переработке бытовых отходов.

Основным источником загрязнения атмосферного воздуха в промышленно развитых странах является автомобильный транспорт. [1]

Традиционно воздух в помещениях очищают с помощью различных технических средств: фильтров разной степени очистки, ионизаторов, увлажнителей, систем вентиляции и кондиционирования. Эти технические средства имеют как достоинства, так и недостатки. Основными их достоинствами являются, относительно невысокая стоимость и наличие на рынке в большом ассортименте. К недостаткам относятся, принципиальная

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

неспособность создавать в помещении воздух, по своему физико-химическому составу схожий природному воздуху, к которому адаптирован человек. Кроме этого, технические средства создают дополнительные воздействия на окружающую среду. В частности, использование технических средств зачастую увеличивает шумовую и электромагнитную нагрузку, деформирует аэроионный состав воздуха и лишает человека привычной экологической среды.

В последнее время, все большее внимание уделяется биологическим способам повышения качества воздуха в помещениях.

Исследования NASA [3] показали, что некоторые комнатные растения нейтрализуют органические и неорганические газовые загрязнители (различные углеводороды, аммиак, угарный газ и др.), которые могут содержаться в воздухе помещений. При помощи высокоспециализированного образования эпидермиса растений, в ботанике, называемой устьичной щели или апертуры растение осуществляет газообмен и транспирацию, при которых в него попадают взвешенные частицы, размер апертур, в зависимости от различных видов растений варьируется от 0,1 до 0,6 нм. Кроме этого, комнатные растения при достаточном освещении, в результате фотосинтеза, выделяют кислород и поглощают углекислый газ. Растения способны насыщать воздух помещения биологически активными веществами, поддерживать влажность воздуха на оптимальном уровне. [4] Эти исследования показывают, что для решения проблем с загрязнением атмосферы возможны более доступные способы, нежели дорогостоящие системы фильтрации.

Разработка доступных и недорогих систем контроля загрязненности воздуха поможет людям больше следить и заботиться о своем здоровье, что в дальнейшем может сильно повлиять на уровень жизни человека.

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

1.1. Загрязнители атмосферы

Автомобили в силу конструктивных несовершенств и дефектов эксплуатации выбрасывают в воздушное пространство более 200-т химических соединений, в том числе до 3% угарного газа, 0,06% оксида азота, 0,5% углеводородов, 0,06% оксида серы и т.д. За один год эти выбросы от каждого легкового автомобиля составляют около 800-та кг окиси углерода, 220-ти кг углеводородов, 40-ка кг оксидов азота и т.д. [5]

К основным антропогенным загрязняющим веществам из воздуха вне помещения можно отнести органические соединения, представленные в таблице 1. [6,7]

Таблица 1

Основные антропогенные загрязняющие вещества вне помещения

Органические и неорганические вещества	Предельно допустимые концентрации		Основные источники
	Среднесуточные , мг/м ³	Максимально разовые, мг/м ³	
Углекислый газ	9000	-	Процесс жизнедеятельности человека
Угарный газ	3	5	Продукты неполного сгорания углерода
Хлор	0,03	0,1	Производство поливинилхлорида, пластиков, синтетического каучука
Бензапирен	0,000001	-	Сгорание углеводородного жидкого, твёрдого и газообразного топлива
Фенол	-	0,007	Производство фенолформальдегидных смол, лекарственных средств, красителей
Сероводород	0,008	0,008	Получение элементарной серы, серной кислоты, сульфидов.
Озон	0,03	0,16	выделения транспортных средств,

			растворителей и промышленности
Двуокись азота	0,04	0,2	Процессы сгорания
Двуокись серы	0,05	0,5	Сжигание ископаемых видов топлива (угля и нефти) и плавка минеральных руд, содержащих серу
ЛОС	0,6	1	Летучие органические соединения

Так же рассмотрим токсичные вещества, находящиеся в жилых помещениях. Основные неблагоприятные вещества, окружающие нас внутри помещения, показаны в таблице 2.

Таблица 2

Распространенные токсичные вещества, находящиеся в жилых помещениях

Органические и неорганические вещества	Предельно допустимые концентрации		Основные источники
	Среднесуточные, мг/м ³	Максимально разовые, мг/м ³	
Формальдегид	0,01	0,05	Лаки, пластиковая посуда, ДВП, ДСП, ковры, табачный дым
Трихлорэтилен	1	4	Чистящие средства, краски, пятновыводители, картриджи
Толуол	0,6	0,6	Лаки и краски, принтеры и копиры, обои, растворители
Ацетон	0,01	0,01	Лакокрасочных материалах, растворителях
Бензол	0,1	0,3	Лакокрасочных материалах, табачного дыма
Ксилол	0,2	-	Пластмасса, лакокрасочная продукция, клеи, автомобильные выхлопные газа, изделия из кожи и табачный дым
Аммиак	0,04	0,2	Табачный дым, электронная техника
Взвешенные	0,06	0,3	Пыль, зола, сажа, дым, сульфаты,

частицы PM10			нитраты, и другие твердые составляющие
Взвешенные частицы PM2.5	0,035	0,16	

Выше перечислены основные вещества, относящиеся к ЛОВ или ТЧ превышение, которых вызывает ухудшение самочувствия человека.

1.2. Санитарно-эпидемиологическое благополучие населения Челябинской области в 2019 году

Санитарно-эпидемиологические исследования Челябинской области на 2019 год [21] установили, что детские и подростковые учреждения, относящиеся к потенциальному риску причинения вреда здоровью, составляют 54,6% относящиеся к среднему риску и 28,4% к умеренному риску. Это связано с превышением норм ПДК на содержание вредных веществ в воздухе по Челябинской области. В структуре лабораторных исследований наибольшая доля проб от общего количества исследований (всего было сделано 17972 пробы) атмосферного воздуха приходилась на азот диоксид (23,0 %), оксид углерода (18,6 %), взвешенные вещества (18,0 %), сера диоксид (16,2 %), оксид азота (6,4 %). В таблице 3 можно увидеть долю проб с превышением ПДК в процентах у конкретных химических веществ.

Таблица 3

Химические примеси в атмосферном воздухе городских поселений, с превышением ПДК за последние шесть лет

Химическое вещество	Доля проб с превышением ПДК, %					
	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Всего, в. т.ч	4,74	1,13	1,32	2,22	1,94	0,89
Взвешенные вещества	2,18	1,29	2,06	2,88	5,59	1,11

1.3. Показатели уровня загрязнения атмосферы

Для оценки уровня загрязнения атмосферы используются следующие величины:

- средняя концентрация примеси в воздухе;
- среднее квадратичное отклонение;
- максимальная разовая концентрация примеси.

Для оценки загрязнения атмосферы нужно сравнить действительные значения средних и максимальных разовых концентраций примесей с предельно допустимыми концентрациями (ПДК).

Интегральным показателем загрязнения атмосферы является соответствующий индекс (ИЗА). [8] Расчет индекса загрязнения атмосферы производится по величинам среднегодовых концентраций, поэтому ИЗА показывает индекс загрязненности воздуха.

ИЗА учитывает не только концентрации, но и степень воздействия загрязнителей на здоровье. Формула расчета индекса загрязнения атмосферы (1):

$$I_n = \sum (X_i / \text{ПДК}_i) C_i, \quad (1)$$

где X_i - среднегодовая концентрация вещества i ,

C_i - коэффициент, показывающий степень опасности i -того вещества по сравнению с диоксидом серы,

I_n - интегральный показатель загрязнения атмосферы (ИЗА).

ИЗА менее 5-ти соответствует низкому уровню загрязнения, от 5 до 8 – повышенному, от 8 до 13 – высокому. ИЗА больше 13 означает очень высокую степень загрязненности воздуха.

В национальных стандартах Российской Федерации для оценки концентраций летучих органических веществ (ЛОВ), которые имеют относительно высокое давление насыщенных паров при нормальных условиях, используют ГОСТ Р ИСО 16000-2007 [9] и ГОСТ 30255-2014 [10], в

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

которых расчет концентраций производится в специальных климатических камерах и при определенных параметрах температур и давлений.

К ЛОВ относятся углеводороды, альдегиды, спирты, кетоны, терпеноиды и др. Пример формулы расчета (2):

$$B = m/V_a, \quad (2)$$

где B - концентрация вещества в воздухе камеры, мг/м;

m - масса вещества в пробе по 8.1, мкг;

V_a - объем пробы воздуха, приведенный (автоматически или вручную) к условиям температуры $0\text{ }^\circ\text{C}$ и атмосферного давления $101,3\text{ кПа}$, дм^3 .

Методы, описанные в ГОСТ, не позволяют оценить качество среды сразу и на месте, так как требуют большого времени на забор анализируемых веществ и специального оборудования.

Было решено рассмотреть предложение всемирной организации здравоохранения по контролю качества воздуха при помощи наглядного индекса качества воздуха (AQI). [11] Индекс показывает при помощи цветовой шкалы (обычно это 4 наименований цветов от красного до зеленого) на сколько в данный момент времени загрязнен воздух. Так как ранее представленные методы представляют численное восприятие значения загрязняющего вещества в расчетах, это бы затрудняло определение уровня загрязнения воздуха, обычному пользователю. Однако трудно определить AQI помещений, поскольку критерии качества воздуха варьируются в зависимости от условий местности исследований, например дома, парковки, заводы и т. д. Кроме того, качество воздуха в помещении может быстро меняться в зависимости от видов деятельности, таких как вентиляция, приготовление пищи, уборка и т. д. Фактически, AQI для атмосферного воздуха рассчитывается по среднему значению загрязняющих веществ,

									Лист
									18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

11.03.04.2020.453 ПЗ

собранных за 1 или 24 часа, поэтому индекс может не отражать текущее качество воздуха.

Разные страны, такие как Канада [12], Гонконг [13], материковый Китай [14], Индия [15], Сингапур [16], Южная Корея [17], Великобритания [18], Европа [19] и США [20] имеют свои показатели качества воздуха, которые соответствуют различным национальным стандартам качества воздуха. Хотя их разработанные стандарты отличаются, методы расчета остаются одинаковыми во всех странах. Пример расчета AQI, используемого в Южной Корее (3).

$$I_n = \frac{I_{HI} - I_{LO}}{BP_{HI} - BP_{LO}} (C - BP_{LO}) + I_{LO}, \quad (3)$$

где I_n - показатель качества воздуха (загрязнителя n);

C - концентрация загрязняющих веществ;

BP_{LO} - граничная точка концентрации, $\leq C$;

BP_{HI} - граничная точка концентрации, $\geq C$;

I_{LO} - граничная точка индекса, соответствующая BP_{LO} ;

I_{HI} - граничная точка индекса, соответствующая BP_{HI} .

Уравнение (3) преобразует значение концентрации в обобщенное значение индекса относительно его граничных точек. Характеристики и значение каждого загрязнителя различны, граничные точки каждого уровня приведены в таблице 4.

Таблица 4

Показатели качества атмосферного воздуха в Южной Корее

Категория		А	Б	В	Г
Описание		Хороший	Умеренный	Нездоровый	Опасный
Значение	I_{LO}	0	51	101	251
	I_{HI}	50	100	250	500

Концентрация		BP_{LO}	BP_{HI}	BP_{LO}	BP_{HI}	BP_{LO}	BP_{HI}	BP_{LO}	BP_{HI}
SO ₂ (ppm)	1 ч.	0	0.020	0.021	0.050	0.051	0.150	0.151	1
NO ₂ (ppm)	1 ч.	0	0.030	0.031	0.060	0.061	0.200	0.201	2
CO (ppm)	1 ч.	0	2	2.01	9	9.01	15	15.01	50
O ₃ (ppm)	1 ч.	0	0.030	0.031	0.090	0.091	0.150	0.151	0.600
PM ₁₀ (мг/м ³)	24 ч.	0	30	31	80	81	150	151	600
PM _{2.5} (мг/м ³)	24 ч.	0	15	16	50	51	100	101	500

На основании индивидуальных значений качества воздуха определяется AQI. Если есть два или более загрязнителя, которые показывают превышение ПДК, они дополнительно добавляются к загрязнителю с худшим показателем. Например, если есть два «нездоровых» уровня, к рассчитанному AQI добавляется 50 и, если есть три «нездоровых» уровня, добавляется 75 к рассчитанному AQI.

1.4. Расчет индекса AQI

Для расчетов AQI помимо ЛОВ нужен параметр, называемый концентрацией твердых частиц PM_{2.5} (ТЧ2.5) и PM₁₀ (ТЧ10), это частицы, диаметр которых 2.5 мкм и 10 мкм. Большое содержание PM_{2.5} приводит к развитию сердечно-сосудистых, респираторных и онкологических заболеваний, они могут преодолевать аэрогематический барьер и попадать в кровеносную систему. PM₁₀ попадают глубоко в легкие и там осаждаются. Основными компонентами твердых частиц являются сульфаты, нитраты, аммиак, хлористый натрий, сажа, минеральная пыль и вода.

Расчёт индекс качества воздуха (AQI) произведем аналогично предложенным методам, но введем свою поправку, касающуюся расчета средних значений. Диапазон концентраций по каждому загрязняющему веществу выбирается конкретным пользователем. Значение диапазона будет варьироваться в зависимости от используемой внутренней среды: дома, парковки, завода и т. д. Так как анализатор разрабатывается для помещений

									Лист
									20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

11.03.04.2020.453 ПЗ

непроизводственного типа, граничные значения буду сопоставимы с ПДК в помещениях.

