

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
«Робототехника и техническая кибернетика»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ А.Н. Сочнев

подпись

« _____ » _____ 2019г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

по направлению 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»

«Разработка подвижной измерительной платформы»

Руководитель

подпись, дата

должность, ученая степень

Ю.Г. Голых

Выпускник

подпись, дата

Н.А. Тремасов

Нормоконтролёр

подпись, дата

В.Н. Куликова

Красноярск 2019

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра: «Робототехника и техническая кибернетика»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ А.Н. Сочнев

подпись инициалы, фамилия

« ____ » _____ 20 ____ г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме дипломного проекта

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		2

Студенту Тремасову Никите Андреевичу

Группа ФЭ15-08Б Направление (специальность) 15.03.06 (Мехатроника и робототехника)

Тема выпускной квалификационной работы «Разработка подвижной измерительной платформы».

Утверждена приказом по университету № 19632/С от 28.12.2018 г.

Руководитель ВКР Голых Ю.Г., канд. техн. наук., доц. каф. РИТК

Исходные данные для ВКР:

Параметры мобильного робота, датчики газа MQ-2 и MQ-7, датчик аэрозоль Sharp GP2Y1010AU0F, датчик температуры и влажности DHT11, датчик атмосферного давления BMP180. Решаемая задача – разработка мобильной платформы с измерением показателей качества воздуха.

Перечень разделов ВКР.

Глава 1. Описание параметров атмосферных аэрозолей и газов, выбор беспроводной связи и программного обеспечения.

Глава 2. Архитектура мобильного модуля.

Глава 3. Разработка измерительного блока и алгоритмов.

Глава 4. Испытания мобильного модуля.

Глава 5. Технико-экономическое обоснование проекта.

Глава 6. Безопасность и экологичность проекта.

Перечень графического материала.

Лист 1. Внешний вид мобильного модуля.

Лист 2. Датчики измерительного блока.

Лист 3. Принципиальная электрическая схема измерительного блока.

Лист 4. Схема подключения моторов постоянного тока к микроконтроллеру.

Лист 5. Алгоритмы функционирования мобильного модуля.

Руководитель ВКР _____

Голых Ю.Г.

Задание принял к исполнению _____

Тремасов Н.А.

« ____ » _____ 2019 г.

										Лист
										3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Разработка подвижной измерительной платформы» содержит 96 страниц текстового документа, 3 приложений, 23 использованных источников, 5 листов графического материала.

МОБИЛЬНЫЙ РОБОТ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ БЛОК, БЕСПРОВОДНАЯ СВЯЗЬ, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ.

Цели проекта:

- провести анализ параметров атмосферных аэрозолей и газов;
- выбрать программное обеспечение и беспроводную связь;
- выбрать мобильную платформу и разработать измерительный блок;
- разработать алгоритм работы измерительного блока;
- разработать систему управления мобильной платформой.

В ходе дипломного проектирования был проведен анализ параметров атмосферных аэрозолей и газов, выбрано программное обеспечение, разработаны мобильная платформа и измерительный блок.

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 Описание параметров атмосферных аэрозолей и газов, выбор беспроводной связи и программного обеспечения 8	
1.1 Актуальность проблем, связанных с экологией	8
1.2 Параметры атмосферных аэрозолей	9
1.3 Источники образований аэрозолей	10
1.4 Пространственно-временное распределение аэрозолей	10
1.5 Измерение аэрозолей PM 2.5 и PM10	11
1.6 Параметры газов.....	16
1.7 Измерение газов в PPM, мг/м ³	18
1.8 Влияние влажности, температуры и давления на измерения газов и аэрозолей.....	21
1.9 Выбор программного обеспечения и микроконтроллера	23
1.10 Получение информации с датчиков	25
1.10.1 Мобильное приложение RemoteXY	27
2 Архитектура мобильного модуля	30
2.1 Датчики температуры	30
2.2 Датчики влажности	33
2.3 Датчики давления.....	35
2.4 Датчики газов	39
2.5 Датчики аэрозолей	42
2.6 Выбор мобильной платформы.....	45
2.7 Разработка питания мобильного модуля	51
3 Разработка измерительного блока и алгоритмов.....	53
3.1 Алгоритм движения мобильной платформы.....	54
3.2 Алгоритм функционирования измерительного блока	58
4 Испытания мобильного модуля	60

									Лист
									6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

4.1	Движение по полигону	60
4.2	Сравнение показаний измерительного блока с показаниями датчиков проекта черное небо	62
5	Экономическое обоснование проекта	64
5.1	Смета затрат на реализацию подвижной измерительной платформы.....	64
6.	Безопасность проекта.....	65
6.1	Безопасность элементов мобильного робота	66
6.2	Пожарная безопасность	68
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	69
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	70
	ПРИЛОЖЕНИЕ А Код программы в среде Arduino инициализации датчиков .	72
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б Код программы в среде Arduino для управления мобильной платформой в ручном режиме	79
	ПРИЛОЖЕНИЕ В Б Код программы в среде Arduino для управления мобильной платформой с движением по линии	90

ВВЕДЕНИЕ

Для измерения параметров микроклимата используется широкий перечень приборов. В бытовой сфере домовладельцы обычно обходятся традиционными термометрами, а в профессиональной среде в зависимости от задач могут применяться и многофункциональные станции. Но также существует прослойка специализированных устройств, ориентированных не просто на выполнение замера, но и на дальнейшую обработку, регистрацию и документальное подтверждение информации. К таким аппаратам относятся логгеры температуры, которые могут фиксировать и другие показатели – например, коэффициент влажности и уровень давления.

Приборы такого типа используются в разных отраслях, где требуется точная регистрация микроклиматических показателей с постоянным контролем их изменений. Обычно такие задачи стоят перед предприятиями, которые осуществляют хранение или транспортировку продукции, чувствительной к температуре и влажности. Например, это могут быть фармацевтические компании, объекты пищевой промышленности, агротехнические комплексы и др. На предприятиях, занимающихся птицеводством, такая техника позволяет контролировать параметры климата в инкубаторах. В составе производственных линий важно поддерживать оптимальный баланс для используемого в обработке сырья, а исследовательские организации фиксируют глобальные изменения в окружающей среде, применяя те же регистраторы температуры.

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

1 Описание параметров атмосферных аэрозолей и газов, выбор беспроводной связи и программного обеспечения

Атмосферный воздух является самой важной жизнеобеспечивающей природной средой и представляет собой смесь газов и аэрозолей приземного слоя атмосферы, сложившуюся в ходе эволюции Земли, деятельности человека и находящуюся за пределами жилых, производственных и иных помещений.

1.1 Актуальность проблем, связанных с экологией

Ученые провели многочисленные исследования, которые подтвердили взаимосвязь заболеваний с загрязнением атмосферы. Каждый день в нее выбрасывают смеси разных загрязнителей. Впервые пагубное влияние загрязнения воздуха на здоровье человека было обнаружено в Лондоне в 1952 году.

На каждого человека загрязнение воздуха влияет по-разному. Учитываются такие факторы как возраст, емкость легких, состояние здоровья и время, проведенное в данной среде. Большие частицы загрязняющих веществ негативно воздействуют на верхние дыхательные пути, а тонкодисперсные частицы, выбрасываемые в воздух, стремительно поражают легкие, так как проникают в альвеолы и малые дыхательные пути. Они необратимо повреждают их. Также отличительная черта тонкодисперсных частиц в том, что они длительное время могут находиться во взвешенном состоянии в воздухе и переноситься на длительные расстояния. Кроме того, они попадают в кровь и оказывают влияние на сердце.

В городах вследствие постоянно увеличивающегося загрязнения воздуха неуклонно растет число больных, страдающих такими заболеваниями, как хронический бронхит, эмфизема легких, различные аллергические заболевания и

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

рак легких. В Красноярске уровень впервые выявленного рака, «обусловленного воздействием факторов окружающей среды» (случаев на 100 тыс. населения) повысился с 372,5 в 2014 году до 400,2 в 2015 году. Рост болезней системы кровообращения (случаев на 1 тыс.) за год — с 32,1 до 34,4. Болезней эндокринной системы (на 1 тыс. человек) с 14,4 до 16,3, а у детей до 14 лет – с 17,2 до 19,4.

Именно поэтому контроль качества воздуха имеет такую важную роль в наше время.

1.2 Параметры атмосферных аэрозолей

Аэрозоли представляют собой твердые и жидкие частицы, которые находятся в взвешенном состоянии в воздушной среде. Аэрозоли распространяются в приземном слое, так и в тропосфере и стратосфере. Время жизни частиц различно. Частицы могут попасть в атмосферу в готовом виде, но в основном они получаются в результате химических реакций между газообразными, жидкими и твердыми веществами, включая пары воды.

В зависимости от размеров частиц разделяют три класса аэрозолей: высокодисперсные, среднедисперсные и грубодисперсные. Частицы размером от 0.001 мкм до 0.1 мкм относятся к высокодисперсным, которые могут находиться в атмосфере несколько лет. Человеческий глаз может воспринимать частицы, размером более 10 мкм, которые относятся к грубодисперсным системам. Продолжительность нахождения таких частиц в воздухе исчисляется минутами и даже секундами. Между высокодисперсными и грубодисперсными находятся среднедисперсные системы, с размером от 0.1 до 10 мкм, такие частицы способны часами висеть в воздухе. Основной вклад в массовую концентрацию атмосферных аэрозолей вносят грубодисперсные и среднедисперсные системы. Помимо

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

размеров частиц очень важным параметром аэрозольных систем является концентрация, т.е. число частиц в единице объема (м^3).

1.3 Источники образований аэрозолей

Большое количество аэрозолей образуется в результате естественных природных процессов. В среднем почвы и растительный мир дают свыше 40%, водная поверхность 10% - 20% всех атмосферных аэрозолей. По статистике, количество частиц, ежегодно попадающих в воздушный бассейн Земли в результате деятельности человека, достигает около 1 млрд. т. В год, что составляет 10% от всей массы загрязняющих веществ. Химический состав частиц различен, это диоксид кремния – песок, токсичные металлы, пестициды, углеводороды и др. Максимальный антропогенный вклад приходится на сульфаты. Основным источником антропогенных аэрозолей – процесс горения. Энергетика и транспорт дают 2/3 общего количества антропогенных аэрозолей. Среди прочих источников аэрозолей – металлургические предприятия, производство строительных материалов, химические производства.

1.4 Пространственно-временное распределение аэрозолей

Атмосферный аэрозоль является продуктом сложной совокупности химических и физических процессов. Вследствие сложности этих процессов и относительно короткого времени жизни аэрозоля его химический состав и физические характеристики очень изменчивы. В зависимости от состава или источников можно выделить следующие типы природного аэрозоля: продукты испарения морских брызг; поднятая ветром в атмосферу минеральная пыль; вулканический аэрозоль (как непосредственно выброшенный в атмосферу, так и образовавшийся за счет газофазных реакций); частицы биогеного происхождения (выброшенные в атмосферу и образовавшиеся в результате конденсации летучих

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

органических соединений, например, терпенов, а также химических реакций между этими соединениями); дымы от сжигания; продукты природных газофазных реакций (например, сульфаты, возникающие за счет восстановленной серы, поступающей с поверхности океана).

Большое внимание нужно уделять газофазным реакция образования аэрозоля: однородная гомомолекулярная нуклеация (образование новых устойчивых жидких или твердых мельчайших частиц из газовой фазы при наличии одного газового компонента); однородная гетеромолекулярная нуклеация (аналогичный процесс в присутствии двух или более газов); гетерогенная гетеромолекулярная конденсация (рост уже существующих частиц за счет адсорбции газа). Исключительно сложны и пока еще плохо изучены фотохимические и химические реакции, которые ответственны за первоначальную трансформацию «высокого летучего» газа в газовый компонент, являющийся исходным для образования аэрозоля. По-видимому, наиболее существенны следующие процессы: реакции сернистого газа с радикалами гидроксила, которые в конечном счете приводят к образованию молекул серной кислоты и сернокислотного аэрозоля; реакции неметановых углеводородных соединений с озоном и радикалами гидроксила с образованием альдегидов, спиртов, карбоксильных и дикарбоксильных кисло (как правило, вторичные продукты этих реакций вступают в реакцию с оксидами азота, что приводит к образованию органических нитратов). Очень важную роль в химии атмосферы играют озон и радикалы гидроксила (HO и HO_2), которые прямо или косвенно являются продуктами фотохимических реакций (именно поэтому процессы газофазного образования частиц характеризуются обычно хорошо выраженным суточным ходом).

1.5 Измерение аэрозолей PM 2.5 и PM10

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

PM10 это частицы того или иного вещества диаметром от 10 микрометра (мкм) и меньше, PM2.5 это частицы вещества диаметром 2.5 мкм и менее. В целом, PM2.5 можно описать как тонкодисперсные частицы. Для сравнения, толщина человеческого волоса составляет около 100 мкм, таким образом, на сечении волоса можно расположить примерно 40 тонкодисперсных частиц.

Частицы этого размера составляют большую часть пыли и попадают глубоко в легкие, в отличие от более крупных частиц, которые попадают в нос, в рот или в горло.

Химический состав мелкой пыли, присутствующей в атмосфере крупных городов, может быть разным и зависит от нескольких факторов, таких как близость дорог, стройки, различных производств.

Факторы, которые могут повлиять на эффекты от воздействия тонкодисперсных частиц включают:

- химический состав и физические свойства частиц;
- массовая концентрация взвешенных в воздухе частиц;
- размер частиц (чем меньше частица, тем больше вероятность, что она попадет в легкие);
- время воздействия (короткое воздействие или длительное, иногда годы).

Всемирная организация здравоохранения считает частицы пыли в воздухе одной из серьезнейших опасностей и причин множества заболеваний дыхательных путей и сердечно-сосудистой системы. Предельные концентрации частиц PM10 и PM2.5 в воздухе установлены в документе под названием «Руководство по качеству воздуха» («Air quality guidelines») в виде среднесуточных и среднегодовых величин.

Таблица 1.1 – Рекомендации ВОЗ по целевым уровням концентраций твердых частиц PM10 и PM2.5

Показатель	Среднесуточная	Среднегодовая
------------	----------------	---------------

Твердые частицы PM2.5	0.025 мг/м ³	0.01 мг/м ³
Твердые частицы PM10	0.05 мг/м ³	0.02 мг/м ³

По мнению экспертов ВОЗ, только достижение таких уровней концентраций пыли в воздухе может позволить снизить смертность от легочных и сердечных заболеваний, ассоциированных с качеством воздуха. Руководство ВОЗ по качеству воздуха было создано в 2005 году.

Предельно-допустимые концентрации взвешенных частиц PM10 и PM2.5 в атмосферном воздухе и воздухе жилых и общественных зданий были установлены в России только в 2010 году.

Таблица 1.2 – Предельно допустимые концентрации пыли и аэрозолей в воздухе, установленные в России

Показатель	Максимальная разовая	Среднесуточная	Среднегодовая
Взвешенные частицы PM2.5	0.16 мг/м ³	0.035 мг/м ³	0.025 мг/м ³
Взвешенные частицы PM10	0.3 мг/м ³	0.06 мг/м ³	0.04 мг/м ³
Взвешенные частицы (общая пыль)	0.5 мг/м ³	0.15 мг/м ³	-
Сажа (углерод)	0.15 мг/м ³	0.05 мг/м ³	-

Российские нормативы, принятые в 2010, менее требовательны к качеству атмосферного воздуха и воздуха в помещениях. Однако надо понимать, что

приведенные рекомендации ВОЗ – это всего лишь «идеал, к которому следует стремиться».

Существует несколько основных методов измерения массовой концентрации аэрозолей в воздухе.

Наиболее распространенный метод – гравиметрия, при которой пробы воздуха прокачиваются через фильтр, и по разности массы фильтра до и после отбора пробы, измеряется концентрация пыли в воздухе. Метод имеет как преимущества, так и недостатки. Он требует очень длительного отбора проб для анализа атмосферного воздуха, в котором частицы пыли, как правило, содержатся в низких концентрациях, но при этом обладает высокой точностью при определении больших концентраций пыли в воздухе рабочей зоны. Для определения содержания в воздухе пыли различных фракций используются специальные вспомогательные устройства – импакторы, позволяющие разделять частицы разных аэродинамических размеров.

Для приведения объема аспирируемого воздуха к нормальным условиям на месте отбора проб пыли необходимо измерить температуру отбора проб, барометрическое давление. Кроме того, необходимо измерить влажность воздуха. Массовую концентрацию пыли в отдельной пробе (K_n , мг/м³) рассчитывают по формуле:

$$K_n = \frac{(m_n - m_o) \cdot 1000}{V_{20}}, \quad (1.1)$$

где K_n – концентрация пыли в воздухе в отдельной пробе, мг/м³;

m_o – масса фильтра до отбора пробы, мг;

m_n – масса фильтра (накопителя) с пылью после отбора пробы, мг;

1000 – перевод дм в м³;

V_{20} – объём воздуха, отобранный для анализа и приведенный к стандартным условиям, дм³.

Результат измерений округляют до одной значащей цифры после запятой в диапазоне измерений 1-50 мг/м³ и до целых единиц – в диапазоне более 50-250 мг/м³.

На смену трудоёмкому гравиметрическому методу пришел новый метод пьезобалансного взвешивания осажденной пробы пыли. Данный метод был впервые реализован в пылемерах компании KANOMAX в моделях 3521 и 3522 (различия моделей 3521 и 3522 в том, что в серии 3521 в комплект поставки входит импактор РМ 2.5 и 10, а в 3522 - РМ 2.5, 4 и 10). Позже этот метод измерений начали осваивать и российские компании, такие как ООО «НТМ-ЗАЩИТА», и реализовали его в приборе Атмас.

Пьезобалансный метод измерения работы прибора заключается в периодическом отборе пробы аэрозольных частиц через импактор, который из общей массы частиц отделяет респираторные (до 10 мкм) фракции, в последующем их заряде на коронирующем электроде и затем осаждении на поверхности осадительного электрода. В качестве такого электрода используется пьезоэлемент (кварц). Отбор же пробы осуществляется внутренним насосом прибора. Кварцевый пьезоэлемент включен в цепь генератора электрических колебаний. При осаждении пыли на его поверхности изменяется вес пьезоэлемента и как следствие – частота его колебаний. Изменение частоты линейно зависит от массы осажденной на элемент пыли и является величиной измеряемой весовой концентрации аэрозоля.

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16



Рисунок 1.1 – Пьезобалансный метод измерения

Другой метод анализа воздуха на аэрозоли – оптический. Для анализа используется анализатор пыли, позволяющий в режиме реального времени измерять концентрации общей пыли, PM10, PM4, PM2.5, PM1. Оптический принцип действия заключается в измерении ослабления интенсивности светового излучения при его прохождении через запыленную среду. Концентрация частиц пыли пропорциональна значению оптической плотности, которая определяется автоматически и представляет собой отрицательный десятичный логарифм коэффициента пропускания. Для калибровки прибора может использоваться импактор и гравиметрический метод, что позволяет достигать высокой точности измерений. Главным достоинством данного метода является возможность быстро и с приемлемой точностью измерять низкие концентрации частиц в воздухе, поэтому при анализе атмосферного воздуха и воздуха в квартирах и офисных помещениях используется именно оптический метод.

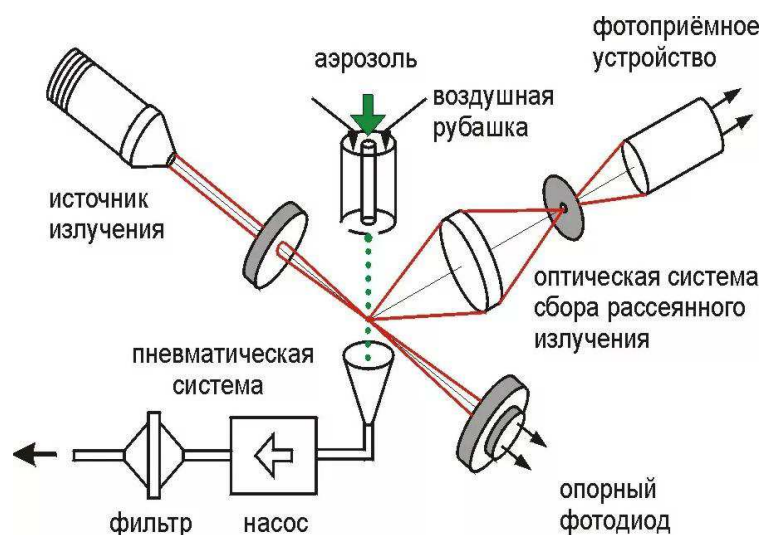


Рисунок 1.2 – Оптическая и пневматическая схема счетчика аэрозольных частиц

1.6 Параметры газов

Метан (CH_4) – простейший по составу предельный углеводород, бесцветный газ (в нормальных условиях) без запаха. Мало растворим в воде. При использовании в быту или промышленности в метан обычно добавляют одоранты (обычно тиолы) со специфическим «запахом газа». Метан нетоксичен и неопасен для здоровья человека. Однако имеются данные, что метан относится к токсическим веществам, действующим на центральную нервную систему. Погибнуть человеку в воздухе с высокой концентрацией метана можно только от недостатка кислорода в воздухе. Так, при содержании в воздухе 25—30 % метана появляются первые признаки удушья (учащение пульса, увеличение объёма дыхания, нарушение координации тонких мышечных движений и т. д.). Более высокие концентрации метана в воздухе вызывают у человека кислородное голодание – головную боль, одышку, – симптомы, характерные

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

для горной болезни. Так как метан легче воздуха, он не скапливается в проветриваемых подземных сооружениях. Поэтому случаи гибели людей от удушья при вдыхании смеси метана с воздухом весьма редки. Накапливаясь в закрытом помещении, метан становится взрывоопасен. Взрывоопасен при концентрации в воздухе от 4,4 % до 17 %. Наиболее взрывоопасная концентрация 9,5 %. Класс опасности – четвёртый. Образуется при коксовании каменного угля, гидрировании угля, гидрогенолизе углеводородов в реакциях каталитического риформинга.

Бутан – органическое соединение, углеводород класса алканов. В химии название используется в основном для обозначения н-бутана. Такое же название имеет смесь н-бутана и его изомера изобутана. Вдыхание бутана вызывает дисфункцию лёгочно-дыхательного аппарата. Образуется при крекинге нефтепродуктов, при разделении попутного нефтяного газа, «жирного» природного газа. Как представитель углеводородных газов пожаро- и взрывоопасен, мало токсичен, имеет специфический характерный запах, обладает наркотическими свойствами. Пределы взрываемости 1,4—9,3 % в воздухе по объёму. ПДК в воздухе рабочей зоны — 300 мг/м³. При глубоком многократном вдыхании вызывает галлюцинации.

Монооксид углерода (угарный газ, окись углерода, оксид углерода(II)) – бесцветный чрезвычайно токсичный газ без вкуса и запаха. Химическая формула – CO. TLV (предельная пороговая концентрация, США): 25 ppm; 29 мг/м³ (как TWA — среднесменная концентрация, США) (ACGIH 1994—1995). MAC (максимальная допустимая концентрация, США): 30 ppm; 33 мг/м³

1.7 Измерение природных газов в PPM, мг/м³

Большинство датчиков газа выдают значения в ppm. Ppm (миллионная доля) – единица измерения каких-либо относительных величин, равная $1 \cdot 10^{-6}$ от

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

базового показателя. Аналогична по смыслу проценту или промилле. Для перевода в мг/м³ необходимо воспользоваться таблицами, приведенными ниже.

Таблица 1.3 – Таблица для взрывоопасных и токсичных веществ по ГОСТ 51330.19-99, ГОСТ 12.1.005-88, ВСН 64-86

Газ или пары вещества	Химическая формула	ПДК суточная доза (ПДК _{сс})	ПДК разовая доза (ПДК _{мр})	Переводной коэффициент К при 20 0С и 760 мм. рт. ст. или 101,3 кПа	
		мг/ м ³	мг/ м ³	мг/ м ³ = К · ppmv	Ppmv = К · мг/ м ³
Аммиак	NH ₃	20	60	0,710	1,410
Ацетилен (этин)	C ₂ H ₂	(0,3)	х	1,080	0,924
Ацетон	C ₃ H ₆ O	200	х	2,410	0,414
Бензол	C ₆ H ₆	5	15	3,250	0,308
Бутан	C ₄ H ₁₀	300	900	2,420	0,414
Бутанол	C ₄ H ₉ OH	10	30	3,080	0,325
Водород	H ₂	0.02%	х	0,084	11,900

Продолжение таблицы 1.3

Газ или пары вещества	Химическая формула	ПДК суточная доза (ПДК _{сс})	ПДК разовая доза (ПДК _{мр})	Переводной коэффициент К при 20 0С и 760 мм. рт. ст. или 101,3 кПа	
		мг/ м ³	мг/ м ³	мг/ м ³ = К · ppmv	Ppmv = К · мг/ м ³
Водород бромистый	HBr	2	-	3,360	0,297
Водород фтористый	HF	0,1	0,5	0,832	1,200

Водород хлористый	HCl	5	-	1,520	0,660
Водород цианистый	HCN	0,3	-	1,120	0,890
Дизельное топливо (смесь)	C6-C16	300	-	x	x
Диоксид азота	NO2	2	10	1,250	0,800
Диоксид серы	SO2	2	5 (10)	2,660	0,380
Керосин (смесь)	C6-C14	300	600	x	x
Кислород	O2	18% об.	23% об.	1,330	0,752
Ксилол	C8H10	50	150	4,410	0,227
Метан	CH4	7000	x	0,667	1,500
Метанол	CH3OH	5	15	1,330	0,751
Нефть легкая сольвент	-	30 (100)	-	x	x
Нефть легкая масла	-	5	-	x	x
Нефть легкая сырая	-	10	-	x	x
Озон	O3	0,1	-	2,000	0,500
Оксид азота	NO	5	10	1,910	0,520

Окончание таблицы 1.3

Газ или пары вещества	Химическая формула	ПДК суточная доза (ПДК _{сс})	ПДК разовая доза (ПДК _{мр})	Переводной коэффициент К при 20 0С и 760 мм. рт. ст. или 101,3 кПа	
		мг/ м ³	мг/ м ³	мг/ м ³ = К · ppmv	Ppmv = К · мг/ м ³
Октан	C8H18	1000 (300)	900	4,750	0,211
Пентан	C5H12	300	900	3,000	0,333
Пропан	C3H8	100	900	1,83	0,55

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

БР – 15.03.06 ПЗ

Лист

21

		(300)			
Сероводород	H ₂ S	10	20	1,420	0,710
Сероуглерод	CS ₂	1,0 (10)	300	3.15	0.317
Углерода оксид (угарный газ)	CO	20	100	1,170	0,859
Углерода диоксид	CO ₂	9000	27000	1,830	0,547
Углеводороды предельные алифатические	C1-C10	(300)	900	0.66-7.05	1.51- 0.14
Фенол	C ₆ H ₅ OH	0,3	1	3,910	0,257
Формальдегид	HCHO	0,5	-	1.24	0.81
Фосген	COCl ₂	0,5	-	4,110	0,243
Фреон 22 (дихлорфторме тан)	CCl ₂ F ₂	3000	-	-	-

ПДК_{сс}- (в течение 8 часов рабочего времени);

ПДК_{мр}- предельно-допустимая концентрация токсичного вещества
максимальная разовая;

X – неопределяемая величина.