Таблица 5

Показатели качества атмосферного воздуха

Категория		А		Б		В		Г	
Описание		Хорошо		Удовлетв.		Неудовлетв.		Опасно	
Значение	I_{LO}	0		51		101		251	
	I_{HI}	50		100		250		500	
Концентрация		BP_{LO}	BP_{HI}	BP_{LO}	BP_{HI}	BP_{LO}	BP_{HI}	BP_{LO}	BP_{HI}
ЛОС (мг/м ³)		0	0.6	0.61	1	1.01	3	3.01	10
СН ₂ О (мг/м ³)		0	0.010	0.011	0.03	0.031	0.05	0.051	0.5
СО ₂ (мг/м ³)		0	4499	4500	9000	9001	13500	13501	20000
PM ₁₀ (мг/м ³)		0	0.06	0.061	0.3	0.301	0.5	0.501	1
PM _{2.5} (мг/м ³)		0	0.035	0.036	0.16	0.161	0.2	0.201	0.5

У метода расчета I_n в формуле (3) учитываются средние значения, поступающие с датчиков за 1 и 24 часа. Для того чтобы получать индекс AQI за меньшее время, необходимо правильно усреднять значения, для этого можно использовать экспоненциально взвешенное скользящее среднее (ЕМА), высчитываемое по формуле:

$$EMA_t = \alpha p_t + (1 - \alpha)EMA_{t-1} \quad (4)$$

где EMA_t - значение экспоненциального скользящего среднего в точке t;

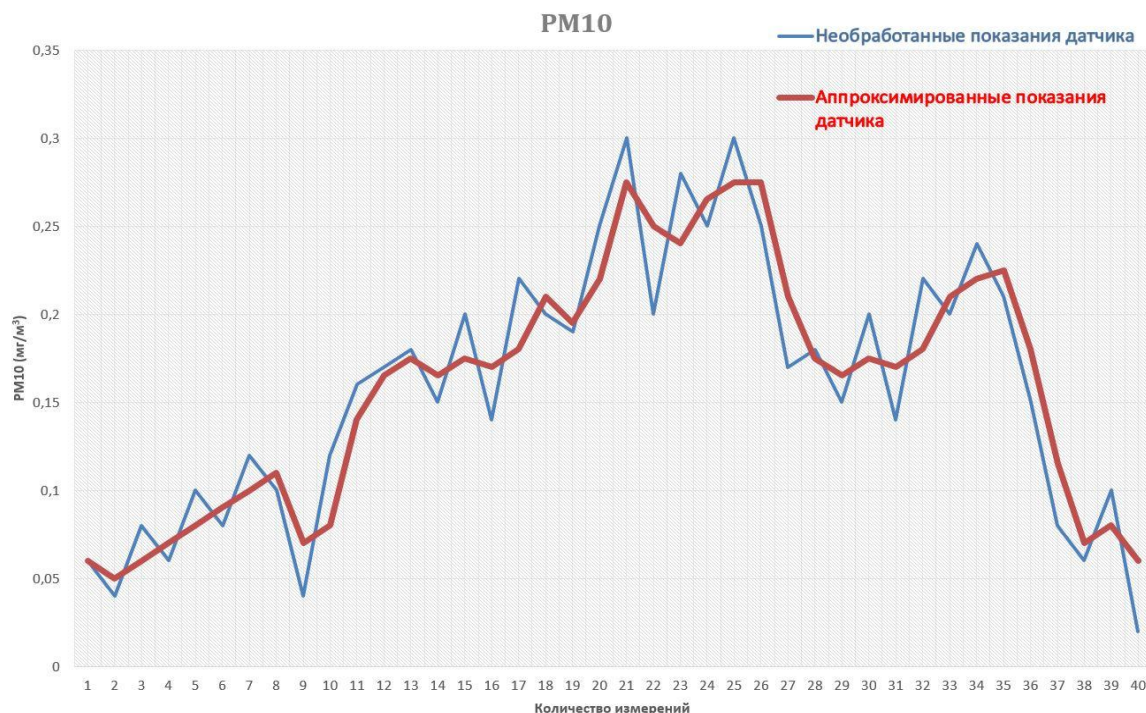
EMA_{t-1} - значение экспоненциального скользящего среднего в точке t-1;

p_t - исходной значение в момент времени t;

α - сглаживающая константа;

α это коэффициент характеризующий скорость уменьшения весов, значение 0,3 было подобрано экспериментально.

ЕМА значений датчика считается по формуле (4), по формуле (3), и в конечном итоге выбирается сам индекс AQI по таблице 5. Сравнение



полученных аппроксимированных данных на рисунке 1.4.

Рисунок 1.4. Пример обработки полученных данных

1.5. Современные биологические методы решения проблем загрязнения воздуха.

За последние годы становится все больше ученых заинтересованных в восстановлении загрязненных масс воздуха. Джулиан Мельхиорри и его команда ученых из компании Arbolea разработали фото-биореакторную установку [42] способную при помощи фотосинтетических микроорганизмов фильтровать вредные вещества из воздушную массу, тем самым очищая ее.

Такие решения позволяют повысить надежность и простоту использования, т.к. они нуждаются только в ультрафиолете.

Американская компания Ambient Group в своих исследованиях [43] показала, что очистка воздуха растениями является эффективным решением. Их исследования заключались в сравнении качества воздуха в объеме с растением эпипремном золотистым с тем же объемом только без

растения. Эти исследования доказывают, что в скором времени из-за сильно загрязненной воздушной массы в промышленных и густо населенных местах начнут использовать более доступные и не менее эффективные средства отчистки воздуха, такие как растения.

На сегодняшний день российские компании Emerald Green, Либро-Терцио, Экорепка и др. методами фито-технологий производят фитостены из различных растений, являющихся натуральными фильтрами воздуха, которые метаболизируют вредные токсины. Пример выполненных работ можно увидеть на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5. Стена из живых растений компании Emerald Green [44]

1.6. Вывод

Из обзора понятно, что наиболее вредными примесями воздуха являются формальдегид (CH_2O), взвешенные вещества (твердые частицы

									Лист
									23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

11.03.04.2020.453 ПЗ

PM2,5; PM10), углекислый газ (CO₂), летучие органические соединения (VOC). В следующих главах будут рассматриваться сенсоры способные регистрировать значения их концентраций. Учитывая тенденции развития методов фито-технологий, разрабатываемый в данной дипломной работе анализатор может стать частью научно-исследовательского проекта, направленного на изучение влияния различных растений на качество воздуха.

После пересчета полученные аппроксимированные значения будут выводиться, как список, так и в виде индекса AQI.

									Лист
									24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

11.03.04.2020.453 ПЗ

2. ГАЗОВЫЕ СЕНСОРЫ

Основной функцией газового сенсора (газового датчика или газовой ячейки) является преобразование концентрации измеряемого вещества в непрерывное напряжение или какой-либо иной сигнал, позволяющий произвести регистрацию и визуально отобразить этот сигнал. Все газовые сенсоры можно поделить на основные группы, изображенные на рисунке 2.1.

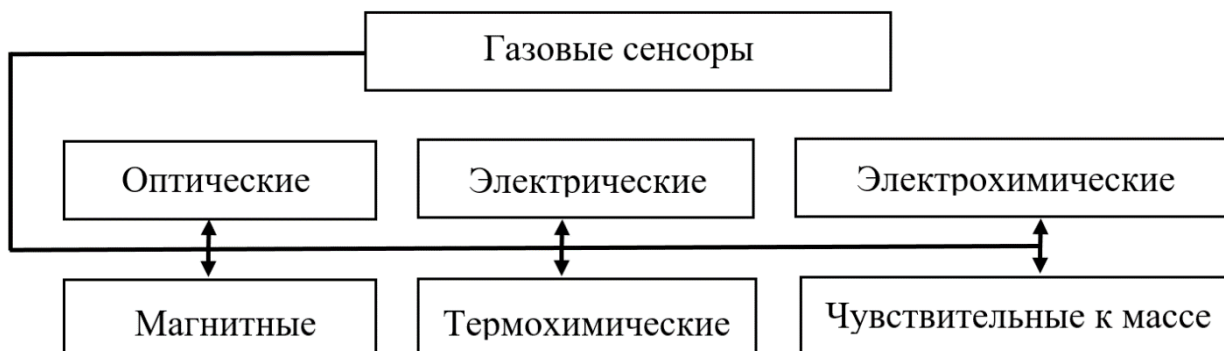


Рисунок 2.1. Классификация газовых сенсоров по типу их работ [22]

На основании материала, рассмотренного в первой главе, газоанализатор должен включать в себя сенсоры летучих органических соединений, твердых частиц (фракций диаметром 2,5 и 10 мкм) и формальдегида.

2.1. Выбор газовых сенсоров

Так как у каждого типа датчиков есть свои достоинства и недостатки, для выбора приведем сравнительные таблицы (таблица 6,7,8) в которой наглядно видно основные параметры газовых сенсоров. Критерии для отбора датчиков, предлагаемых на рынке:

- Дешевизна
- Пределы измерений, сопоставимые с ПДК
- Точность
- Малые габариты
- Низкая потребляемая мощность
- Стабильность
- Надежность

В первую очередь обратим внимание на экономическую доступность, максимальную точность и диапазоны измерений сенсоров. Зеленым цветом были отмечены лучшие значения параметров по отношению к другим датчикам. В ходе анализа данных критериев были выбраны, полупроводниковый металлооксидный сенсор CCS811B-JOPR5K швейцарской технологической компании AMS AG (Austria Mikro Systeme) для анализа концентрации CO₂ и летучих органических соединений (VOC), так же для анализа содержания взвешенных частиц был выбран оптический сенсор SDS011 китайской компании Nova и электрохимический сенсор ZE08-CH₂O для анализа формальдегида, компании Winsen.

2.2. Принцип работы выбранных сенсоров

2.2.1. Электрохимический сенсор Winsen ZE08-CH₂O



Рисунок 2.2. Winsen ZE08-CH₂O

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Конструктивный вид показан на рисунке 2.2., основные характеристики датчика, приведенные из документации [33], показаны в таблице 9.

Таблица 9

Характеристики датчика Winsen ZE08-CH₂O

Параметры	Значения
Анализируемый газ	CH ₂ O
Погрешности из-за	Спиртов и СО
Выходные данные	АЦП и UART (3В)
Рабочее напряжение	3.7-9 В
Время нагрева	≤ 3 минут
Время отклика	≤ 60 секунд
Пределы измерений	0-5 ppm
Точность	≤ 0.01 ppm
Рабочая температура	От 0 до 50 С°
Рабочая влажность	От 15 до 90 %
Температура хранения	От 0 до 50 С°
Срок службы	2 года (при восьмичасовом рабочем дне)

Электрохимический датчик позволяет определять концентрацию газов в смеси по значению электрической проводимости раствора, поглотившего этот газ. Датчики взаимодействует с чувствительным слоем непосредственно на электроде. Электрохимическая ячейка, имеет два электрода для совершения электрохимической реакции. Определение концентрации газа происходит путем измерения тока по электрохимическому принципу. На рабочем электроде внутри электрической ячейки проходит процесс электрохимического окисления. Ток, который вырабатывается при реакции детектируемого газа, прямо пропорционален концентрации газа. Датчики отличаются высокой эффективностью, надежностью, чувствительностью,

небольшой стоимостью, малыми габаритными размерами, высокой селективностью, удобством использования и простотой конструкцией. Также, датчики не реагируют на изменения влажности, имеют малую потребляющую мощность и возможность батарейного питания.

2.2.2. Полупроводниковый сенсор AMS AG CCS811B-JOPR5K

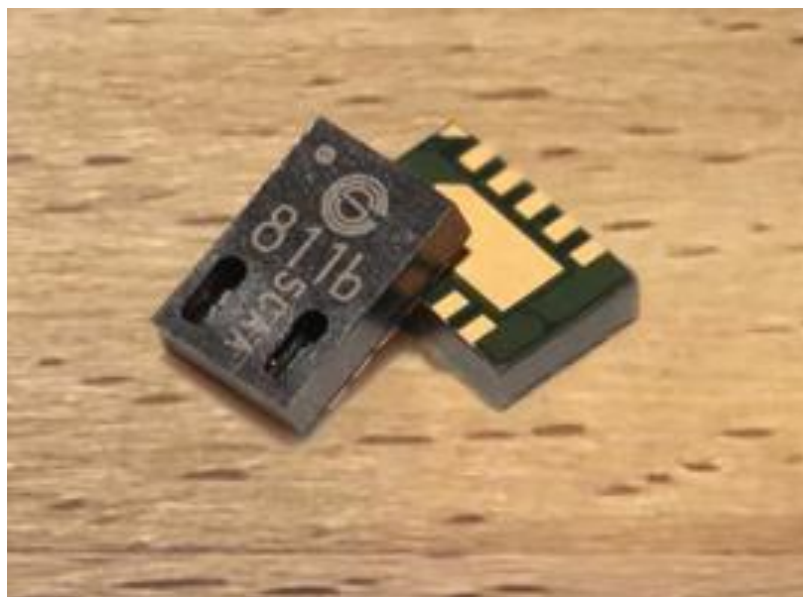


Рисунок 2.3. AMS AG CCS811B-JOPR5K

Конструктивный вид показан на рисунке 2.3., основные характеристики датчика, приведенные из документации [26], показаны в таблице 10.