Таблица 1.4 – Перевод единиц измерения концентраций газов и их взаимный перерасчет

Перевести из (C _a):	Перевести в (C _x):		
	г/м ³	мг/м ³	ppm _v
г/м ³	1	10 ³ ·C _a	8312,6·10 ³ ·C _a ·T/M·P
мг/м ³	·10 ⁻³ ·C _a	1	8312,6·C _a ·T/M·P

ppm _v	$0,12 \cdot 10^{-6} \cdot Ca \cdot M \cdot P / T$	$0,12 \cdot 10^{-3} \cdot Ca \cdot M \cdot P / T$	1
------------------	---	---	---

C_a – числовое значение концентрации в заданных единицах;

C_x – числовое значение концентрации в искомых единицах;

M – молекулярная масса газа = молярная масса газа;

P – общее давление газовой смеси, Па;

T – температура, °К.

1.8 Влияние влажности, температуры и давления на измерения газов и аэрозолей

Плотность воздуха - масса газа атмосферы Земли на единицу объема или удельная масса воздуха при естественных условиях. Величина плотности воздуха является функцией от высоты производимых измерений, от его температуры и влажности. Обычно стандартной величиной считается значение $1,225 \text{ кг/м}^3$, которая соответствует плотности сухого воздуха при 15°C на уровне моря.

Газы при малых изменениях давления и температуры также можно характеризовать коэффициентами объёмного сжатия и температурного расширения. Но при больших изменениях давлений и температур эти коэффициенты меняются в больших пределах, поэтому зависимость плотности идеального газа с давлением и температурой находятся на основе уравнения состояния Менделеева-Клайперона:

$$p \cdot V_M = R \cdot T, \quad (1.2)$$

где p – давление;

V_M – молярный объем;

R – универсальная газовая постоянная;

T – абсолютная температура в Кельвинах.

К примеру, газовая постоянная для воздуха и метана соответственно равны, $R = 287$ Дж/кг К° и $R = 520$ Дж/кг К°.

$$\rho = \frac{p}{R \cdot T}, \quad (1.3)$$

Из уравнения (1.3) видно, что плотность газа зависит от давления и температуры.

Таблица 1.5 – Влияние температуры на свойства воздуха на уровне моря (давление взято за 101,325 КПа)

Температура	Плотность воздуха (из уравнения Менделеева - Клапейрона)
°С	ρ , кг·м ⁻³
+35	1,1455
+30	1,1644

Окончание таблицы 1.5

Температура	Плотность воздуха (из уравнения Менделеева - Клапейрона)
+25	1,1839
+20	1,2041
+15	1,2250

+10	1,2466
+5	1,2690
±0	1,2920
-5	1,3163
-10	1,3413
-15	1,3673
-20	318,89
-25	315,72

1.9 Выбор программного обеспечения и микроконтроллера

В данном дипломном проекте в качестве интегрированной среды разработки была выбрана платформа ARDUINO. В качестве микроконтроллера была выбрана плата ARDUINO NANO.

Arduino Nano – это небольшая, полнофункциональная отладочная плата, адаптированная для работы с макетными платами, построенная на базе микроконтроллера ATmega328. Nano – одна из самых миниатюрных плат Ардуино. Она является полным аналогом Arduino Uno – так же работает на чипе ATmega328P (хотя можно еще встретить варианты с ATmega168), но с меньшим форм-фактором. Из-за своих габаритных размеров плата часто используется в проектах, в которых важна компактность. На плате отсутствует вынесенное гнездо внешнего питания, Ардуино работает через USB (miniUSB или microUSB). В остальном параметры совпадают с моделью Arduino Uno.

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Микроконтроллер ATmega328 является 8-ми разрядным CMOS микроконтроллером с низким энергопотреблением, основанным на усовершенствованной AVR RISC архитектуре. Имеет 32 кВ Flash памяти, 2 кВ ОЗУ и 1 кВ EEPROM.

Таблица 1.6 – Характеристики ARDUINO NANO

Характеристики	Значение
Рабочее напряжение (логическая уровень)	5 В
Входное напряжение (рекомендуемое)	7-12 В
Входное напряжение (предельное)	6-20 В
Цифровые Входы/Выходы	14 (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ)
Аналоговые входы	8
Постоянный ток через вход/выход	40 mAh с одного вывода и 500 mAh со всех выводов
Флеш-память	16 Кб (ATmega168) или 32 Кб (ATmega328) при этом 2 Кб используются для загрузчика
ОЗУ	1 Кб (ATmega168) или 2 Кб (ATmega328)
EEPROM	512 байт (ATmega168) или 1 Кб (ATmega328)

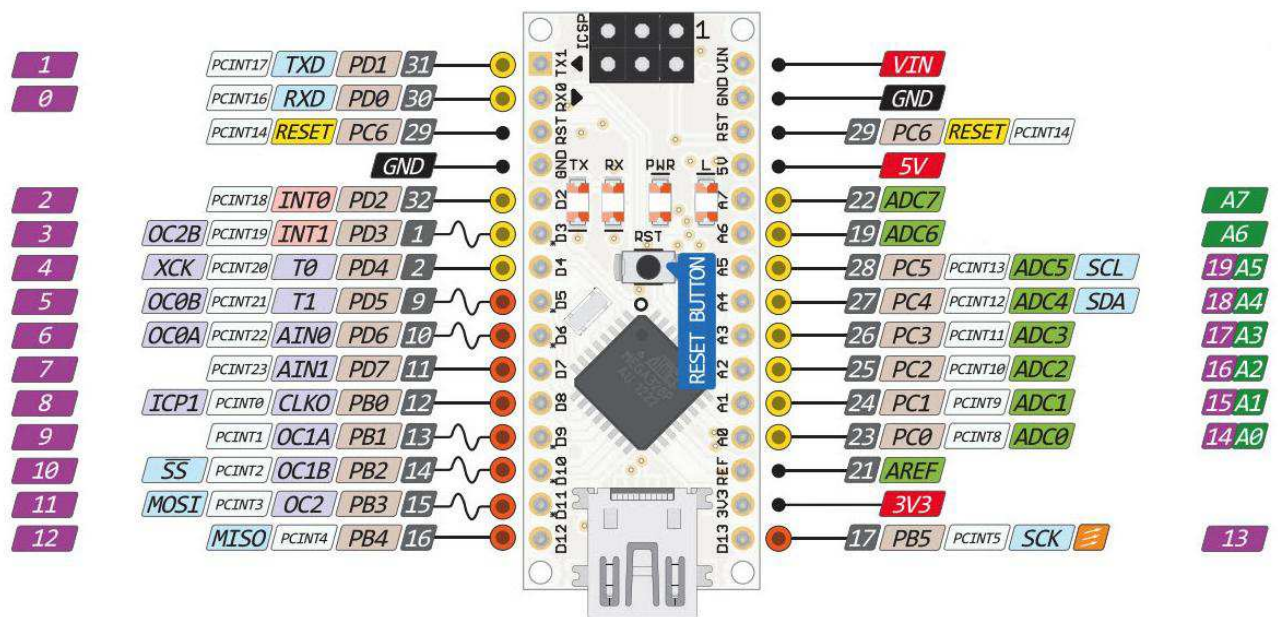


Рисунок 1.3 – Распиновка платы

1.10 Получение информации с датчиков

Контроллер Arduino не поддерживает беспроводную связь, а часто это просто необходимо. В качестве беспроводной связи был выбран – Bluetooth. Технология Bluetooth используется для передачи данных между двумя устройствами, которые находятся в непосредственной близости друг с другом, причем необязательна прямая видимость. Технология Bluetooth обеспечивает хорошую устойчивость к широкополосным помехам, что позволяет множеству устройств, находящихся в одном месте, одновременно общаться между собой, не мешая друг другу. Одно из лучших решений для организации двусторонней связи по Bluetooth Arduino-устройства с планшетом, ноутбуком или другим Bluetooth-устройством – Bluetooth-модуль HC-05, который может работать как master (осуществлять поиск Bluetooth-устройств и инициировать установку связи), так и slave (ведомое устройство).



Рисунок 1.4 – Bluetooth-модуль HC-05

Датчик имеет 6 выводов стандарта 2,54 мм:

- VCC — (питание 3,6 – 6 В);
- GND — (земля);
- TXD, RXD — UART интерфейс;
- STATE — индикатор состояния;
- KEY — контакт для входа в режим программирования.

Технические характеристики модуля HC-05:

- диапазон частот радиосвязи: 2,4–2,48 ГГц;
- мощность передачи: 0,25–2,5 мВт;
- чувствительность: –80 dBm;
- напряжение питания: 3,3–5 В;
- потребляемый ток: 50 мА;
- радиус действия: до 10 метров;
- интерфейс: последовательный порт;
- режимы: master, slave;
- температура хранения: –40...85 °С;
- рабочий диапазон температур: –25...75 °С;
- габариты: 27 x 13 x 2,2 мм.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

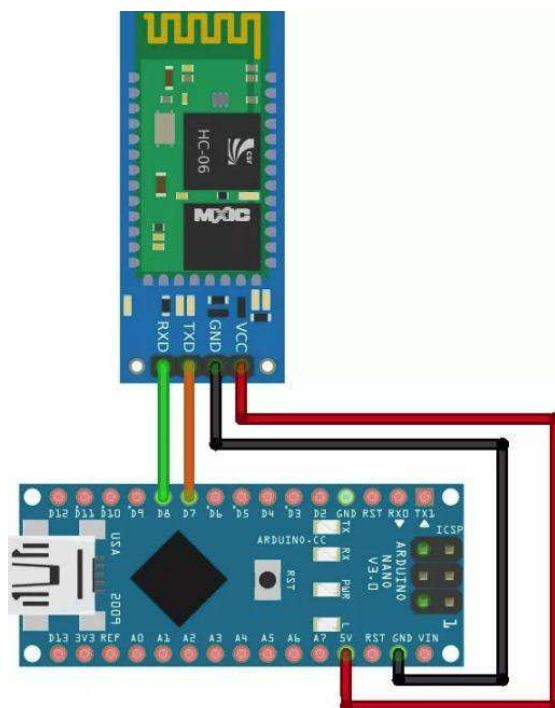


Рисунок 1.5 – Схема подключения Bluetooth-модуля HC-05

1.10.1 Мобильное приложение RemoteXY

RemoteXY - это система разработки и использования мобильных графических интерфейсов для управления контроллерами со смартфона или планшета. В состав системы входят:

- редактор мобильных графических интерфейсов для контроллеров;
- мобильное приложение RemoteXY, позволяющее подключаться к контроллеру и отображать графические интерфейсы.

Сервис RemoteXY позволяет:

- разработать любой графический интерфейс управления, используя элементы управления, индикации и оформления в любой их комбинации;
- управлять микроконтроллерным устройством со смартфона или планшета, используя разработанный графический интерфейс. Для управления используется мобильное приложение RemoteXY;

- при помощи одного мобильного приложения можно управлять большим количеством устройств с разными графическими интерфейсами управления. Так как описание интерфейса хранится на борту микроконтроллерного устройства.



Рисунок 1.6 – Схема работы приложения RemoteXY

Поддерживаются следующие способы связи между контроллером и мобильным устройством:

- Bluetooth;
- WiFi в режиме клиента и точки доступа;
- Ethernet по IP адресу или URL;
- USB (доступно только для Android с поддержкой USB OTG).

Генератор исходного кода интерфейса поддерживает следующие контроллеры:

- Arduino UNO, Arduino MEGA, Arduino Leonardo, Arduino Pro Mini, Arduino Nano, Arduino MICRO;

- WeMos D1, WeMos D1 R2, WeMos D1 mini;

- NodeMCU V2, NodeMCU V3;

- The AirBoard;

- ChipKIT UNO32, ChipKIT uC32, ChipKIT Max32.

Поддерживаются следующие модули связи:

- Bluetooth HC-05, HC-06 и совместимые;

- WiFi ESP8266;

- Ethernet Shield W5100;

Поддерживаемые IDE:

- Arduino IDE;

- FLProg IDE;

- MPIDE;

Поддерживаемые мобильные операционные системы:

- Android;

- iOS.

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

2 Архитектура мобильного модуля

На сегодняшний день существует огромное количество различных датчиков контроля качества воздуха, которые имеют как свои достоинства, так и недостатки. Ниже приведены примеры датчиков и их сравнение по характеристикам.

2.1 Датчики температуры

Температурные датчики предназначены для измерения температуры объекта или вещества с помощью свойств и характеристик измеряемой среды. Все датчики работают по-разному. По принципу измерения эти устройства можно разделить на несколько групп: термопары, терморезистивные датчики, пьезоэлектрические датчики, полупроводниковые датчики, аналоговые датчики, цифровые датчики.

Датчик DS18B20. Цифровой 12-разрядный температурный датчик. Устройство доступно в 3 вариантах корпусов – 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin μ SOP и 3-Pin TO-92, чаще всего используется именно последний. Он же изготавливается во влагозащитном корпусе с тремя выходами. Датчик прост и удобен в использовании, к плате Ардуино можно подключать сразу несколько таких приборов. А так как каждое устройство обладает своим уникальным серийным номером, они не перепутаются в результате измерения. Важной особенностью датчика является возможность сохранять данные при выключении прибора.

DHT11 и DHT22 – две версии датчика DHT, обладающие одинаковой распиновкой. Разлихаются по своим характеристикам. Для DHT11 характерно определение температуры в диапазоне от 0С до 50С, определение влажности в диапазоне 20-80% и частота измерений 1 раз в секунду. Датчик DHT22 обладает лучшими характеристиками, он определяет влажность 0-100%, температурный

										Лист
										32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

диапазон увеличен – от -40°C до 125°C , частота опроса 1 раз за 2 секунды. Соответственно, стоимость второго датчика дороже. Оба устройства состоят из 2 основных частей – это термистор и датчик влажности. Приборы имеют 4 выхода – питание, вывод сигнала, GND и один из каналов не используется.

LM35 – интегральный температурный датчик. Обладает большим диапазоном температур (от -55°C до 150°C), высокой точностью ($\pm 0,25^{\circ}\text{C}$) и калиброванным выходом. Выводов всего 3 – GND, питание и выходной сигнал. Датчик стоит дешево, его удобно подключать к цепи, так как он откалиброван уже на этапе изготовления, обладает низким сопротивлением и линейной зависимостью выходного напряжения. Важным преимуществом датчика является его калибровка по шкале Цельсия. Особенности датчика: низкая стоимость, гарантированная точность $0,5^{\circ}\text{C}$, широкий диапазон напряжений (от 4 до 30В) ток менее 60мА, малый уровень собственного разогрева (до $0,1^{\circ}\text{C}$), выходное сопротивление 0,1 Ом при токе 1мА. Из недостатков можно выделить ухудшение параметров при удалении на значительное расстояние. В этом случае источниками помех могут стать радиопередатчики, реле, переключатели и другие устройства. Также существует проблема, когда температура измеряемой поверхности и температура окружающей среды сильно различаются. В этом случае датчик показывает среднее значение между двумя температурами.

TMP36 – аналоговый датчик. Использует технологии твердотельной электроники для определения температуры. Устройства обладают высокой точностью, малым износом, не требуют дополнительной калибровки, просты в использовании и стоят недорого. Измеряет температуру в диапазоне от -40°C до 150°C . Параметры схожи с датчиком LM35, но TMP36 имеет больший диапазон чувствительности и не выдает отрицательное значение напряжения, если температура ниже нуля. Напряжение питания от 2,7В до 5,5В. Ток – 0.05мА. При использовании нескольких датчиков может возникнуть проблема, при которой полученные данные будут противоречивы. Причиной этого являются помехи от

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

других термодатчиков. Чтобы исправить эту неполадку нужно увеличить задержку между записью измерений. Низкое выходное сопротивление и линейность результатов позволяют подключать датчик напрямую к схеме контроля температуры. TMP36 также, как и LM34 обладает малым нагревом прибора в нормальных условиях.

HTU21D – цифровой датчик влажности и температуры обладает высокой точностью с регулируемой разрядностью 8/12-бит или 12/14-бит взаимодействует непосредственно с микроконтроллером, обеспечивая скорость передачи данных до 400 кГц и точность измерения $\pm 2\%$.

Таблица 2.1 – Характеристики датчиков температуры

Название	Температурный диапазон	Точность	Погрешность
DS18B20	-55С...125°С	+/-0.0625°С	+/-2%
DHT11	0С...50°С	+/-2°С	+/-2% температура, +/-5% влажность
DHT22	-40С...125°С	+/-0,5°С	+/-0,5% температура, от +/-2 до +/-5% влажность
LM35	-55С...150°С	+/-0.5°С (при 25°С)	+/-2%
TMP36	-40С...150°С	+/-1°С	+/-2%
HTU21D	-40С...105°С	+/-1°С	+/-2%

2.2 Датчики влажности

Ёмкостные датчики температуры и влажности Sensirion не требуют калибровки и позволяют получать на выходе цифровые данные. Отличная долговременная стабильность и небольшой ток потребления соответствуют требованиям устройств с батарейным питанием и дистанционным сбором информации. Новые датчики температуры и влажности SHT3x открывают новый уровень в технологии измерений. Их разработке предшествовал 15-летний опыт компании на рынке CMOS-датчиков. Линейка SHT3x состоит из трех моделей: базовой модели SHT30, стандартной SHT31 и высокоэффективной SHT35 (начало продаж в конце 2015 года). Каждая модель выпускается в двух модификациях: с аналоговым выходом по напряжению и с цифровым выходом I2C. В функционал датчиков входят схема обработки и усиления сигнала, схема линеаризации сигнала, блок памяти калибровки, АЦП и схема сброса по питанию. Цифровой интерфейс I2C передачи данных имеет скорость до 1 МГц и две адресные ячейки с возможностью выбора. Традиционно, компания Sensirion предлагает датчики с широким диапазоном питающих напряжений, от 2.4 до 5.5 В.

Датчик влажности и температуры высокой точности Si7021. Этот датчик влажности и температуры представляет собой твердотельную CMOS микросхему. Микросхема выполняет функции датчика влажности и температуры, аналого-цифрового преобразователя, обработчика сигналов, калибровщика данных, а также обработчика интерфейса I2C. Запатентованная технология промышленного стандарта, с использованием полимерных диэлектриков для зондирования влажности, позволяет создавать твердотельные CMOS датчики с малым дрейфом,

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

гистерезисом и долгосрочной стабильностью показаний. Калибруется на заводе и калибровочные данные сохраняются в энергонезависимой памяти. Это гарантирует, что датчики полностью

взаимозаменяемы и не требуют калибровки или программных изменений.

Резистивный датчик влажности HR202L. Принцип его действия- это резистор, сопротивление которого нелинейно меняется от 1кОм до 10 МОм в зависимости от влажности и температуры окружающего воздуха. Определение влажности 20-95% с 5% точностью. Определение температуры 0-60 град. с точностью 2 град.

Таблица 2.2 – Характеристики датчиков влажности серии SHT

Название	Точность измерения влажности [% RH]	Точность измерения температуры [°C]	Напряжение питания [В]	Температурный диапазон
SHT30	±3	±0,3	2.4...5.5	-40°C...125°C
SHT31	±2	±0,3	2.4...5.5	-40°C...125°C
SHT35	±1,5	±0,2	2.4...5.5	-40°C...125°C
SHTC1	±3	±0,3	1,62...1,98	-40°C...125°C
SHT20	±3	±0,3	2,1...3,6	-40°C...125°C
SHT21	±2	±0,3	2,1...3,6	-40°C...125°C
SHT25	±1,8	±0,2	2,1...3,6	-40°C...125°C

SHT10	±4,5	±0,5	2,4...5,5	-40°C...125°C
SHT11	±3	±0,4	2,4...5,5	-40°C...123°C

Окончание таблицы 2.2

Название	Точность измерения влажности [% RH]	Точность измерения температуры [°C]	Напряжение питания [В]	Температурный диапазон
SHT71	±3	±0,4	2,4...5,5	-40°C...125°C
SHT75	±1,8	±0,3	2,4...5,5	-40°C...123°C
STSC1	-	±0,3	1,62...1,98	-40°C...125°C
STS21	-	±0,2	2,1...3,6	-40°C...125°C
STS30	-	±0,3 (0...+65°C)	2,4...5,5	-40°C...125°C
STS31	-	±0,3 (- 40...+90°C)	2,4...5,5	-40°C...125°C
Si7021	±3	±0,4	1.9 - 3.6	-40°C...85°C
HR202L	±3	±2	3,2...5,5	-40°C...85°C

2.3 Датчики давления

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

Датчик BMP180 (3.3В, GY-68) – является недорогим и простым в использовании сенсорным датчиком, позволяющий измерить атмосферное давление и температуру окружающей среды. В датчике имеется герметичная камера, одна из стенок которой является гибкой мембраной с установленными на ней тензодатчиками. Мембрана прогибается пропорционально разности давлений внутри камеры и снаружи, что влияет на изменение сопротивления тензодатчиков электрическому току. Так же имеется термодатчик, сопротивление которого меняется пропорционально температуре.

АЦП (аналого-цифровой преобразователь) переводит результаты изменений датчиков в цифровые данные «некомпенсированные результаты», которые доступны для чтения из регистров датчика: «Out MSB», «Out LSB» и «Out xLSB».

Для компенсации указанных результатов (компенсации смещения, температурной зависимости, погрешностей при изготовлении, неоднородностей материалов и т.д.) каждый датчик калибруется на заводе, и в EEPROM записываются индивидуальные для каждого датчика 11 калибровочных коэффициентов (176 бит), которые доступны для чтения из регистров датчика: «AC1», «AC2», «AC3», «AC4», «AC5», «AC6», «B1», «B2», «MB», «MC», «MD».



Рисунок 2.1 – Датчик атмосферного давления BMP180

Характеристики датчика BMP180:

- питание датчика: (VDD) 1,8; 3,6 В;

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

- питание шины I2C: (VDDIO) 1,62: 3,6 В);
- питание модуля: 3,3 или 5 В;
- потребляемый ток: 3 ... 32 мкА;
- рабочая температура: -40 ... 80 °С;
- рабочее давление: 0 ... 10 Мпа;
- диапазон давления: 300 ... 1100 гПа;
- диапазон температуры: 0 ... 65 °С;
- время преобразований: 3 ... 51 мс;
- рабочая частота шины I2C: 3,4 МГц;
- уровень «0» в шине I2C: 0 ... 0,2·VDDIO В;
- уровень «1» в шине I2C: 0,8·VDDIO ... VDDIO В;
- резисторы на шине I2C: 2,2 ... 10 кОм I2C;
- ток стока линии SDA в I2C: ≈ 9 мА;
- адрес датчика на шине I2C: 0x77;
- подготовка к запуску: 10 ... мс.

Запись данных BMP180 в регистр:

отправляем 1й байт (адрес датчика 0x77 и бит «R/W»=«0»); отправляем 2ой байт (адрес нужного нам регистра); отправляем 3й байт (данные для записи); после каждого отправленного байта, получаем ответ от датчика в виде одного бита «АСК».

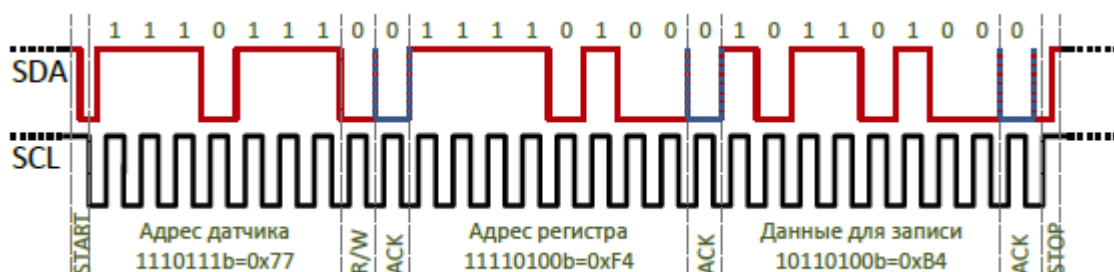


Рисунок 2.2 – Пример записи в регистр 0xF4 значения 0xB4

Чтение данных из регистров:

отправляем 1й байт, (адрес датчика 0x77 и бит «R/W»=«0»); отправляем 2ой байт (адрес нужного нам регистра); отправляем сигнал «RESTART»;

отправляем 3й байт, (адрес датчика 0x77 и бит «R/W»=«1»); датчик ответит одним байтом данных из указанного регистра;

если подать сигнал «ACK», то датчик передаст байт данных следующего регистра и т.д. пока мы не передадим сигнал «NACK».