Таблица 10

Характеристики датчика AMS AG CCS811B-JOPR5K

Параметры	Значения
Анализируемые вещества	VOC и CO ₂
Рабочее напряжение	1.8 – 3.6 В
Потребляемый ток	30 - 54 мА
Потребляемая мощность	60 мВт
Рабочая температура	От -40 до 85 С°
Рабочая влажность	От 10 до 95 %

Срок службы	>5 лет
Выходные данные	I ² C
Рабочая частота модуля I ² C	100 и 400 кГц

Полупроводниковый химический сенсор основан на изменении электрофизических свойств чувствительного слоя полупроводникового образца при изменении состава анализируемой газовой среды. Данный датчик относится к полупроводниковым металлооксидным сенсорам резистивного типа. Свойством резистивного полупроводникового сенсора, зависящего от концентрации газовой примеси, является электропроводность чувствительного слоя, в качестве которого используется поликристаллическая пленка полупроводниковых оксидов металла.

Выходным аналитическим сигналом резистивного сенсора служит величина сопротивления чувствительного слоя. В зависимости от типа проводимости полупроводника (n или p-тип) типа и детектируемой примеси (доноры или акцепторы электронов) сопротивление чувствительного слоя сенсора увеличивается или уменьшается. При адсорбции акцепторных частиц на поверхности полупроводника с проводимостью n-типа сопротивление чувствительного слоя увеличивается, а при адсорбции донорных частиц – уменьшается. У полупроводников с p-типом проводимости обратная зависимость.

Полупроводниковый сенсор представляет собой небольшую изолирующую подложку, на которой расположены измерительные электроды и нагреватель. Так как процессы, протекающие на поверхности полупроводника, зависят от температуры (хемосорбция газов) в сенсоре используется нагреватель.

Поверх измерительных электродов нанесен чувствительный слой. Из платины делают нагреватель и измерительный электрод. Химическим

										Лист
										30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

11.03.04.2020.453 ПЗ

составом и кристаллической структурой чувствительного слоя задают характеристику сенсора.

В чувствительном слое при попадании газовой примеси протекает совокупность взаимосвязанных процессов: поверхностная и объемная диффузия адсорбированных частиц, электронные процессы, а также перенос носителей заряда между зернами поликристаллических образцов.



2.2.3. Оптический сенсор SDS011

Рисунок 2.4. Nova PM sensor SDS011

Конструктивный вид показан на рисунке 2.4., основные характеристики датчика, приведенные из документации [27], показаны в таблице 11.

Таблица 11

Характеристики датчика Nova PM sensor SDS011

									Лист
									31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

в суммарное ослабление $\alpha_{\text{сум}}$ интенсивности прошедшего через среду света:

$$\alpha_{\text{сум}} = \alpha_{\text{погл}} + \alpha_{\text{расс}}, \quad (6)$$

Каждая молекула по закону Бера поглощает одинаковую часть падающего излучения, поэтому поглощение пропорционально числу частиц поглощающего вещества N :

$$\alpha_{\text{погл}} = \sigma N, \quad (7)$$

где N – концентрация определяемого вещества;

σ – сечение поглощения определяемого вещества на данной длине волны падающего излучения λ .

Если оба закона выполняются, то справедлив объединенный закон Бугера-Ламберта-Бэра:

$$I = I_0 \exp(-l\sigma N), \quad (8)$$

В нашем случае происходит изменения концентрации N исследуемого вещества вдоль пути распространения светового излучения, и в расчетах используется закон Бугера-Ламберта-Бэра в интегральной форме:

$$P = P_0 \exp \left[- \int_0^L \sigma N(z) dz \right], \quad (9)$$

где P и P_0 – мощность светового излучения на выходе сенсорной ячейки в присутствии и отсутствии ТЧ;

L – толщина слоя исследуемой среды (соответствует длине сенсорной ячейки);

$N(z)$ – распределение концентрации ТЧ вдоль оси z (вдоль которой распространяется лазерное излучение).

2.3. Вывод

В этой главе были тщательно подобраны газовые сенсоры под поставленные задачи, и в дополнение вышесказанному хотелось бы добавить то, что на рынке представлено большое количество газоанализаторов и мониторов качества воздуха, определенными параметрами похожие на газоанализатор

									Лист
									33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

дипломного проекта. Ниже представлены самые распространенные детекторы, такие как:

- ATMOtube → VOC, CO, CO₂. (≈9000р)
- Цифровой детектор JCG60 PRO → CH₂O, PM_{2.5}, PM₁₀. (≈3000)
- ATMO 3 → CO₂, температура, влажность. (≈6000)
- Honeywell HAQ → VOC, CO, CO₂, CH₂O, PM_{2.5}, температура, влажность (≈13000)
- LifeControl MCLH-08 → CO, VOC, температура, влажность (≈2000)

Каждое устройство имеет свои достоинства и недостатки перед другими перечисленными мониторами качества воздуха, при этом только HAQ компании Honeywell позволяет измерить большой перечень параметров воздуха и может быть сопоставим с разрабатываемым газоанализатором, но стоимость HAQ значительно выше других устройств, что делает его менее доступным. В представленном дипломном проекте газоанализатор качества воздуха имеет примерную себестоимость при единичном производстве 3500~4500р. При массовом производстве стоимость будет ниже на 30%. Такая стоимость увеличит доступность продукта перед обыкновенными людьми, с средними заработными платами.

									Лист
									34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

В современном мире производств электроники у разработчика печатных плат имеется своя профессиональная среда проектирования радиоэлектронных схем в которой ведется разработка. Для выбора своей среды автоматизированного проектирования мною было рассмотрено множество вариантов, таких как:

- Sprint-Layout
- Eagle
- DipTrace
- ExpressPCB
- Altium Designer
- Kicad
- P-CAD

Выбор остановился на программе Altium Designer (рисунок 3.1.), так как это одна из самых развивающихся САПР, имеющая в себе проектную структуру и целостность ведения разработки на разных этапах проектирования.

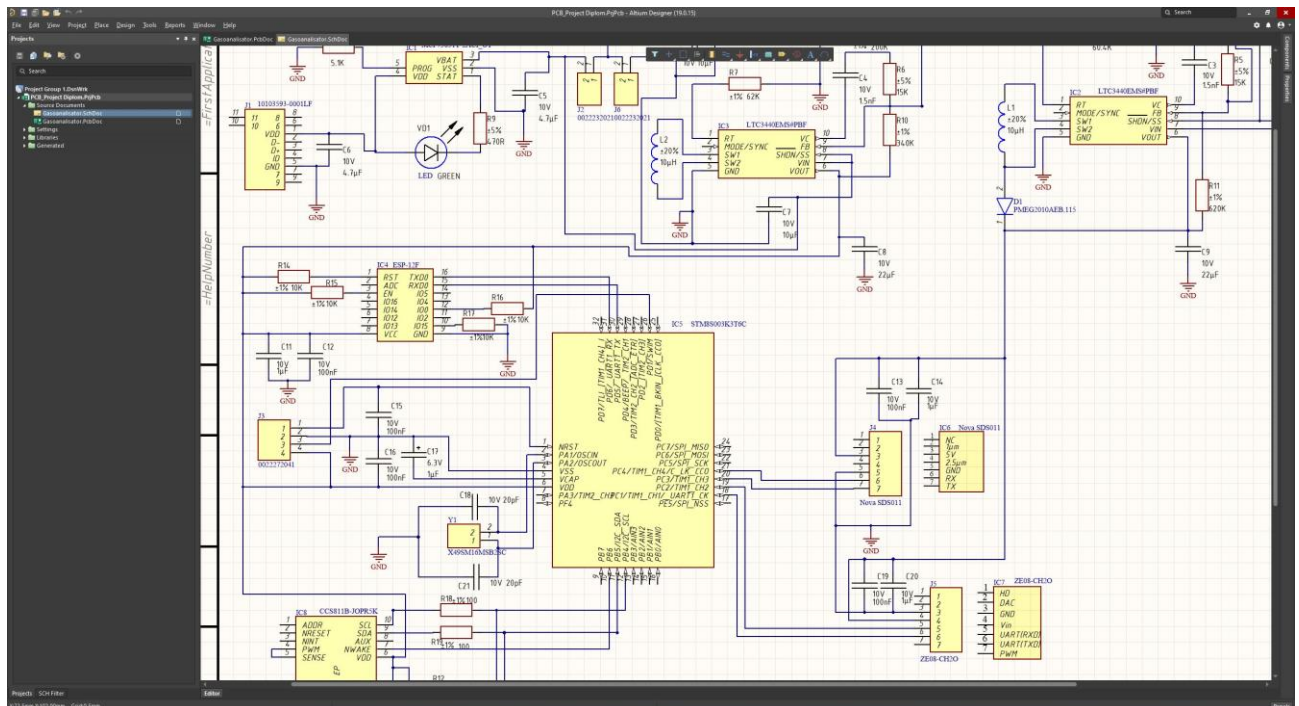


Рисунок 3.1. Рабочее окно программы Altium Designer

В Altium Designer возможно выполнять такие основные этапы работ, как чертёж схемы, разводка трассировочных проводников между элементами, моделирование, отладка проектов на базе полученной электрической схемы, оформление и вывод необходимой документации.

Редактор печатных плат Altium Designer имеет мощные средства интерактивного размещения компонентов и трассировки проводников, которые интуитивны и полностью визуализированы системой установки правил проектирования, и это максимально упрощает процесс разработки электроники. Инструменты для трассировки учитывают все требования, предъявляемые современными технологиями разработок.

3.1. Постановка задач проектирования и разработка принципиальной схемы

Целью дипломной работы была поставлена задача спроектировать плату управления трех сенсоров с возможностью вывода данных через модуль ESP - 12F [37] с интерфейсом Wi-Fi на базе микроконтроллер ESP8266.

Перед тем как начать разработку принципиальной схемы платы, были поставлены подзадачи, формирующие основные блоки, из которых в дальнейшем была спроектирована конечная схема. К этим блокам относятся:

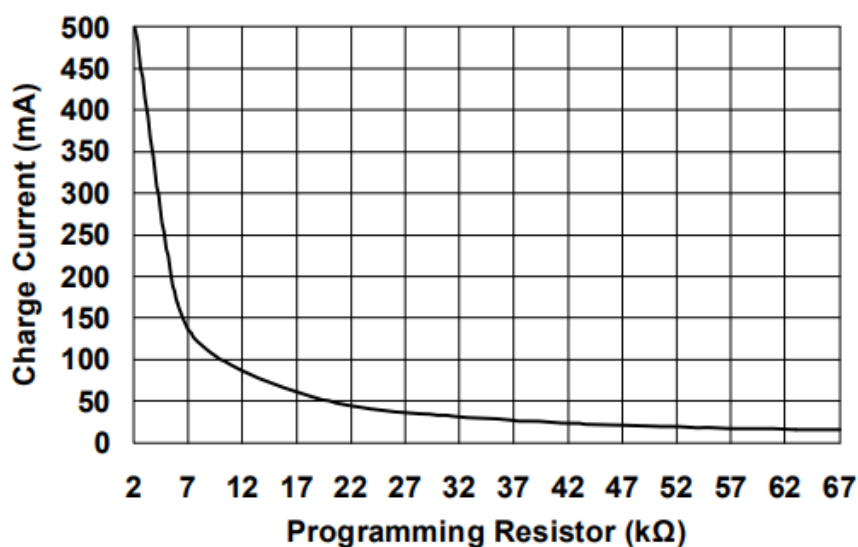
- Блок питания всех элементов платы и датчиков.
- Блок питание Li-ion аккумуляторов типоразмера 18650.
- Блок подключения микроконтроллера STM8S105K [38] и его периферии
- Блок подключения ESP - 12F
- Блок подключения CCS811B-JOPR5K и его периферии

Блок питания имеет входной параметр постоянного напряжения 3,7 В и выходные параметры 3,3 и 5 В постоянного напряжения. Этот блок построен на базе двух DC/DC преобразователей LTC3440 [39] от компании Linear Technology, они специально спроектированы для питания ПП от аккумуляторов и имеют КПД приблизительно 95%, что приемлемо для

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

питания маломощных устройств. Расчеты номиналов близлежащих элементов производились по рекомендациям из документации на LTC3440.

Блок питания Li-ion аккумуляторов нужен для удобства использования конечного устройства. При его наличии не нужно вынимать аккумуляторы из держателя каждый раз, когда они разряжаются. Блок питания основан на микросхеме MCP73831 [40] от компании Microchip. Для регулировки выходного тока питания аккумуляторов от MCP73831 нужно по графику (рисунок 3.2.) зависимости величины тока от сопротивления подтягивающего резистора подключенного к выводу PROG микросхемы выбрать нужное сопротивление. Был выбран номинал 5.1 КОм, что соответствует примерно 270 мА. Выбор такого тока питания поможет продлить срок службы аккумуляторов. Все остальные расчеты номинальных значений



производились согласно рекомендациям в документации.