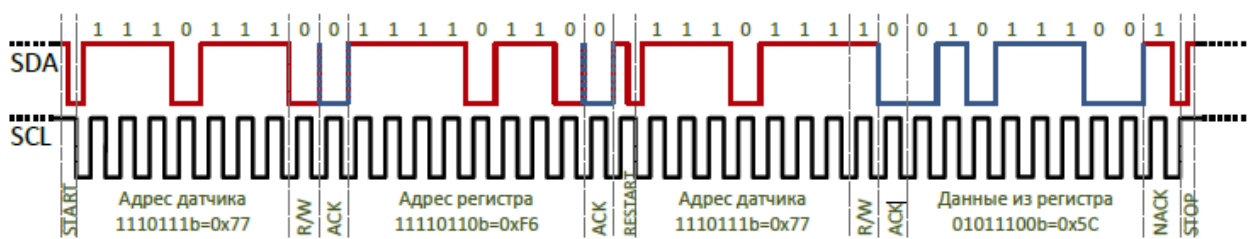


Рисунок 2.3 – Пример чтения байта из регистра 0xF6 (датчик ответил значением 0x5C)

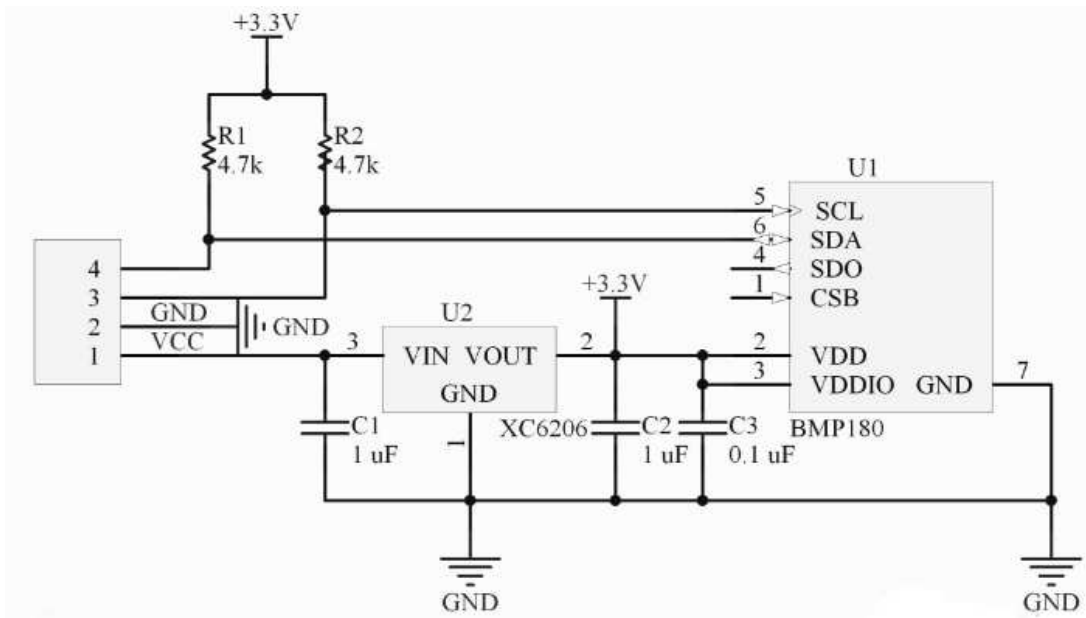


Рисунок 2.4 – Принципиальная схема датчика BMP180

Датчик bme280 содержит в себе 3 устройства – для измерения давления, влажности и температуры. Разрабатывался для малого потребления тока, высокой надежности и долгосрочной стабильной работы. Если сравнивать все устройства между собой, то датчики очень похожи. По сравнению со своим предшественником, к которым относится BMP180, более новый датчик BMP280 заметно меньше по размерам. Его восьмиконтактный миниатюрный корпус требует аккуратности во время монтажа. Также устройство поддерживает интерфейсы I2C и SPI, в отличие от предшественников, которые поддерживали только I2C. По логике работы датчика изменений практически нет, была только усовершенствована температурная стабильность и увеличено разрешение АЦП. Датчик BME280, измеряющий температуру, влажность и давление, также похож на BMP280. Отличие между ними заключается в размерах корпуса, так как BME280 имеет датчик влажности, который немного увеличивает габариты. Количество контактов и их расположение на корпусе совпадают.

2.4 Датчики газов

Датчики серии MQ. Модули построены на базе полупроводникового газоанализатора. Датчики отличаются повышенной чувствительностью и быстрой реакцией на увеличение концентрации детектируемых газов. Чувствительный элемент датчиков состоит из керамической трубки с покрытием Al_2O_3 и нанесенного на неё чувствительного слоя диоксида олова. Внутри трубки проходит нагревательный элемент, который нагревает чувствительный слой до температуры, при которой он начинает реагировать на определяемый газ. Чувствительность к разным газам достигается варьированием состава примесей в чувствительном слое.

Серия MQ состоит из девяти датчиков:

- датчик широкого спектра газов MQ-2;

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- датчик паров спирта MQ-3;
- датчик природного газа MQ-4;
- датчик горючих газов MQ-5;
- датчик сжиженных нефтяных газов MQ-6;
- датчик угарного газа MQ-7;
- датчик водорода MQ-8;
- датчик горючих и угарного газов MQ-9;
- датчик углекислого газа MQ-135.

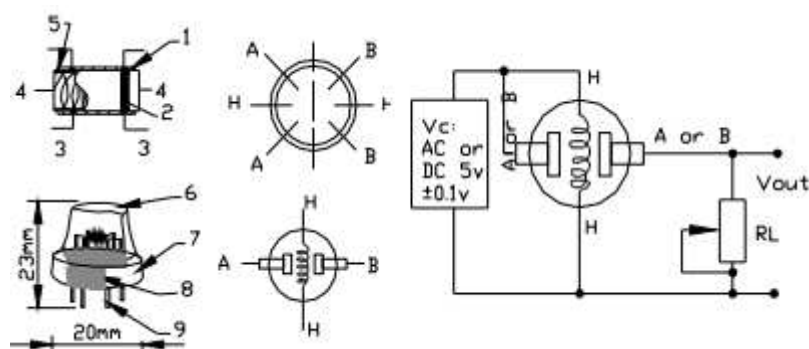


Рисунок 2.5 – Принципиальная электрическая схема датчиков серии MQ

Таблица 2.3 – Характеристики датчиков MQ-2 и MQ-6

Характеристики	MQ-2	MQ-6
Детектируемый газ	Дым	Углеводородные газы
Диапазон чувствительности	100-10000 ppm	100-10000 ppm
Rs (сопротивление чувствительного элемента)	1-20 кОм 50 ppm, толуол	1-20 кОм 100 ppm, изобутан
Газ, для которого нормируется датчик	Изобутан, 1000 ppm	Изобутан, 1000 ppm
Время отклика	≤ 10 с	≤ 10 с

Чувствительность (R в воздухе)/(R в присутствии характерного газа)	≥ 5 с	≥ 5 с
Ih (ток нагревателя)	≤ 180 мА	≤ 180 мА
Vh (напряжение нагревателя)	$5 \text{ В} \pm 0,2 \text{ В}$	$5 \text{ В} \pm 0,2 \text{ В}$
Рабочая температура	$-10 \sim +50^\circ\text{C}$	$-10 \sim +50^\circ\text{C}$
Влажность	$\leq 95 \% \text{ RH}$	$\leq 95 \% \text{ RH}$

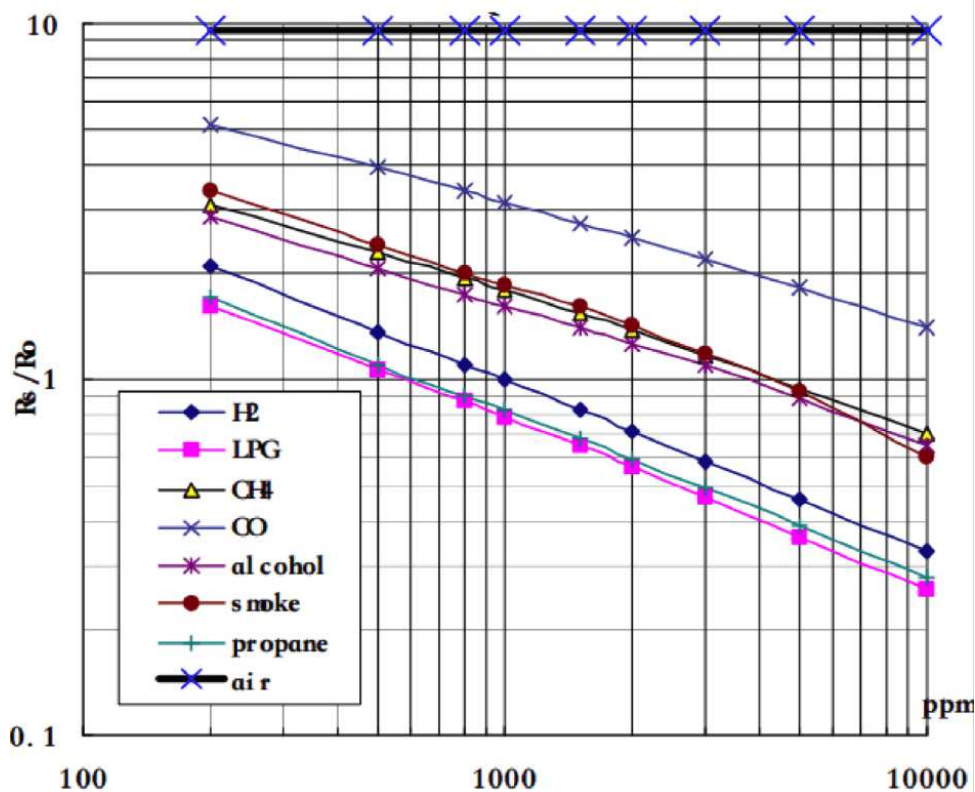


Рисунок 2.6 – График чувствительности датчика MQ-2

2.5 Датчики аэрозолей

Датчик пыли DSM501A – это портативный измеритель концентрации частиц в воздухе. Датчик работает по принципу количественного измерения частиц и позволяет обнаруживать с высокой точностью частицы размером более одного микрона. Встроенный нагреватель затягивает воздушный поток в корпус устройства. С выхода 1 мы получаем сигнал срабатывания на частицы, размер которых мы устанавливаем ножкой "Control". Если к ножке "Control" ничего не

подключено, то выход 1 будет выдавать сигнал при появлении частиц более 2.5 микрон. У выхода 2 фиксированная чувствительность, и он срабатывает на частицы более 1 микрона (меньший размер данный датчик не способен определить).



Рисунок 2.7 – Датчик DSM501A

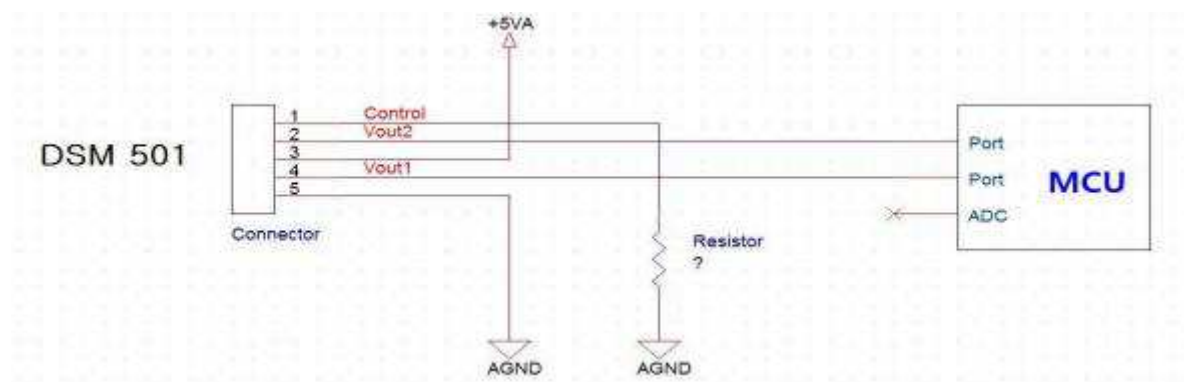


Рисунок 2.8 – Схема подключения датчика DSM501A

На рис. 2.9 представлена блок-схема принципа работы датчика DSM501A.

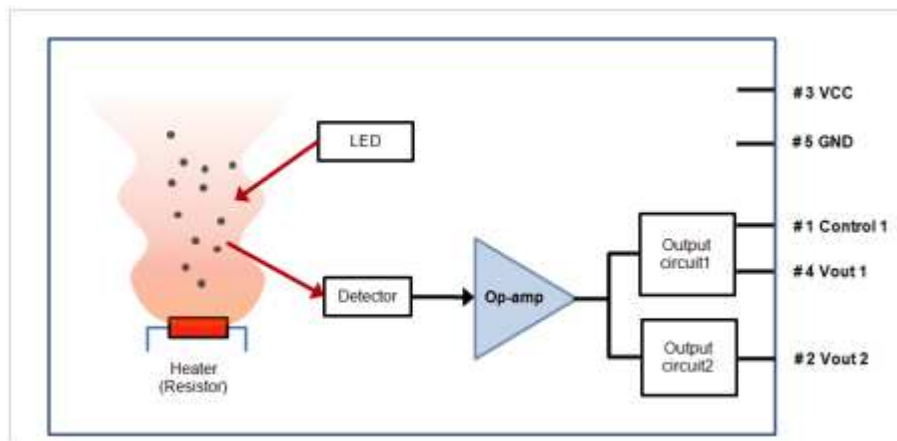


Рисунок 2.9 – Блок схема DSM501A

Таблица 2.4 – Параметры датчика DSM501A

Диапазон рабочего напряжения		DC 5V ± 0,5V
Режим вывода		PWM широтно-импульсная модуляция
Выходное напряжение	Низкий уровень (с частицами)	0,7 В (не более 1,0 В)
	Высокий уровень (чистый воздух)	4,5 В (минимум 4,0 В)
Наименьшая частица измерение возможность		1um
Чувствительность		15 000/283 мл
Рабочий ток (макс.)		90mA
Диапазон влажности	Среда хранения	0-99% относительной влажности
	Рабочая обстановка	0-95% относительной влажности
Диапазон температур	Среда хранения	-20 ° C до 80 ° C
	Рабочая обстановка	От -10 ° C до 60 ° C

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Sharp GP2Y1010AU0F – это счетчик грубодисперсных аэрозолей, который практически не отличается от DSM501A. Модуль имеет инфракрасный источник света, а также детектор. Источник света и детектор расположены на одном уровне. Когда аэрозольная частица попадает на оптические оси источника и приемника, происходит отражение от аэрозольной частицы. Таким образом, фиксируется наличие аэрозольной частицы в модуле.