Рисунок 3.2. Зависимость тока питания от сопротивления R_{PROG}

Основной блок управления имеет микроконтроллер STM8S105K компании STMicroelectronics. Этот микроконтроллер имеет все необходимые интерфейсы подключения, такие как UART2 и I²C для работы с датчиками, 16 разрядный таймер для SWUART (программный UART), и так же имеет возможность подключения внешнего высокочастотного кварцевого генератора. Помимо микроконтроллера в этом блоке имеются внешний

кварцевый генератор, 2 коннектора для подключения датчиков (SDS011 и ZE08-CH₂O) и 1 коннектор для однопроводного интерфейсного модуля (SWIM), предназначенного для внутрисхемного программирования и отладки.

Блок ESP - 12F имеет три подтягивающих резистора (R14, R15, R16), расположенных между высоким уровнем питания и портами ESP-12F (IO0, RST, EN) для задания стабильной логической единицы, так же к питанию модуля подключены 2 фильтрующих керамических конденсатора (C11, C12). Обмен данными между модулем Wi-Fi и управляющим микроконтроллером осуществлен через порты TXD0 и RXD0 (UART2).

Микросхема CCS811B-JOPR5K имеет тип SMD и устанавливается поверхностным монтажом. Ее расположение находится вблизи управляющего микроконтроллера для снижения импеданса сигнальных линий. В периферии микросхемы CCS811 расположены два резистора (R18, R19) на линии тактирования и линии данных (CLK и SDA) для снижения максимально тока, два подтягивающих резистора (R12, R13) для задания логической единицы и фильтрующий конденсатор на линии питания (C10).

Принципиальная схема управляющей платы газоанализатора представлена в приложении 1.

3.2. Размещение элементов и трассировка ПП

После прохождения проверки принципиальной схемы в Altium Designer можно в автоматическом режиме создать список компонентов и их соединений из схемы и перенести в редактор печатных плат. Список компонентов и их соединения загружаются в PCB редактор и появляются в рабочем окне. Проектная работа включает в себя следующие процедуры:

- Задание технологического описания и правил проектирования;
- Размещение компонентов на плате;
- Задание размеров и параметров платы;

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

- Трассировка печатных проводников;
- Проверка на ошибки;

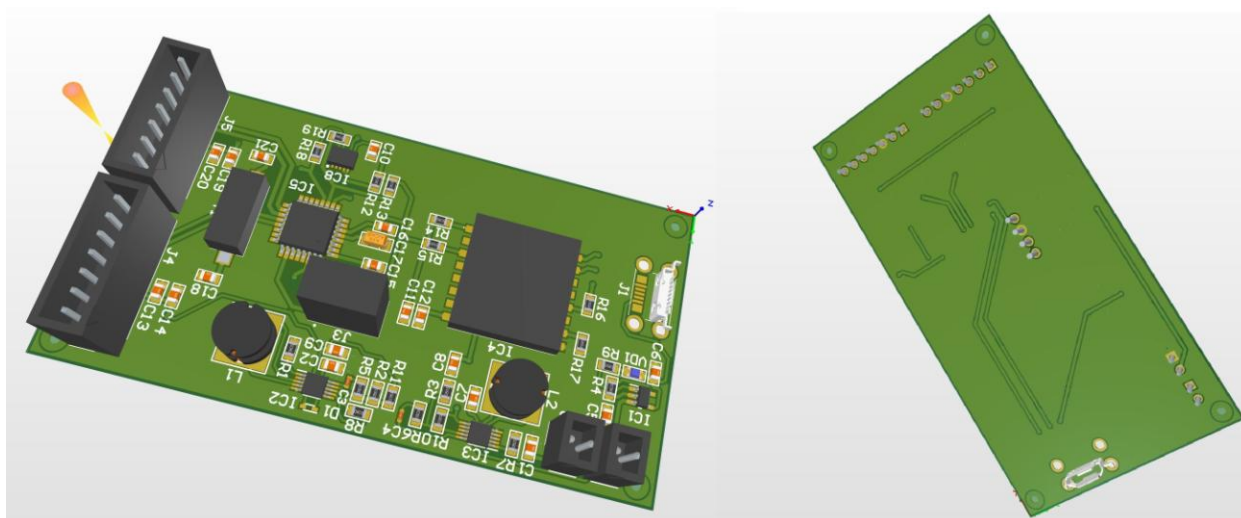
При настройках правил проектирования задаются все параметры, связанные с толщинами проводников, их шириной, зазорами, отверстиями и т.д. Задаются параметры в соответствии с классом точности ГОСТ Р 53429 - 2009, это так же влияет на конечную цену изделия. Так как количество компонентов и размер печатной платы позволяют произвести трассировку на двухслойной ПП, был выбран 4 класс точности, отвечающий поставленным задачам. Значения заданные в правилах проектирования приведены в таблице 12.

Таблица 12

Значения параметров проектирования

Наименование параметра	Значение размеров для 4 класса точности
Ширина проводника	От 0.15 до 0.4 мм
Расстояние между проводниками	От 0.15 до 0.6 мм
Гарантийный поясок вокруг отверстий	0.55 мм
Диаметр переходных отверстий	0.3 ± 0.03 мм
Толщина платы	1.6 мм
Размеры платы	85×45 мм
Материал ПП	FR-4: TG130
Шелкография	Белая
Паяльная маска	В проекте зеленая, (при заказе черная)

Для облегчения расстановки компонентов на печатной плате параллельно с 2D режимом использовался 3D режим. Конечные этапы



разработки ПП в Altium Designer показаны на рисунках 3.3. и 3.4.

Рисунок 3.3. Передняя и задняя сторона платы в 3D режиме

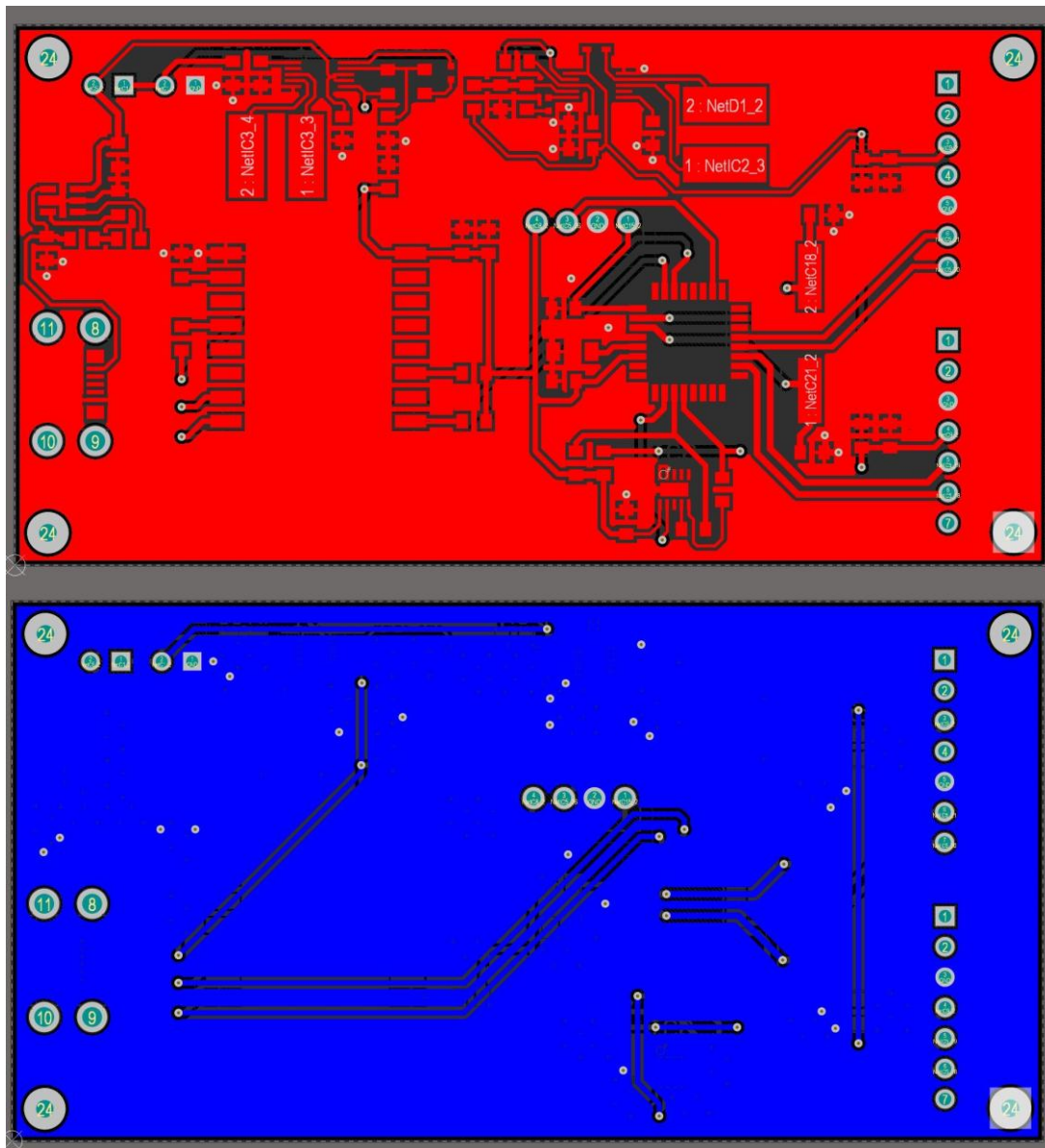


Рисунок 3.4. Первый и второй слой платы в 2D режиме

3.3. Экспорт документации

После проверки ПП на ошибки производится экспорт технологической и конструкторской документации при помощи встроенных команд САПР, выполняется это из папки Output Job Files дерева проекта, созданной при начальных настройках. Выполняется экспорт топологии печатной платы в формат Gerber и экспорт файла мест сверления отверстий в формат NC Drill, так же можно вывести перечень компонентов в формате Excel.

Данного перечня документов достаточно для того, чтобы заказать изготовление ПП на производстве. При выборе фирм, занимающихся

									Лист
									41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

3.4. Вывод

В ходе проектирования печатной платы преследовалась цель сделать ее компактной и надежной. Цель была достигнута и все функциональные возможности управляющей платы были реализованы.

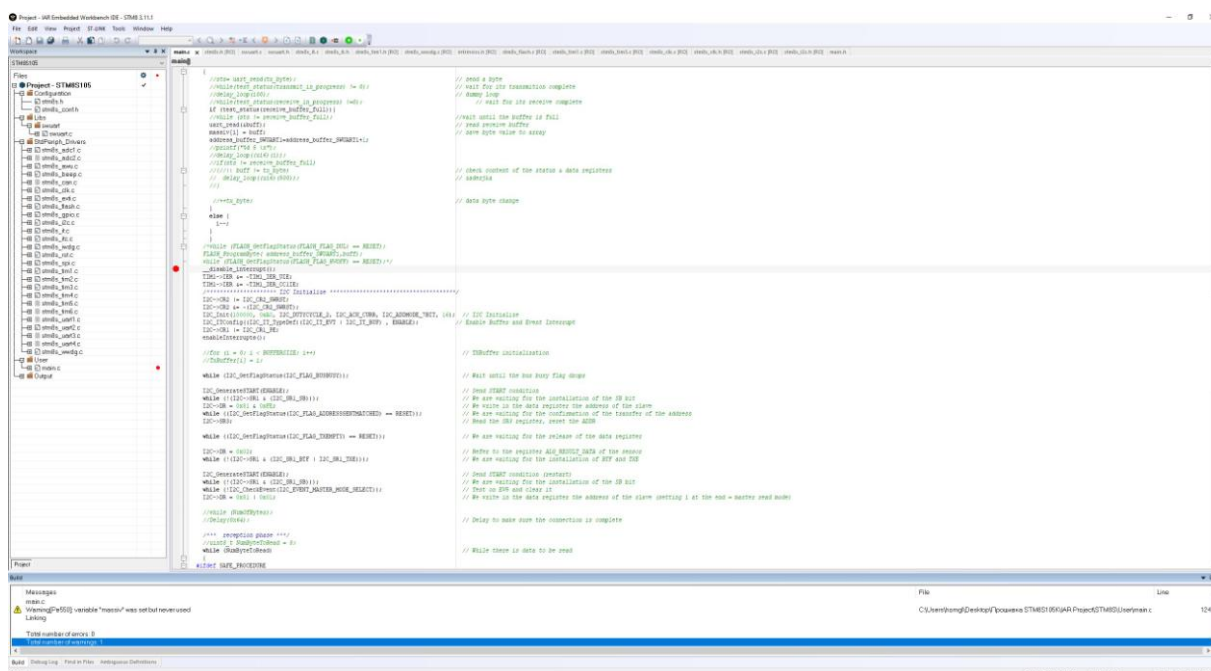
					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

4. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В нашем случае микроконтроллер является прямым приемником значений, поступающей с датчиков. Для работы и обработки данных необходимо программное обеспечение микроконтроллера, созданное в профессиональных средах разработки. При поиске подходящей среды выбор остановился на IAR Embedded Workbench от компании IAR Systems, это интегрированная система разработки приложений IDE, она имеет удобный пользовательский интерфейс и подробную техническую документацию, что позволяет в короткие сроки приступить к работе. Комплект IAR Embedded Workbench содержит:

- C/C++ компилятор;
- Транслятор языка ассемблера;
- компоновщик;
- Программы для работы с библиотечными подпрограммами;
- Редактор;
- Менеджер проекта;
- C-SPY отладчик;

Благодаря встроенному функционалу можно не только разрабатывать код программы, но и производить наглядную отладку работы микроконтроллера. На



рисунке 4.1. изображено рабочее окно IAR Embedded Workbench.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

11.03.04.2020.453 ПЗ

Лист

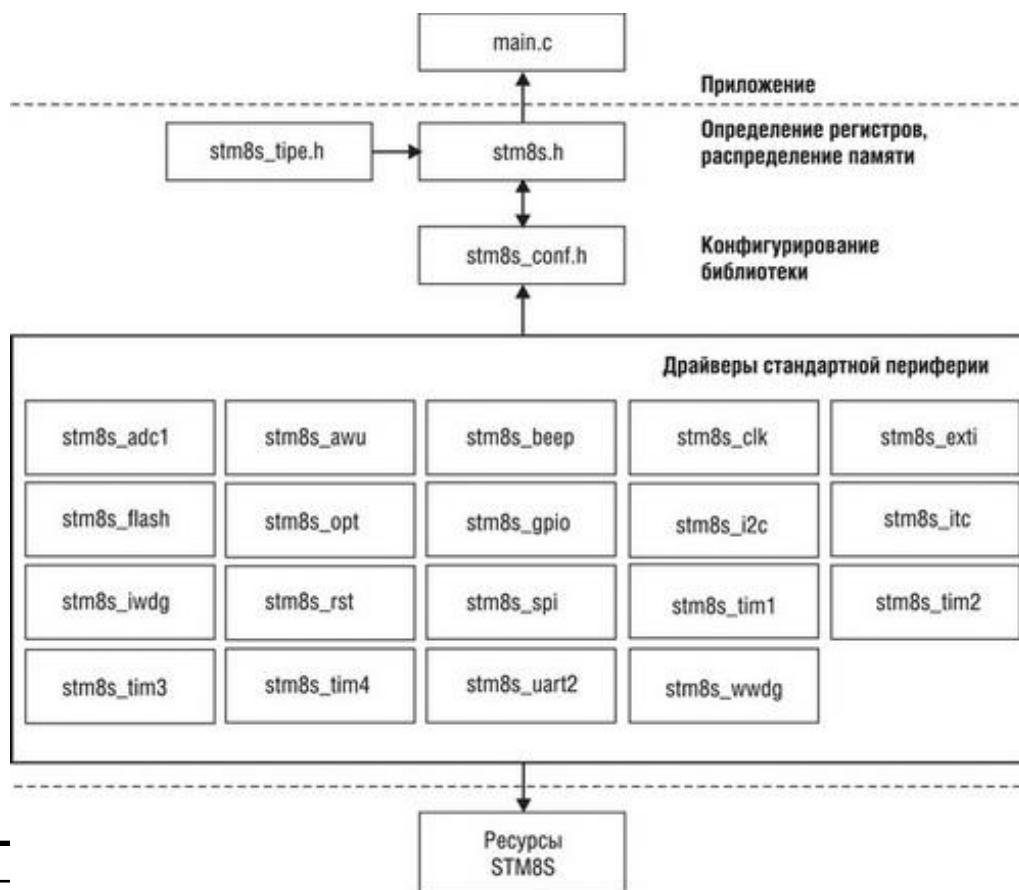
44

на рисунке 4.2.

Рисунок 4.2. Схема архитектуры микроконтроллера STM8S [38]

На схеме видно большое количество блоков, часть из которых для данных задач не понадобятся. Использоваться будут только блок тактирования периферией (Clock controller), при этом тактирование будет происходить от внешнего и стабильного кварцевого резонатора на 16 МГц, а не от внутренних RC генераторов, блок ядра микроконтроллера (STM core), блок интерфейса I²C (I2C), блок интерфейса UART (UART2, универсальный асинхронный приёмопередатчик), раздел памяти (Program flash, EEPROM, RAM), блок таймера 1 (TIM1).

Компании STMicroelectronics на официальном сайте предоставляет всю информация, касающуюся программирования этой серии микроконтроллеров. Оттуда были скачаны библиотеки стандартной периферии, которые содержат структуру данных, набор функций и макросов для работы с периферией микроконтроллера STM8S. На рисунке 4.3. изображена структура всех основных библиотек для работы с



микроконтроллером.

Рисунок 4.3. Схема набора стандартных библиотек от STMicroelectronics [41]

Библиотека `stm8s.h` это основной файл, в котором определены все регистры. И обращение к регистрам происходит не поадресно, а через переопределенные наименования, соответствующие наименованиям в документации.

В проекте использовались не все библиотеки, предлагаемые STMicroelectronics, а только: `stm8s.h`, `stm8s_clk` (система тактирования ядра и периферии), `stm8s_flash` (функции управления памятью Flash, eeprom, RAM), `stm8s_gpio` (настройка и управление режимов работы ввода-выводов), `stm8s_i2c` (функции интерфейса I²C), `stm8s_itc` (шаблоны для настройки внешних и внутренних прерываний), `stm8s_tim1` (настройка режимов работы таймера 1), `stm8s_uart2` (функции интерфейса UART2), `swuart` (функции программного UART).

После настройки проекта в IAR Embedded Workbench и подключения всех библиотек было написано программное обеспечение в состав которого входит настройка таких основных частей как:

- Тактирования периферии
- Таймера1 и таймера2 для программных интерфейсов
- Портов ввода – вывода
- Аппаратного интерфейса UART2
- Программного интерфейса UART1 и UART2 (SWUART)
- Аппаратного интерфейса I²C

Код программного обеспечения можно увидеть в приложении 2. После написания кода программы, при помощи программатора ST link/V2 от компании производителя микроконтроллера была загружена прошивка непосредственно в сам микроконтроллер, после чего были произведены отладка работы микроконтроллера по приему данных от датчиков и

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

перенаправлению этой информации в модуль ESP8266. Работу микроконтроллера можно представить в виде блок-схемы, изображенной на рисунке 4.4.

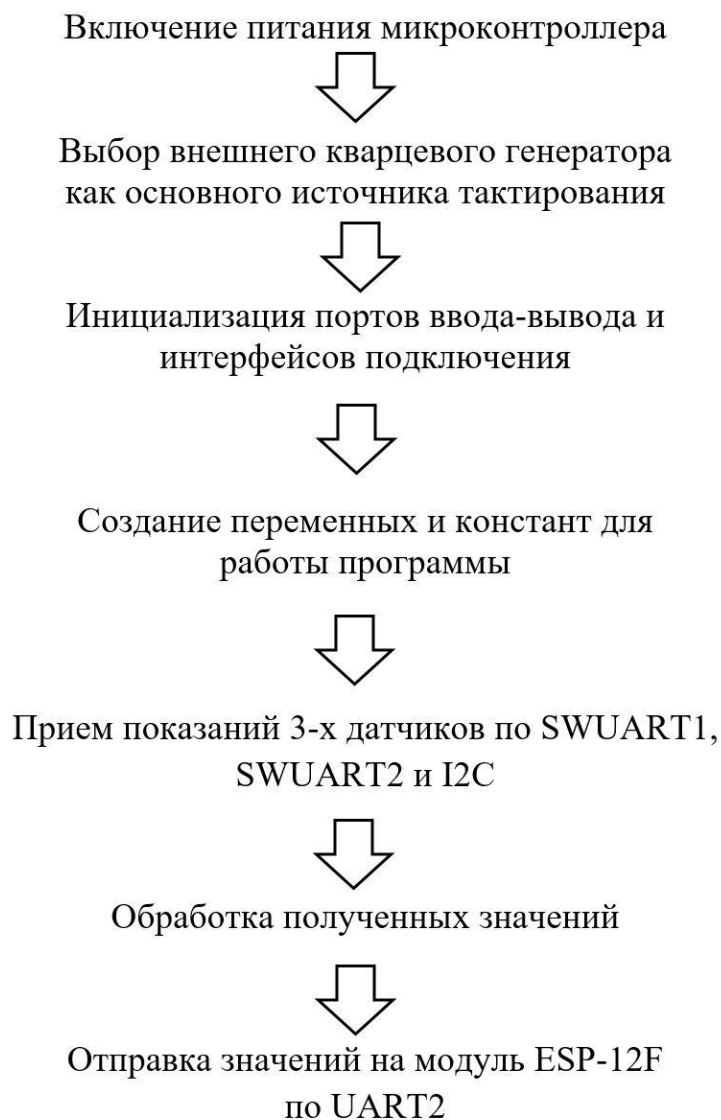


Рисунок 4.4. Ход выполнения программного обеспечения на STM8S

4.2. Программирование микроконтроллера ESP8266 (ESP-12F)

ESP8266 это 32-х разрядный микроконтроллер с частотой работы 80 МГц и интерфейсом Wi-Fi, на базе этого микроконтроллера изготовлен модуль ESP-12F, изображен на рисунке 3.5. Он не имеет встроенной энергонезависимой памяти, поэтому она реализована внешним

дополнительным чипом памяти (от 1 МБ до 16 МБ) на модуле с интерфейсом SPI. Производитель Espressif Systems не дает точной информации о структуре внутренней периферии микроконтроллера, взамен этого представлены набор библиотек и документаций на API – это описание способов взаимодействия одного устройства (программы) с другим устройством (программой). Программные средства разработчика представлены в виде комплекта SDK (набор средств разработки для создания приложений в определенном пакета программ), который содержит компилятор GCC, библиотеки и опциональное IDE. Espressif Systems поддерживает такие версии SDK, как RTOS и Callback. Помимо этого, существуют альтернативные SDK от других разработчиков, использующие либо официальные библиотеки, либо собственные. Официальные библиотеки основаны на AT командах, функционал которых ограничен разработчиками Espressif. К альтернативным SDK относится Arduino IDE, которая имеет такие основные библиотеки работы с ESP8266, как ESP8266WiFi.h, WiFiClient.h, ESP8266WebServer.h. Основными достоинствами данной IDE являются большой набор возможностей, не так сильно ограниченный стандартными командами разработчика, как у Espressif Systems, и отсутствие постоянно вводимых AT команд через интерфейс UART, занятый микроконтроллером STM8S.

На основании данных преимуществ среды разработки программного обеспечения ESP8266 была выбрана Arduino IDE, показана на рисунке 4.5.

									Лист
									49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

11.03.04.2020.453 ПЗ

```

1 // ARD UNO ESP8266
2 // D10 <-> TX // Unhook before upload sketch
3 // D11 <-> RX // Unhook before upload sketch
4 // GND <-> GND
5
6 #include <ESP8266WiFi.h>
7 #define RcvCount 10
8 #define Tmpo 1
9
10 const char* ssid = "E3K"; // MOD
11 const char* pwd = "pwd"; // MOD
12 const char* hostIP = "192.168.43.220"; // MOD
13 const int sendPort = 8889; // MOD
14 const int recvPort = 8890; // MOD
15
16 String UARTrecvData; // AUTO
17 char UARTrecvBuffer; // AUTO
18 int UARTrecvCount; // AUTO
19
20 String WiFi sendData; // AUTO
21 String WiFi recvData; // AUTO
22 char WiFi recvBuffer; // AUTO
23 int WiFi recvCount; // AUTO
24
25 WiFiServer server(recvPort);
26 WiFiClient client;
27
28 void setup() { // -----
29   Serial.begin(9600); // For com with ARD
30   WiFiConnect();
31   WiFiServerConnect();
32   server.begin();
33   client.setTimeout(1);
34   Serial.println("Initialized");
35 }
36
37 void loop() { // -----
38   UARTrecv();
39   WiFiSendData = UARTrecvData;
40   WiFiSend();
41   WiFirecv();
42 }

```

Рисунок 4.5. Рабочее окно Arduino IDE

Задачей модуля ESP-12F является трансляция всех полученных данных от STM8S в назначенный адрес страницы веб-сервера по Wi-Fi. ESP-12F переходит в состояние точки доступа Wi-Fi и является сервером для хранения показаний датчиков. Для подключения к точке доступа на устройстве клиента необходимо найти необходимую сеть и подключиться к ней. Данные отправленные с ESP8266 находятся на странице с URL (унифицированный указатель ресурса) 192.68.4.1. Указатель соответствует IP адресу, указанному в коде программного обеспечения.

Код программы можно разделить на такие фрагменты как:

- Подключение библиотек
- Задание параметров сети
- Установление соединения с сервером
- Передача данных с UART
- Создание HTTP сервера

Установка программного обеспечения на ESP-12F производилась через COM порт компьютера при помощи USB - UART TTL конвертера. Код ПО находится в приложении 2.

4.3. Вывод

Полный цикл выполнения программного обеспечения изображен на рисунке 4.6., на нем показано, что данные сформированные сенсорами SDS011, CCS811B-JOPR5K и ZE08-CH₂O передаются и обрабатываются микроконтроллером STM8S, после чего по интерфейсу UART обработанные данные попадают в Wi-Fi модуль ESP8266 и формируются как ответ на GET запрос Web client. На веб странице данные указываются списком и обновляются каждые 3 секунды. Пакет данных состоит из 11 байт и включает в себя 1 стартовый байт, способствующий правильно определить начало пакета данных и 10 байт данных переданных с сенсоров.