Характеристики Sharp GP2Y1010AU0F:

- чувствительность: 0.5В/(100мкг/м3);
- измеряемый диапазон: 500мкг/м3;
- питание: 2.5-5.5В;
- рабочий ток: 20 мА;
- рабочая температура: -10~65°C;
- температура хранения: -20~80°C;
- габариты: 63.2x41.3x21.1 mm.

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

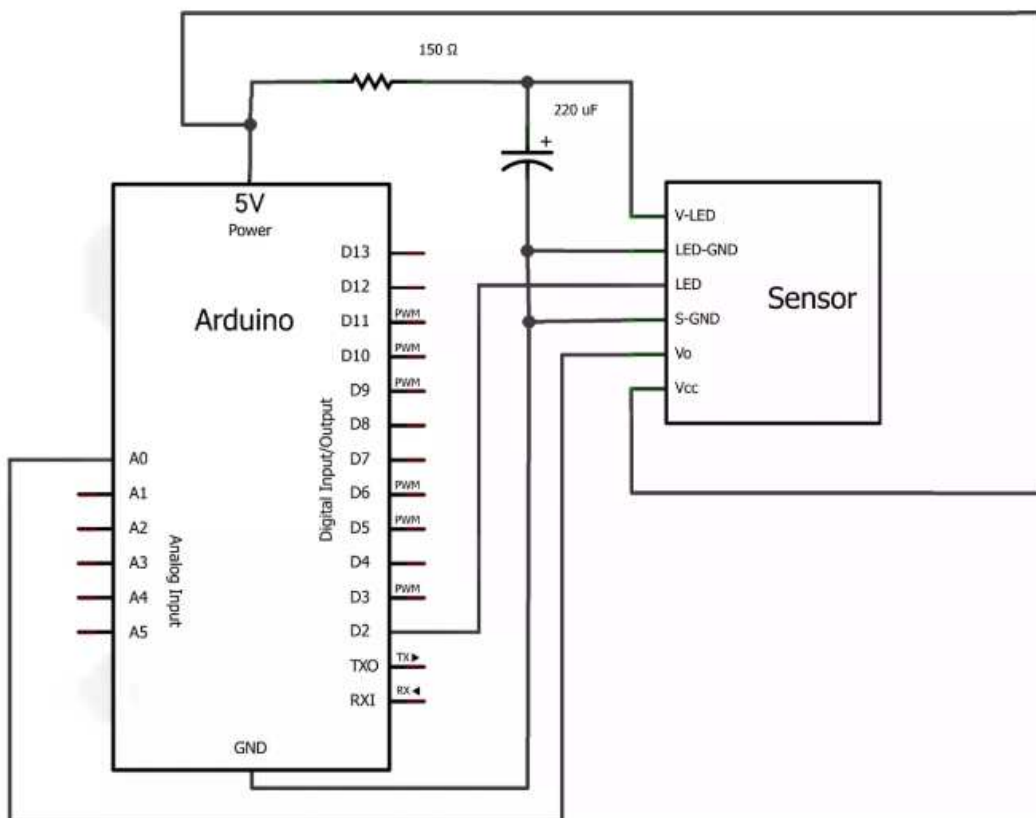


Рисунок 2.10 – Схема подключения Sharp GP2Y1010AU0F

2.6 Выбор мобильной платформы

В качестве мобильного робота была выбрана типовая четырехколесная мобильная платформа с двумя роликонесущими колёсами спереди и сзади.



Рисунок 2.11 – Опорная платформа с роликонесущими колесами

Два ведущих колеса диаметром 65 мм с резиновым протектором под резьбу 2 мм.



Рисунок 2.12 – Ведущие колеса

Движение осуществляется с помощью двух моторов постоянного тока BQ-2.

Характеристики мотора постоянного тока BQ-2:

- передаточное число редуктора 48:1 с разъемом IDC;
- рабочее напряжение составляет от 3 до 9В постоянного тока;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

БР – 15.03.06 ПЗ

Лист

48

- потребляемый ток 130 мА +6В постоянного тока без нагрузки);
- средняя скорость от 170 до 250 оборотов в минуту (RPM) @ +6 В без нагрузки;
- вес 30 г.;
- минимальный крутящий момент составляет - 0,5 кг. см;
- размеры (ШхДхВ): 42х45х22,7 мм.

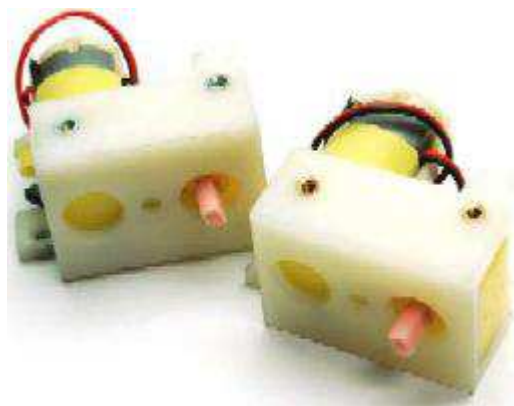


Рисунок 2.13 – Моторы постоянного тока VQ-2

Управление моторами постоянного тока осуществляется с помощью модуля L298N Motor Driver с Arduino. Он может контролировать скорость и направление вращения двух двигателей постоянного тока, а так же управлять биполярным шаговым двигателем.

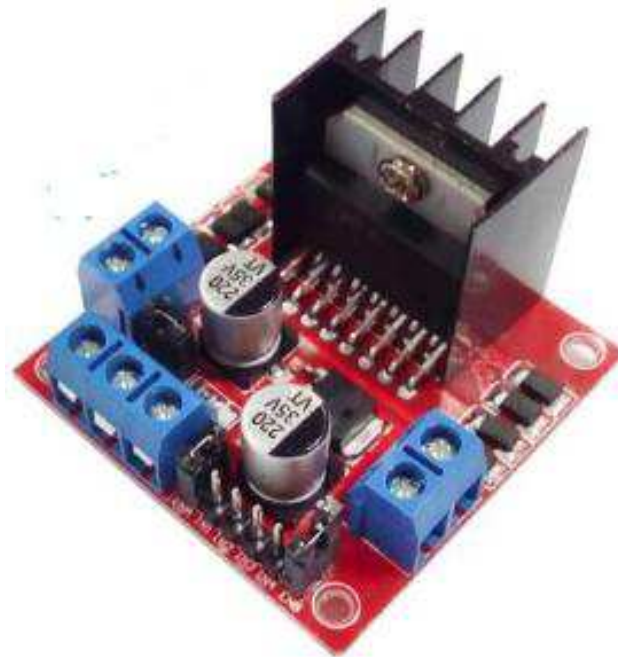


Рисунок 2.14 – Модуль L298N

Технические параметры модуля L298N:

- напряжение питания логики модуля: 5 В;
- потребляемый ток встроенной логики: 36 мА;
- напряжение питания драйвера: 5 В – 35 В;
- рабочий ток драйвера: 2 А (пиковый ток 3 А);
- габариты: 43.5 мм x 43.2мм x 29.4мм.

Основной чип модуля это микросхема L298N, состоящая из двух Н-мост (H-Bridge), один для выхода А, второй для выхода В. Н-мост широко используется в электронике и служит для изменения вращения двигателем, схема Н-моста содержит четыре транзистора (ключа) с двигателем в центре, образуя Н-подобную компоновку. Принцип работы прост, при одновременном закрытие двух отдельных транзистора изменяется полярность напряжения, приложенного к двигателю. Это позволяет изменять направление вращения двигателя. На рисунке ниже, показана работа Н-мостовой схемы.

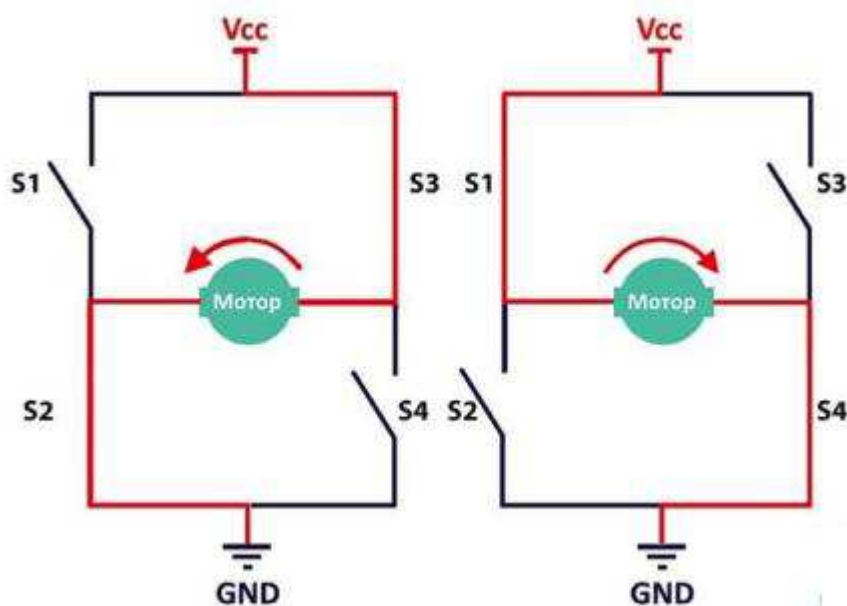


Рисунок 2.15 – Принцип работы мостовой схемы

Модуль L298N содержит разъем для подключения питания, ряд перемычек для настройки модуля, два выхода А и В и разъем управления, которые регулируют скорость и направление вращения.

- вывод V_{ss} — питание двигателей, от 5 до 35 В;
- вывод GND — общий вывод заземления;
- вывод V_s — питание для логической схемы;
- перемычка ENA — используются для управления скоростью двигателя А;
- выводы $IN1$ и $IN2$ — используются для управления направлением вращения двигателя А;
- выводы $IN3$ и $IN4$ — используются для управления направлением вращения двигателя В;
- перемычка ENB — используются для управления скоростью двигателя В;
- выходы $OUT1$ и $OUT2$ — разъем для двигателя А;
- выходы $OUT3$ и $OUT4$ — разъем для двигателя В.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