[0xFF, PM2.5_L, PM2.5_H, PM10_L, PM10_H, CH₂O_H, CH₂O_L, CO₂_H, CO₂_L, VOC_H, VOC_L],

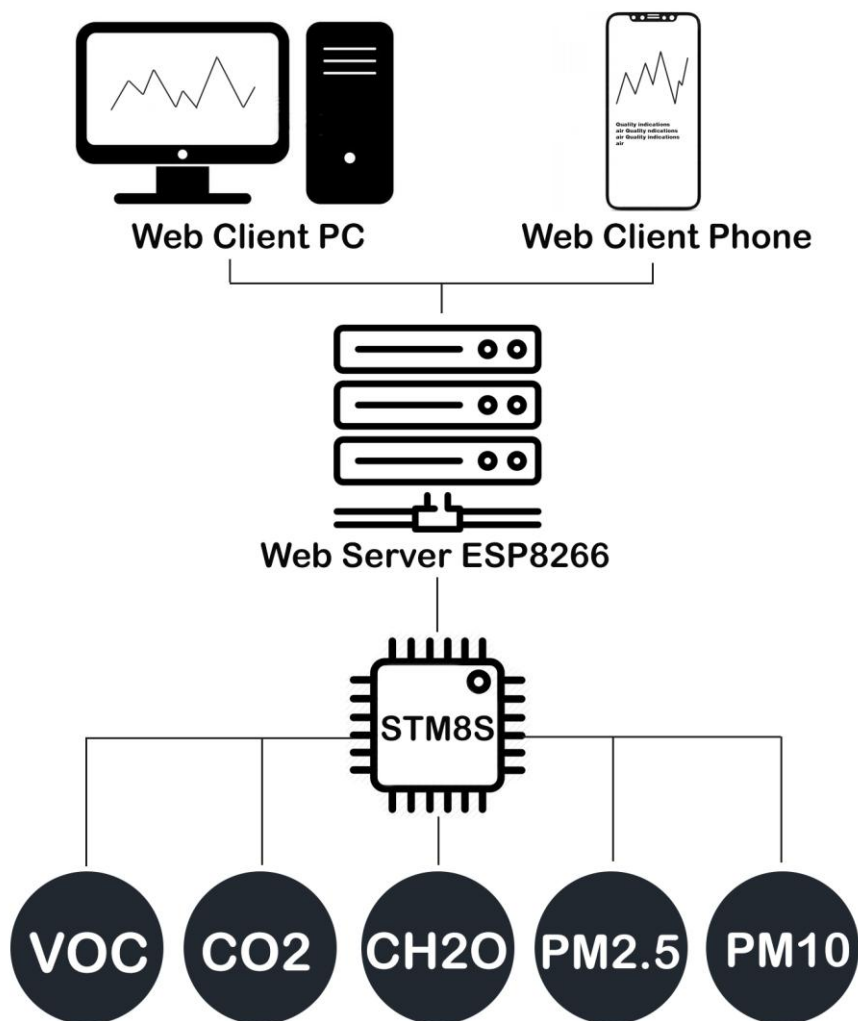
где 0xFF – стартовый байт;

PM2.5_L, PM2.5_H и PM10_L, PM10_H – старший и младший байт PM2.5 и PM10 сенсора SDS011;

CH₂O_H, CH₂O_L – старший и младший байт сенсора ZE08-CH₂O;

									Лист
									51
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

CO2_H, CO2_L и VOC_H, VOC_L – старший и младший байт CO₂ и VOC



сенсора CCS811B-JOPR5K;

Рисунок 4.6. Последовательность выполнения кода программного обеспечения

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТНОГО КОРПУСА ГАЗОАНАЛИЗАТОРА

На современном рынке представлен большой выбор различных САПР (система автоматизированного проектирования) для проектирования 2D и 3D моделей, и лучшим среди базовых САПР, по мнению автора, является AutoCAD, так как эта программа имеет большой выбор функционала и интуитивно понятные инструменты управления. В ней инженер может проектировать и визуализировать готовое изделие до его производства. Так же важным фактом является то, что программа может быть оформлена бесплатно для учащихся в вузах.

5.1. AutoCAD

Для проектирования защитного корпуса газоанализатора нужны размеры внутренних органов управления устройства, которые были взяты из документаций. Для проектирования корпуса были поставлены задачи:

- надежность конструкции;
- возможность быстрой сборки;
- общая целостность модели;
- удобство при транспортировке;
- эстетический внешний вид;

Форма конечной модели представляет собой прямоугольный параллелепипед, высотой 150 мм и основанием 90x90 мм, со сквозными отверстиями для вентиляции. На рисунках 5.1. и 5.2. представлены составные части 3D модели корпуса.

									Лист
									53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

11.03.04.2020.453 ПЗ

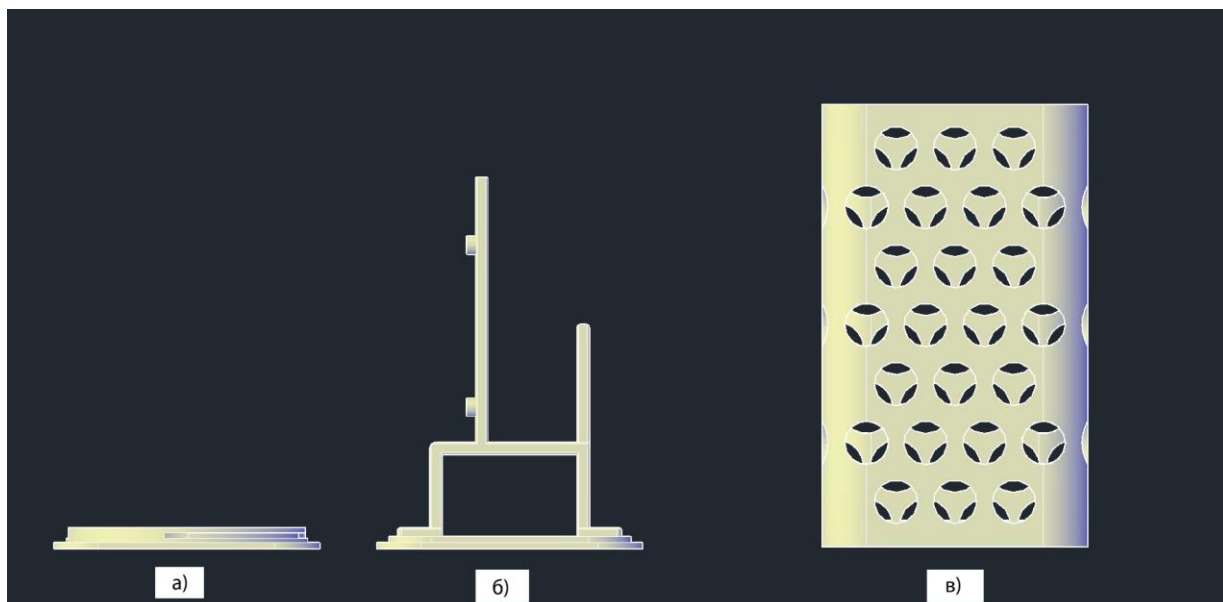


Рисунок 5.1. - 3D модель: а) верхняя торцевая часть корпуса; б) нижняя торцевая часть корпуса со стойками крепления датчиков и ПП; в) основное тело модели корпуса

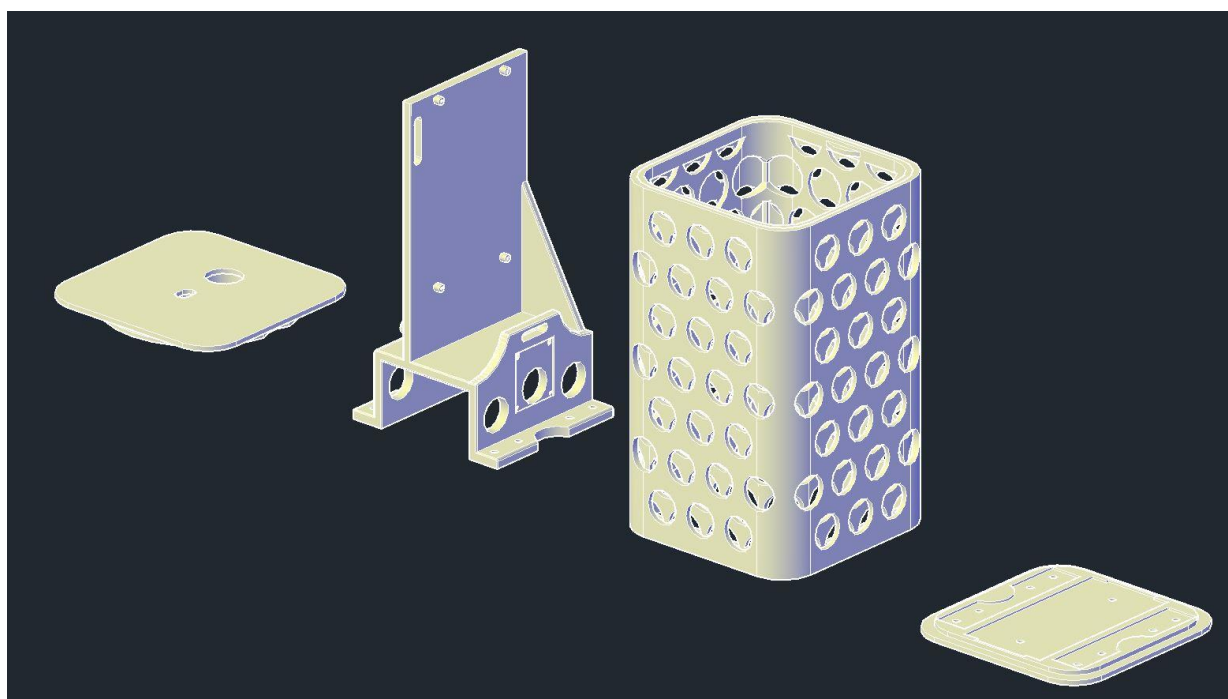


Рисунок 5.2. Конструкция корпуса газоанализатора, вид под углом

5.2. Вывод

При проектировании защитного корпуса газоанализатора были выполнены все поставленные задачи пункта 5.1. и рассчитаны посадочные места для крепления датчиков и платы управления, так же были сделаны все конструктивные отверстия для разъема зарядного устройства, кнопки выключения и облегчения конструкции. Модель была распечатана на 3D принтере с толщеного слоя 0.1 мм АБС (акрилонитрил бутадиен стирол) пластиком, после этого механически обработана и собрана.

									Лист
									54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вопрос об экологии всегда будет актуальным, т.к. с каждым годом производственные силы набирают свои обороты. Правительственные организации в полной мере не справляются с защитой экологии и на сегодняшний день человечество нуждается в решении проблем качества воздуха. Как уже было рассмотрено ранее, ученые со всего мира активно пытаются создать аппаратуру по очистке воздуха, опираясь при этом не всегда на классические методы. И для того, чтобы исследовать эффективность их передовых идей и в целом определять дислокации превышающие предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе, нужно специализированное оборудование, стоимость и возможности функциональных способностей которого способствовали бы быстрому развитию этих инновационных идей.

Целью выпускной квалификационной работы было поставлено разработать специализированное оборудование, называемое газоанализатором качества воздуха. И на основании рассмотренного списка, самых часто встречающихся вредных веществ в воздушной массе, был укомплектован необходимый набор сенсоров, состоящий из полупроводникового металлооксидного сенсора CCS811B-JOPR5K швейцарской технологической компании AMS AG (Austria Mikro Systeme), для анализа концентрации CO₂ и летучих органических соединений (VOC), оптического сенсора SDS011 китайской компании Nova, для анализа содержания взвешенных частиц и электрохимического сенсора ZE08-CH₂O компании Winsen для анализа формальдегида. Эти сенсоры были выбраны как самые приоритетные среди других аналогичных устройств. Они позволят устройству исследовать значительно больший спектр веществ по сравнению с другими представленными на рынке анализаторами.

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

Для управления выше перечисленных датчиков была разработана печатная плата в программе Altium Designer, создано программное обеспечение для микроконтроллера STM8S в среде программирования IAR Embedded Workbench, для обработки и сбора данных с датчиков и создано программное обеспечение Wi-Fi модуля ESP8266 в среде Arduino IDE, для передачи данных на веб сервер, так же был спроектирован защитный корпус газоанализатора в системе автоматизированного проектирования AutoCAD.

Данные поступившие на веб станицу изображаются списком и обновляют общий индекс качества воздуха AQI. Часть индекса высчитывается аналогично индексам других стран, рассмотренных в параграфе 1.3, но из-за достаточно большого времени ожидания результатов в классическом методе, была применена аппроксимация методом экспоненциально скользящего среднего (EMA), с целью сократить количество средних значений до одного. На веб странице справа от списка веществ изображен цветовой индикатор, соответствующий значениям AQI:

Зеленый → Хорошо. Означает то, что воздух в среде в пределах нормы.

Желтый → Удовлетворительно. Качество воздуха приемлемо, однако некоторые загрязнители могут представлять опасность людям, чувствительным к загрязнениям в воздухе. Желательно проветрить помещение.

Оранжевый → Неудовлетворительно. Оказывает влияние на самочувствие людей чувствительных к загрязнениям в воздухе, детей и людей старше 60 лет. Нет ухудшения самочувствия у большинства людей. При таких показателях необходимо проветрить помещение или запустить фильтрацию воздуха.

Красный → Опасно. Качество воздуха опасно для каждого человека и может оказывать серьёзное воздействие на здоровье человека. При регулярном показании максимального значения (красного) газоанализатором необходимо

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

устранить источник вредных веществ или установить постоянно работающий фильтр высокой производительности.

Практическая значимость выпускной квалификационной работы заключается в том, что разработанное устройство может стать частью научно-исследовательского проекта изучения влияния различных растений на качество воздуха и использоваться в офисных и жилых помещениях, детских дошкольных учреждениях, школах и университетах для определения качества среды.

В дальнейшем можно реализовать вывод информации газоанализатора более удобным образом, при помощи мобильного приложения, добавить дополнительные датчики температуры и влажности для расширения функциональных способностей и так же реализовать автоматическое обновления данных на веб странице с графиками зависимости значений от времени.

									Лист
									57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Загрязнение атмосферного воздуха вредными веществами: сайт. – URL: http://www.ozonprogram.ru/biblioteka/slovar/zagrzaznenie_atmosfery/ (дата обращения: 15.02.2020). – Текст: электронный.

3. International Publication Number NASA-TM-108061, NASA A Study of Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement: United State, 1989.

4. К. В. Воробьев, М. Н. Мешалкина, Н. С. Пщелко, О. Н. Рублевская, Г. Л. Спичкин - Поглощение органических и неорганических газовых загрязнителей высшими растениями в условиях антропогенных нагрузок.

5. Сравнение выбросов загрязняющих веществ от автомобилей и различных энергетических установок: сайт. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnenie-vybrosov-zagryaznyayuschih-veschestv-ot-avtomobiley-i-razlichnyh-energeticheskikh-ustanovok> (дата обращения: 16.02.2020). – Текст: электронный.

6. ГН 2.1.6.3492-17 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений, дата введения 22.12.2017. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/556185926> (дата обращения: 26.03.2020). –Текст: электронный.

7. Виды вредных соединений в квартире или доме: сайт. – URL: <http://proklumbu.com/komnatnue/ochishajushie.html> (дата обращения: 18.02.2020). – Текст: электронный.

8. РД 52.04.186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы (Часть I. Разделы 1-5), дата введения 01.07.1991. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200036406> (дата обращения: 26.03.2020). –Текст: электронный.

9. ГОСТ Р ИСО 16000-1-2007. Воздух замкнутых помещений. Часть 1. Отбор проб. Общие положения, дата введения 01.10.2007. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-16000-1-2007> (дата обращения: 24.12.2019). –Текст: электронный.

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

10. ГОСТ 30255-2014 Мебель, древесные и полимерные материалы. Метод определения выделения формальдегида и других вредных летучих химических веществ в климатических камерах, дата введения 01.07.2015. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200111602> (дата обращения: 24.12.2019). –Текст: электронный.

11. A Comprehensive Real-Time Indoor Air-Quality Level Indicator, Jungho Kang 1 and Kwang-II Hwang 2

12. Environment and Climate Change Canada. Air Quality Health Index Categories and Health Messages—The AQHI Uses a Scale to Show the Health Risk Associated with the Air Pollution We Breathe. 2008. URL: <http://www.ec.gc.ca/cas-ghi/default.asp?lang=En&n=79A8041B-1> (дата обращения: 26.04.2020). –Текст: электронный.

13. Government of the Hong Kong Special Administrative Region. “Air-Quality Health Index”: сайт. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Air_Quality_Health_Index (дата обращения: 18.01.2020). – Текст: электронный.

14. Chinese Environmental Protection Department. People’s Republic of China Ministry of Environmental Protection Standard: Technical Regulation on Ambient Air-Quality Index (Chinese PDF): сайт. – URL: <http://kjs.mep.gov.cn/hjbhbz/bzwb/dqhjbh/jcgfffbz/201203/W020120410332725219541.pdf> (дата обращения: 19.01.2020). – Текст: электронный.

15. Lakshmi, R. India Launches Its Own Air-Quality Index. Can Its Numbers Be Trusted? Washington Post. 2014: сайт. – URL: <https://www.washingtonpost.com/news/worldviews/wp/2014/10/17/india-launchesits-own-air-quality-index-can-its-numbers-be-trusted/> (дата обращения: 11.01.2020). – Текст: электронный.

16. Ministry of the Environment and Water Resources. Singapore, MEWR—Key Environment Statistics—Clean Air. 2007: сайт. – URL: <http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/APCITY/UNPAN026593.pdf> (дата обращения: 12.01.2020). – Текст: электронный.

: сайт. – URL: (дата обращения: 12.01.2020). – Текст: электронный.

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

17. Air Korea. What's CAI: сайт. – URL: <http://www.airkorea.or.kr/eng/cai/cai1> (дата обращения: 13.01.2020). – Текст: электронный.
18. COMEAP. Review of the UK Air-Quality Index: сайт. – URL: <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20140505104700/http://comeap.org.uk/documents/130-review-of-the-uk-air-quality-index.html> (дата обращения: 15.01.2020). – Текст: электронный.
19. Garcia, J.; Colosio, J. Air-Quality Indices: Elaboration, Uses and International Comparisons; Les Presses de l'cole des Mines: Paris, France, 2002.
20. AirNow. Air-Quality Index (AQI) Basics. 2011: сайт. – URL: <https://www.airnow.gov/index.cfm?action=aqibasics.aqi> (дата обращения: 16.02.2020). – Текст: электронный.
21. Доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Челябинской области в 2019 году» подготовлен рабочей группой в составе: Управление Роспотребнадзора по Челябинской области: сайт. – URL: <http://74.rospotrebnadzor.ru/268> (дата обращения: 13.03.2020). – Текст: электронный.
22. Сенсоры и блоки датчиков для приборов газового анализа: сайт. – URL: <https://www.sensorgas.ru/poleznoe.html&art=1> (дата обращения: 16.02.2020). – Текст: электронный.
23. Technical information for tgs2600: сайт. – URL: https://roboshop.spb.ru/index.php?route=product/product/download&product_id=515&download_id=308 (дата обращения: 20.03.2020). – Текст: электронный.
24. Technical information for AGS01DB: сайт. – URL: https://datasheet.lcsc.com/szlcsc/1912111437_Aosong-Guangzhou-Elec-AGS01DB_C368911.pdf (дата обращения: 20.03.2020). – Текст: электронный.
25. Technical information for MQ135: сайт. – URL: <https://static.chipdip.ru/lib/184/DOC001184455.pdf> (дата обращения: 20.03.2020). – Текст: электронный.

										Лист
										60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

11.03.04.2020.453 ПЗ

26. Technical information for CCS811: сайт. – URL: https://cdn.sparkfun.com/assets/learn_tutorials/1/4/3/CCS811_Datasheet-DS000459.pdf (дата обращения: 20.03.2020). – Текст: электронный.
27. Laser PM2.5 Sensor specification Product model: SDS011
28. Digital universal particle concentration sensor PMSA003 series data manual
29. HPM Series Particulate Matter Sensors: сайт. – URL: <https://doc.platan.ru/pdf/datasheets/honeywell/HPM.pdf> (дата обращения: 20.03.2020). – Текст: электронный.
30. Me PM2.5 Sensor 11048: сайт. – URL: https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Makeblock%20PDFs/11048_Web.pdf (дата обращения: 20.03.2020). – Текст: электронный.
31. MQ138 VOC Gas Sensor: сайт. – URL: [https://www.winsensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ138%20\(Ver1.4\)%20-%20Manual.pdf](https://www.winsensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ138%20(Ver1.4)%20-%20Manual.pdf) (дата обращения: 20.03.2020). – Текст: электронный
32. Technical information for 4CH2O-10: сайт. – URL: http://semeatech.com/uploads/datasheet/4series/072-0000-000_EN.pdf (дата обращения: 20.03.2020). – Текст: электронный.
33. Technical information for ZE08-CH2O: сайт. – URL: <https://www.winsensor.com/d/files/PDF/Gas%20Sensor%20Module/Formaldehyde%20Detection%20Module/ZE08-CH2O%20V1.0.pdf> (дата обращения: 20.03.2020). – Текст: электронный.
34. Technical information for 2-FP5: сайт. – URL: <http://www.gassensor.ru/data/files/formaldehyde/HCHOSensorDatasheet.pdf> (дата обращения: 20.03.2020). – Текст: электронный.
35. Egorov A.A., Egorov M.A., Tsareva Yu.I., and Chekhlova T.K. Study of the integrated-optical concentration sensor for gaseous substances // Laser Physics, 2007, V. 17, pp. 50-53.
36. Хансперджер Р. Интегральная оптика: Теория и технология. – М.: Мир, 1985.

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

37. Technical information for ESP-12F Datasheet: сайт. – URL: http://wiki.ai-thinker.com/_media/esp8266/a014ps01.pdf (дата обращения: 21.03.2020). – Текст: электронный.

38. Datasheet - production data Reference manual STM8S105K: сайт. – URL: https://www.st.com/resource/en/reference_manual/cd00190271-stm8s-series-and-stm8af-series-8bit-microcontrollers-stmicroelectronics.pdf (дата обращения: 21.03.2020). – Текст: электронный.

39. LTC3440 Datasheet: сайт. – URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/3440fd.pdf> (дата обращения: 22.03.2020). – Текст: электронный.

40. MCP73831 Datasheet: сайт. – URL: https://cdn.sparkfun.com/assets/learn_tutorials/6/9/5/MCP738312.pdf (дата обращения: 22.03.2020). – Текст: электронный.

41. Схема библиотек СТМ: сайт. – URL: <https://www.compel.ru/lib/54344> (дата обращения: 22.03.2020). – Текст: электронный.

42. International Publication Number WO 2017/093744 A1; Julian Paul Melchiorri.; Photo - Bioreactor Device and Methods; ARBOREA LTD: United State, 2019.

43. Mark Prescott, Raymond Greenstreet.; brēth™ Air Cleaning System Efficacy Investigation: United State, August 2018.

44. Стены из живых растений в Агропромышленном комплексе г. Курск сайт. – URL: <http://emeraldgreen.ru/portfolio/wall-of-living-plants-kursk/> (дата обращения: 12.06.2020). – Текст: электронный.

									Лист
									62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

ПРИЛОЖЕНИЕ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Текст программы для микроконтроллера STM8S

```
#include <time.h>
#include <stdio.h>
#include <intrinsics.h> // __enable_interrupt
#include "stm8s_flash.h"
#include "swuart.h"
#include "swuart2.h"
#include "main.h"

#define SDA_UP      ( GPIOB->DDR &= ~(1 << 5)) // SDA ? "1"
#define SDA_DOWN   ( GPIOB->DDR |= (1 << 5)) // SDA ? "0"
#define SDA_INF     GPIOB->IDR & (1 << 5) // SDA
#define SCL_UP     (GPIOB->DDR &= ~(1 << 4)) // SCL ? "1"
#define SCL_DOWN   (GPIOB->DDR |= (1 << 4)) // SCL ? "0"
#define SCL_INF     GPIOB->IDR & (1 << 4) // SCL
#define time        16

void delay_loop(u16 wt) {
    while(wt--);
}

void Boom(){
    for (int t=0; t<10; t++){
        SCL_UP;
        delay_loop(time);
        SCL_DOWN;
        delay_loop(time);
    }
}
```

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

```

void I2C_START()
{
    delay_loop(time);
    SDA_UP;           // SDA ? "1"
    delay_loop(time);
    SCL_UP;          // SCL ? "1"
    delay_loop(time);
    SDA_DOWN;        // SDA ? "0"
    delay_loop(time);
    SCL_DOWN;        // SCL ? "0"
    delay_loop(time);
}
void I2C_STOP()
{
    SCL_DOWN;        // SCL ? "0"
    delay_loop(time);
    SDA_DOWN;        // SDA ? "0"
    delay_loop(time);
    SCL_UP;          // SCL ? "1"
    delay_loop(time);
    SDA_UP;          // SDA ? "1"
}
void I2C_WRITE(uint8_t Data_out)
{
    int Errorrrr;
    delay_loop(time);
    for (uint8_t t=0; t<8; t++)
    {
        If (Data_out & 0x80){
            SDA_UP;
            while(!SDA_INF);
        }
        else {

```

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

```

    SDA_DOWN;
}
delay_loop(time);
SCL_UP;
while(!SCL_INF);
delay_loop(time);
SCL_DOWN;
delay_loop(time);
Data_out <<= 1;
}

```

```

SDA_UP;
delay_loop(time);
while(!SDA_INF);
SCL_UP;
while(!SCL_INF);
delay_loop(time);