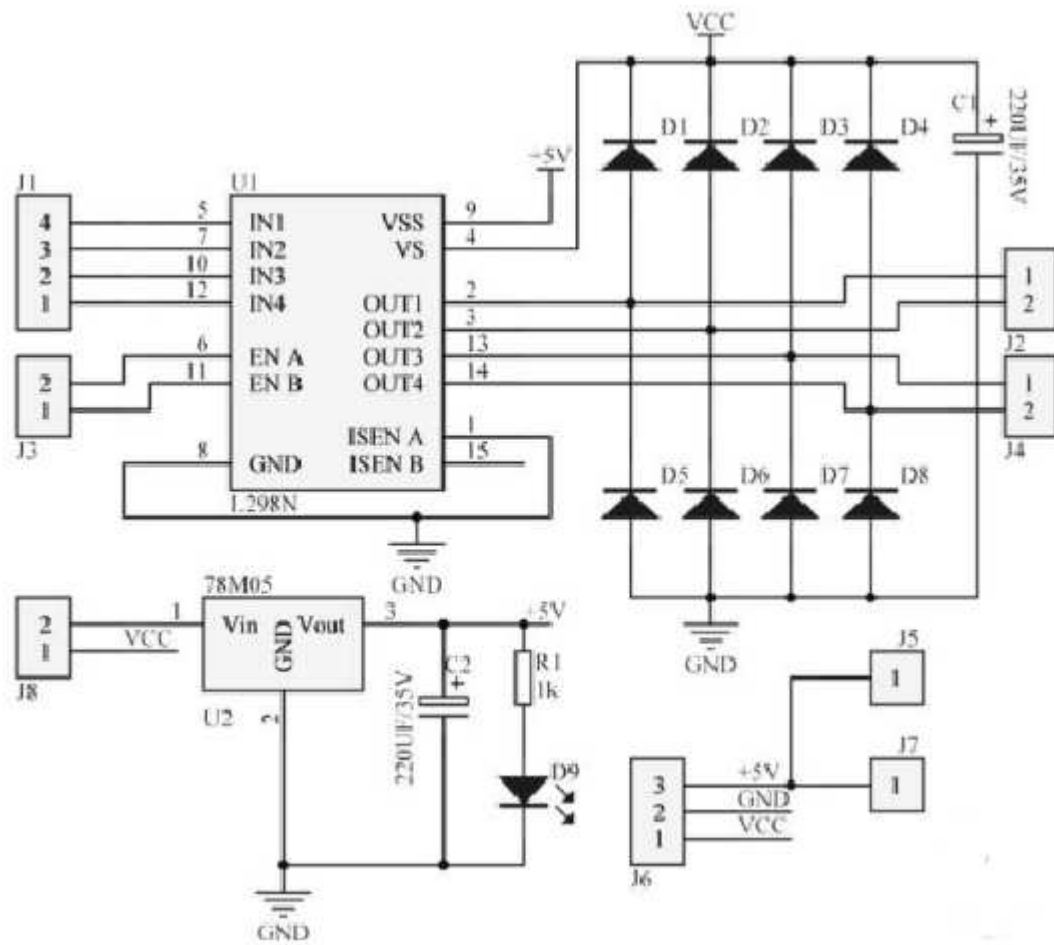


Рисунок 2.16 – Принципиальная схема модуля L298N

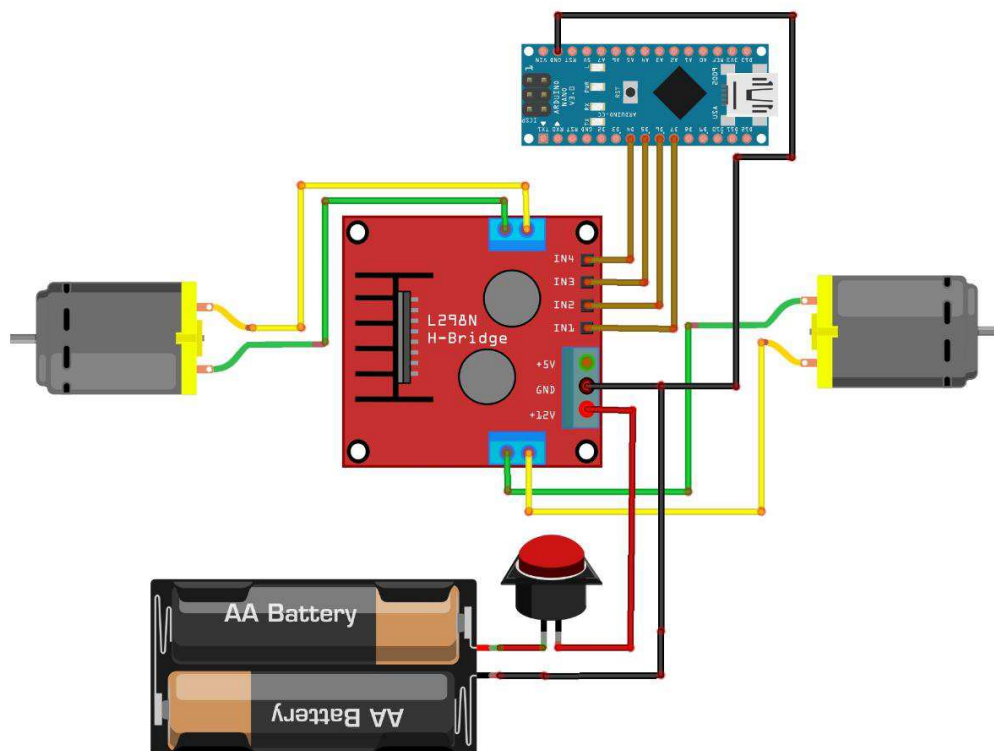


Рисунок 2.17 – Подключение модуля L298N

2.7 Разработка питания мобильного модуля

Питание мобильного модуля разделено на две части. Модуль L298N, который отвечает за работу моторов постоянного тока, питается от батарейки industrial duracell б1р3146. Измерительный часть питается от универсальной мобильной батареи Esperanza 2000 mAh.



Рисунок 2.18 – Универсальная мобильная батарея Esperanza 2000 mAh

Выбор отдельного питания для двигателей обусловлен тем, что выбранные моторы должны получать от 6 до 9 В.

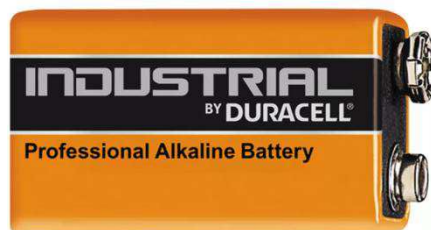


Рисунок 2.19 – Батарейка industrial duracell 6p3146

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

3 Разработка измерительного блока и алгоритмов

Измерительный блок состоит из пяти датчиков, собранных на макетной плате. За концентрацию газа отвечают датчики MQ-7 и MQ-2, измерение атмосферного давления и температуры происходит с помощью датчика BMP180, влажность определяется датчиком DHT11, а концентрация атмосферных аэрозолей PM2.5 измеряется датчиком Sharp GP2Y1010AU0F. С помощью модуля беспроводной связи HC-05, данные с датчиков передаются на смартфон и отображаются в приложении RemoteXY.

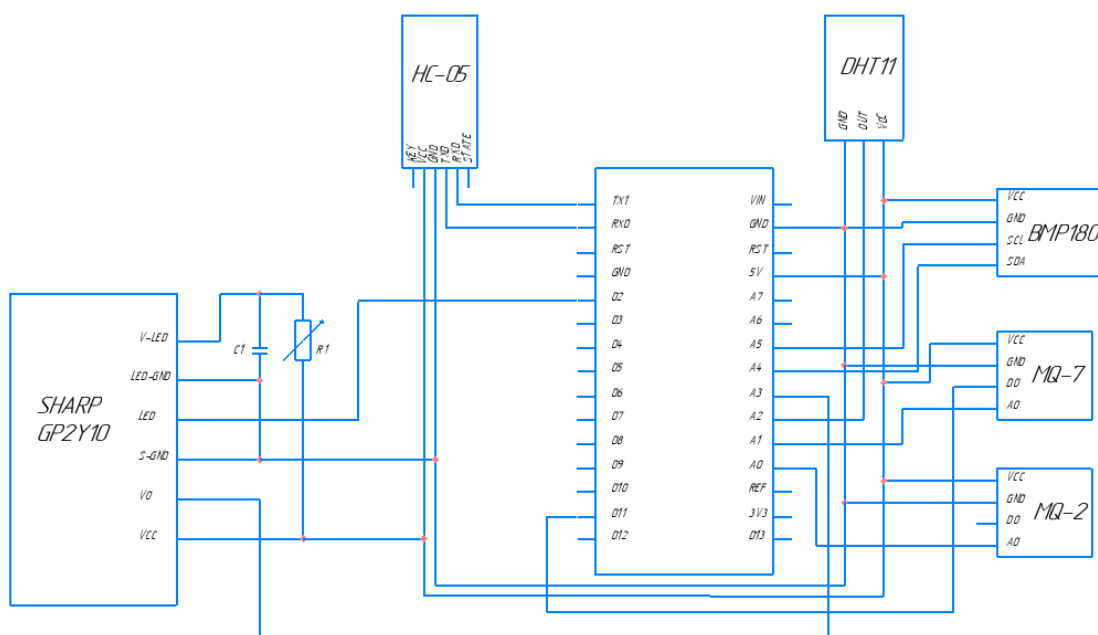


Рисунок 3.1 – Принципиальная электрическая схема измерительного блока

С помощью модуля беспроводной связи HC-05, данные с датчиков передаются на смартфон и отображаются в приложении RemoteXY.

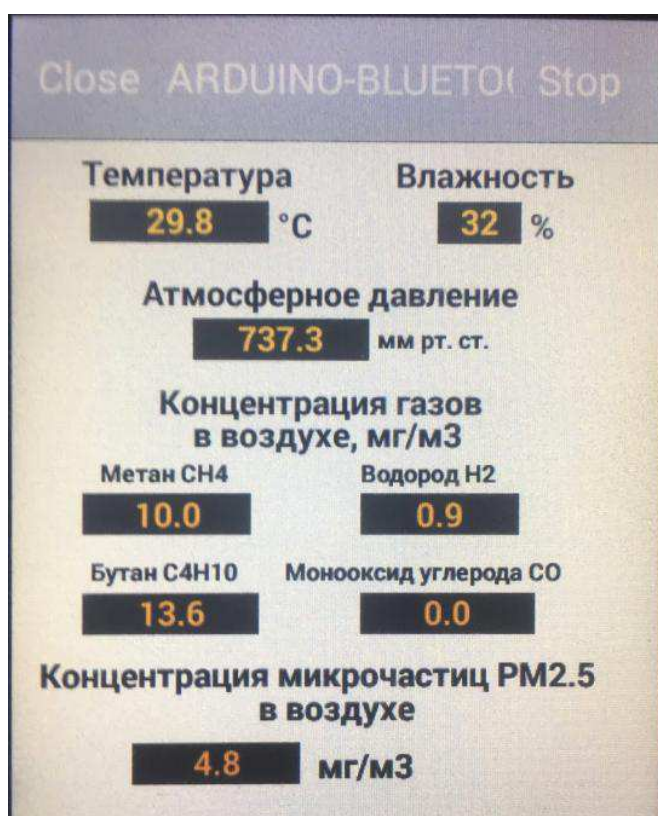


Рисунок 3.2 – Отображение показаний датчиков в приложении RemoteXY

3.1 Алгоритм движения мобильной платформы

Движение мобильного модуля реализовано двумя способами. В первом случае движение мобильной платформы происходит по линии черного цвета, которая определяется двумя рефлективными датчиками ZX-03.

Датчики имеют оптопару с открытым оптическим каналом TCRT5000. Она предназначена для обнаружения излучения находящихся в непосредственной близости объектов с помощью инфракрасного излучения. Оптопара состоит из инфракрасного светодиода, закрытого прозрачным для ИК лучей синим колпаком, и инфракрасного фототранзистора, закрытого черным колпаком. Когда испускаемое светодиодом инфракрасное излучение отражается от поверхности и попадет на базу фототранзистора, то он открывается, и возникает ток от коллектора к эмиттеру. Чем больше излучение, тем больше будет ток.

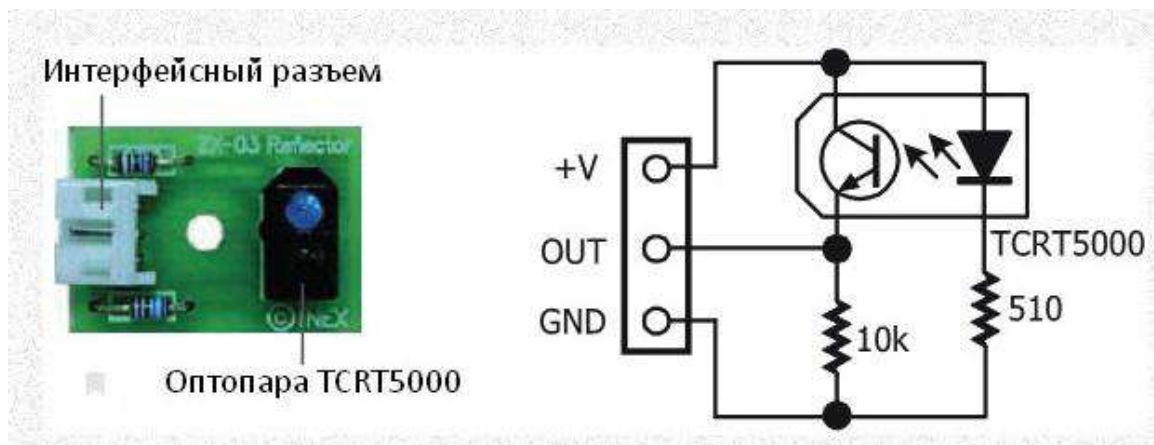


Рисунок 3.3 – Внешний вид и принципиальная схема датчика ZX-03

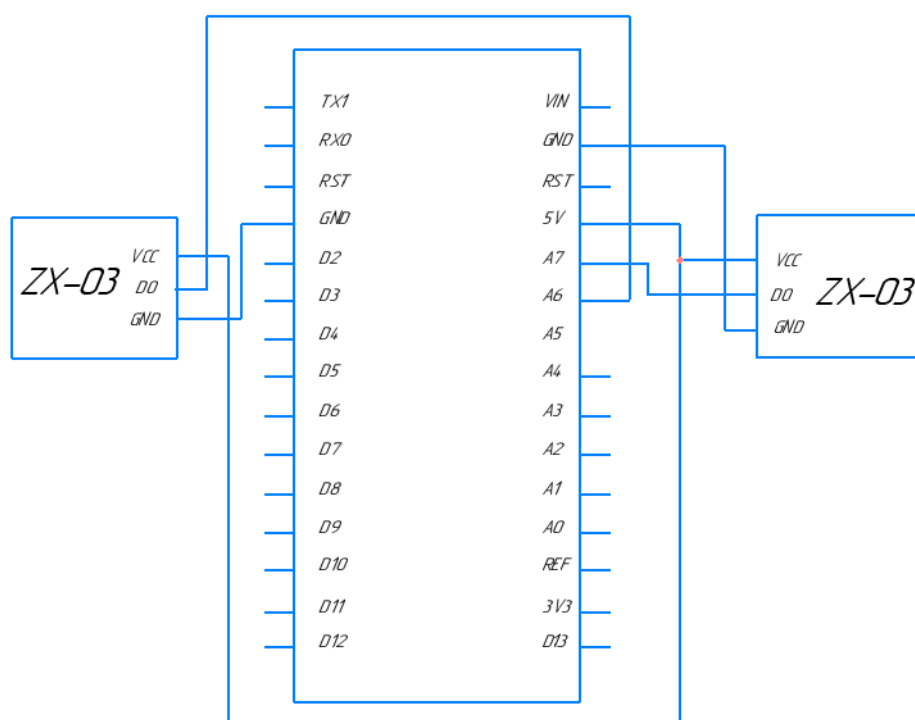


Рисунок 3.4 – Принципиальная электрическая схема подключения датчиков ZX-03

Мобильный модуль двигается по черной линии, пока не достигает стоп-линии. Остановка нужна для того, чтобы датчики газа и датчик температуры и влажности выдавали корректные значения. После получения значений от датчиков, движение мобильного робота возобновляется.