```

```

if(SDA_INF){
    Errorrr = 1;
}
else {
    Errorrr = 0;
}

```

```

SCL_DOWN;
delay_loop(time);
SDA_DOWN;
delay_loop(time);
}

```

```

uint8_t I2C_READ(uint8_t Ack_NoAck)
{

```

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

```

uint8_t Data_in = 0;
delay_loop(time);
for (uint8_t t=0; t<8; t++)
{
    Data_in <<= 1;
    SDA_UP;
    delay_loop(time);
    SCL_UP;
    while(!SCL_INF);
    delay_loop(time);
    Data_in |= SDA_INF;
    SCL_DOWN; // SCL ? "0"
    delay_loop(time);
}

if(!Ack_NoAck){
    SDA_DOWN;
    delay_loop(time);
    SCL_UP;
    while(!SCL_INF);
    delay_loop(time);

    SCL_DOWN;
    delay_loop(time);
}
else {
    SDA_UP;
    while(!SDA_INF);
    delay_loop(time);
    SCL_UP;
    while(!SCL_INF);
    delay_loop(time);
    SCL_DOWN;
}

```

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

```

        delay_loop(time);
        SDA_DOWN;
        delay_loop(time);
    }
return(Data_in);
}

void init() {
    // настройка тактирования
    CLK->ECKR=0;
    CLK->ECKR |= CLK_ECKR_HSEEN;
    CLK->SWCR |= CLK_SWCR_SWEN;
    while(!( CLK->ECKR & (CLK_ECKR_HSERDY)) );
    CLK->CKDIVR =0;
    CLK->SWR = 0xB4;
    while (!(CLK->SWCR & (CLK_SWCR_SWIF)));
    CLK->PCKENR1 |= 0x8D;
    // настройка UART2
    GPIOD->DDR &= ~(1 << 6);
    GPIOD->DDR |=1<<5;
    GPIOD->CR1 &= ~(1 << 6);
    GPIOD->CR2 |= 1<<6;
    // скорость передачи 9600
    UART2->BRR2 = 0x3;
    UART2->BRR1 = 0x68;
    UART2->CR1 &= ~(UART2_CR1_PIEN);
    UART2->CR1 &= ~(UART2_CR1_PCEN);
    UART2->CR1 &= ~(UART2_CR1_M);
    UART2->CR2 |= UART2_CR2_TEN;
    UART2->CR2 |= UART2_CR2_REN;
    UART2->CR2 |= UART2_CR2_RIEN;
    UART2->CR3 &= ~(UART2_CR3_STOP);

```

									Лист
									67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

11.03.04.2020.453 ПЗ

```

// настройка SWUART SWUART2
GPIOC->DDR &= ~(1 << 3);
GPIOC->DDR &= ~(1 << 1);
GPIOC->DDR |=1<<4;
GPIOC->DDR |=1<<2;
GPIOC->CR1 &= ~(1 << 3);
GPIOC->CR1 &= ~(1 << 1);

__IO uint8_t RxBuffer[BUFFERSIZE];
extern __IO uint8_t TxBuffer[BUFFERSIZE];
TestStatus Buffercmp(uint8_t* pBuffer1, uint8_t* pBuffer2, uint16_t
BufferLength);
void Delay(__IO uint32_t nCount);
}
void main(void) {
// disable interrupts
__disable_interrupt();
init();
FLASH_Unlock(FLASH_MEMTYPE_DATA);
__IO int address_buffer_I2C = 0x4048, Tx_Idx = 0;
__IO uint8_t NumByteToRead = BUFFERSIZE;
__IO uint8_t NumOfBytes = BUFFERSIZE;
int address_buffer_SWUART1= 0x4000;
int i=0, j=0, k=0, n=0;
uint8_t massiv[9];
uint8_t massiv2[10]= { 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
0x00, 0x00,};
uint8_t massiv3[8]= { 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00
};
uint8_t buff; //sts=0x01;
uint8_t buff2;
int Errorrrr;
uart_receive_enable;

```

										Лист
										68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

11.03.04.2020.453 ПЗ


```

uart_receive_enable2;

for(k=0;k<20;k++){

/***** SWUART1 *****/
    __enable_interrupt();
    uart_init();
    TIM1->CCER1 |= TIM1_CCER1_CC1E;
    TIM1->CCER2 &= ~TIM1_CCER2_CC3E;
    TIM1->IER &= ~TIM1_IER_CC3IE;
    TIM1->IER |= TIM1_IER_CC1IE;
    for(i=0;i<=8;i++){
        if (test_status(receive_buffer_full)){
            uart_read(&buff);
            massiv[i] = buff;
        }
        else {
            i--;
        }
    }

/***** SWUART2 *****/
    uart_init2();
    TIM1->CCER2 |= TIM1_CCER2_CC3E;
    TIM1->CCER1&= ~TIM1_CCER1_CC1E;
    TIM1->IER &= ~TIM1_IER_CC1IE;
    TIM1->IER |= TIM1_IER_CC3IE;
    for(n=0;n<=9;n++){
        if (test_status2(receive_buffer_full)) {
            uart_read2(&buff2);
            massiv2[n] = buff2;
        }
        else {

```

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист 69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

```

        n--;
    }
}
__disable_interrupt();
TIM1->IER &= ~TIM1_IER_UIE | TIM1_IER_CC1IE | TIM1_IER_CC3IE;

/***** SOWT I2C Initialize *****/
Errorrr = 0;
uint8_t Slave_Address = 0x5a;
Slave_Address <<= 1;
Boom();
I2C_START();
I2C_WRITE(Slave_Address | 1);
massiv3[0] = I2C_READ(0);
massiv3[1] = I2C_READ(0);
massiv3[2] = I2C_READ(0);
massiv3[3] = I2C_READ(0);
massiv3[4] = I2C_READ(0);
massiv3[5] = I2C_READ(0);
massiv3[6] = I2C_READ(0);
massiv3[7] = I2C_READ(1);
I2C_STOP();

/***** Parcel transfer for ESP8266 *****/
for(j=0;j<4;j++) {
    // expect buffer release
    while (!(UART2->SR & ( UART2_SR_TXE)));
    // send 2-5 bytes from the sensor SDS011
    UART2->DR = massiv2[2+j];
}
for(j=0;j<2;j++) {
    while (!(UART2->SR & ( UART2_SR_TXE)));
    // send 4 and 5 bytes from the sensor ZE08

```

									Лист
									70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

11.03.04.2020.453 ПЗ

```
        UART2->DR = massiv[4+j];
    }
    for(j=0;j<4;j++) {
        while (!(UART2->SR & ( UART2_SR_TXE)));
        // send 0-3 bytes from the sensor CCS811
        UART2->DR = massiv3[j];
    }
}
```

									Лист
									71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	11.03.04.2020.453 ПЗ				

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Текст программы для модуля ESP8266

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266WebServer.h>

#define RcvCount 6
#ifndef APSSID
#define APSSID "ESP8266"
#define APPSK "12345678"
#endif
uint8_t          UARTrcvBuffer[10];
int              UARTrcvCount;
String           WIFIsendData;
String           WIFIrcvData;
char             WIFIrcvBuffer;
int              WIFIrcvCount;
double           PM2_5;
double           PM10;
double           CH20;
double           CO2;
double           VOC;
int              INDEX;
const char *ssid = APSSID;
const char *password = APPSK;

IPAddress apIP(192, 168, 4, 1);
ESP8266WebServer HTTP(80);
// подсчет данных с датчиков, по алгоритму в документации
void Pereschet(){
    PM2_5 = (UARTrcvBuffer[1]*256+UARTrcvBuffer[0])/10;
    PM10 = (UARTrcvBuffer[3]*256+UARTrcvBuffer[2])/10;
    CH20 = (UARTrcvBuffer[4]*256+UARTrcvBuffer[5]);
}
```

					11.03.04.2020.453 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

```

    CO2 = (UARTrcvBuffer[6]*256+UARTrcvBuffer[7]);
    VOC = (UARTrcvBuffer[8]*256+UARTrcvBuffer[9]);
}
void handleRoot() {
    // в буфере должно быть не меньше 11
    if(Serial.available() > 11 ){
        while(~((uint8_t)Serial.read() & 0xFF))
            // Прием 10 байт информации датчиков формата uint8_t
            for (int j=0; j <= 10; j++) {
                UARTrcvBuffer[j] = (uint8_t)Serial.read();
                j++;
            }
        Pereschet();
        // строка данных, она и изображается на экране веб страницы
        String json = "{";
        json += "\"PM2.5\":";
        json += PM2_5;
        json += "\",\"PM10\":";
        json += PM10;
        json += "\",\"CH20\":";
        json += CH20;
        json += "\",\"CO2\":";
        json += CO2;
        json += "\",\"VOC\":";
        json += VOC;
        // значение индекса
        json += "\",\"INDEX\":";
        json += INDEX;
        json += "}";
        HTTP.send(200, "text/json", json );
    }
    else {
        HTTP.send(200, "text/plain", "Wait 3 seconds" );
    }
}

```

										Лист
										73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

11.03.04.2020.453 ПЗ

```

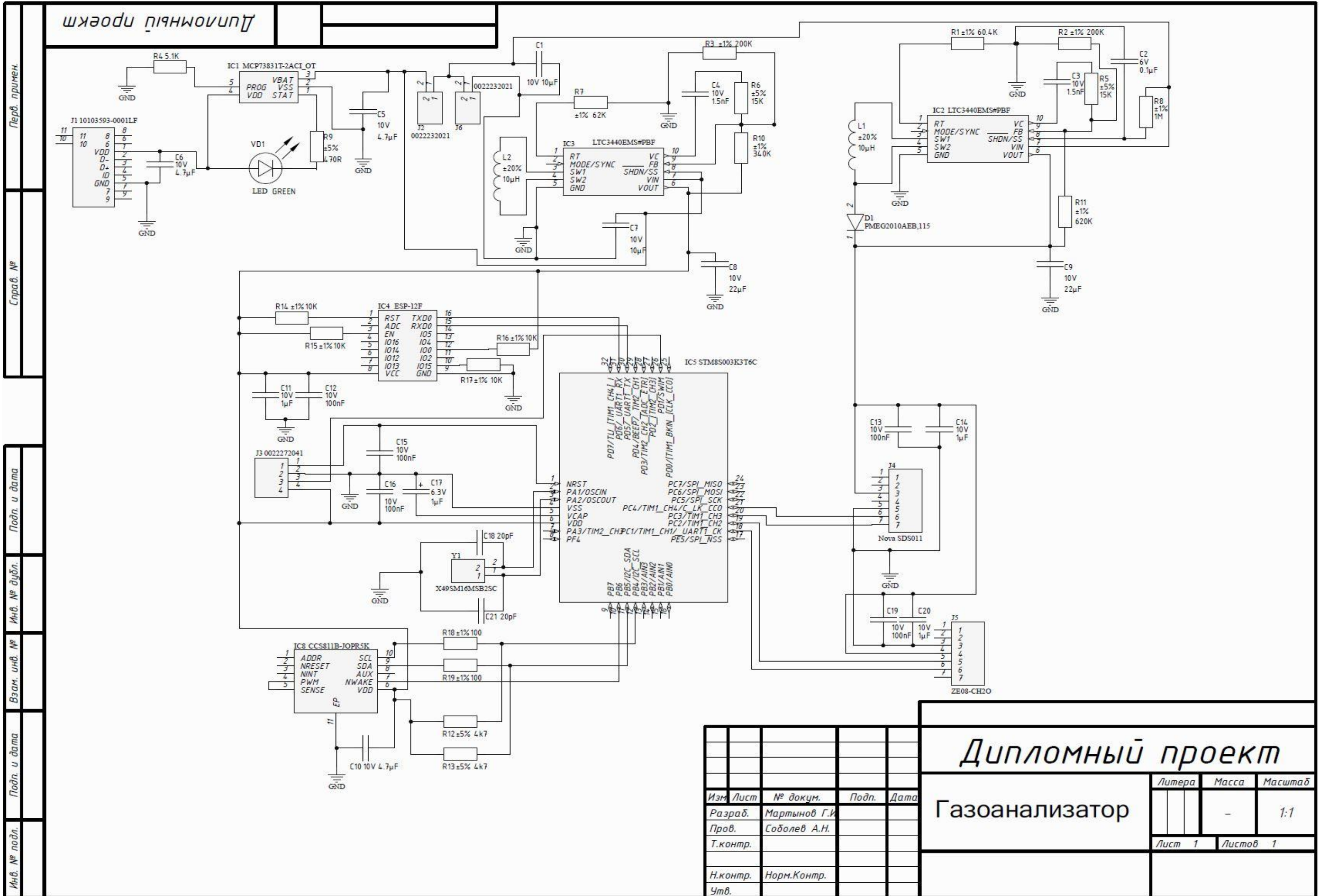
}
}
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  // Режим точки доступа ESP8266
  WiFi.mode(WIFI_AP);
  // настройки сети
  WiFi.softAPConfig(apIP, apIP, IPAddress(255, 255, 255, 0));
  // включаем WIFI в режиме точки доступа с именем и паролем
  WiFi.softAP(ssid, password);
  IPAddress myIP = WiFi.softAPIP();
  // вывод показаний датчиков при запросе http://192.168.4.1/data
  HTTP.on("/data", handleRoot);
  // запуск сервера
  HTTP.begin();
}
void loop() {
  HTTP.handleClient();
}

```

									Лист
									74
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

11.03.04.2020.453 ПЗ

Принципиальная схема печатной платы газоанализатора



Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Дипломный проект		
Газоанализатор	Литера	Масштаб
	-	1:1
Лист 1	Листов 1	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Мартинов Г.И.		
Пров.		Соболев А.Н.		
Т.контр.				
Н.контр.		Норм.Контр.		
Утв.				