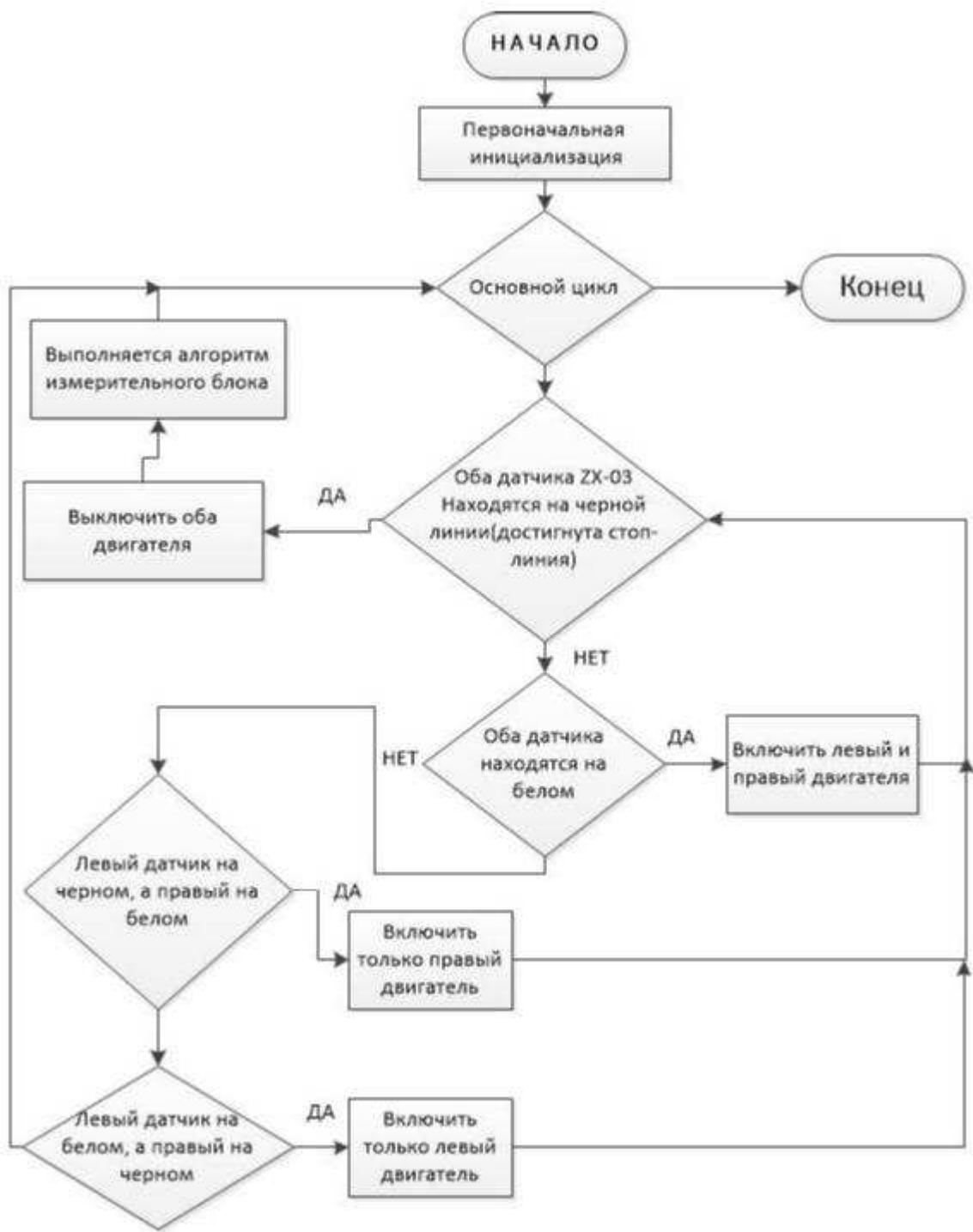


Рисунок 3.5 – Алгоритм движения мобильной платформы, с помощью датчиков ZX-03

Второй способ движения – это ручное управление. Ручное управления осуществляется с помощью созданного интерфейса в приложении RemoteXY.



Рисунок 3.6 – Интерфейс ручного управления

Движение осуществляется с помощью четырех кнопок: «вперед», «влево», «вправо», «назад». Сверху экрана задается скорость движения мобильной платформы. Переключатель «Вкл/Выкл» отвечает за включение ручного управления.

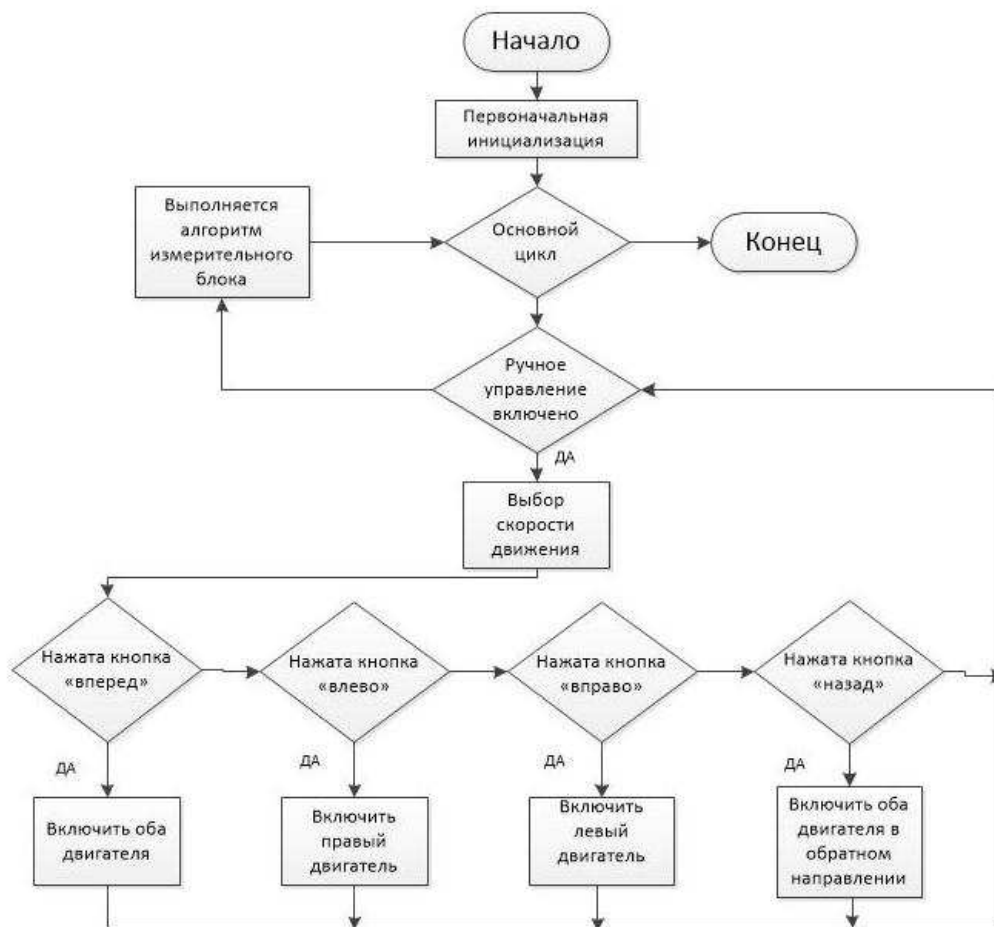


Рисунок 3.7 – Алгоритм ручного управления

3.2 Алгоритм функционирования измерительного блока

Измерительный блок работает следующим образом. Сначала идет проверка датчиков, если все датчики функционируют, получаем информацию с датчиков, затем идет усреднение полученных данных, после этого рассчитываем концентрацию газов в зависимости от температуры и атмосферного давления, выводим полученные значения на смартфон.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

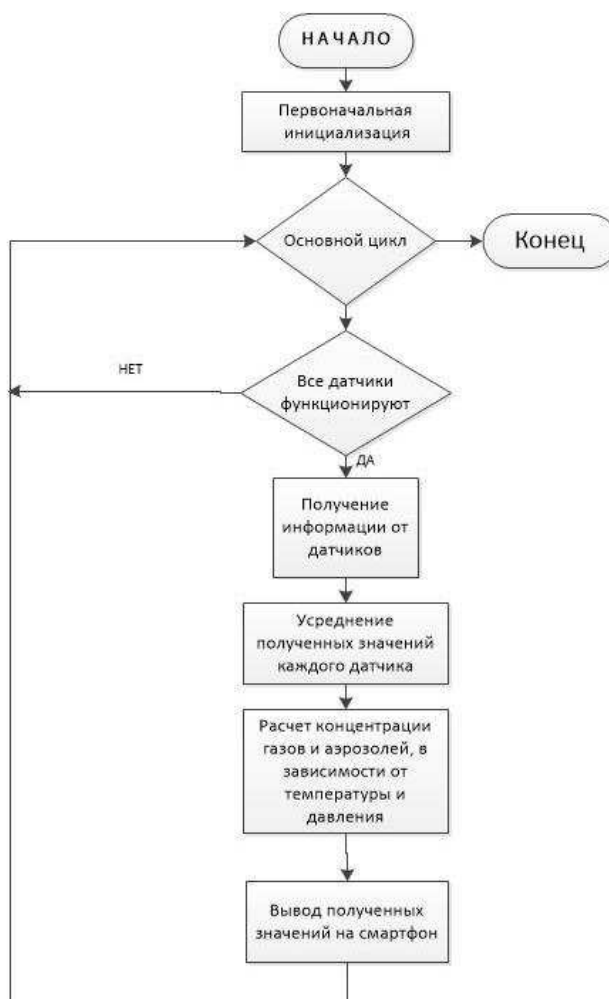


Рисунок 3.8 – Алгоритм функционирования измерительного блока

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

4 Испытания мобильного модуля

Испытания модуля проводились в два этапа, испытание мобильной платформы в движении по линии и испытание измерительного блока.

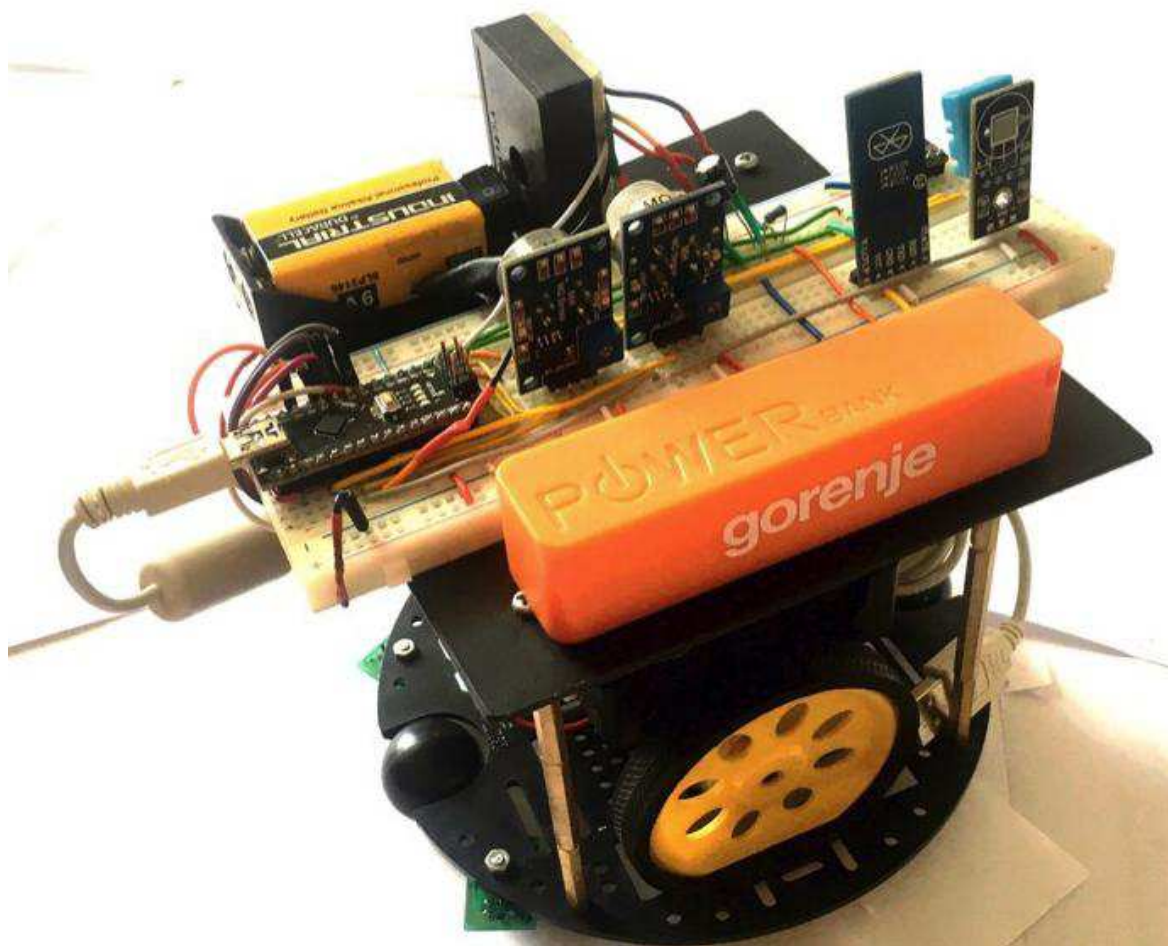


Рисунок 4.1 – Общий вид подвижной измерительной платформы

4.1 Движение по полигону

На рисунке 4.2 приведен листинг программы управления мобильной платформой.

```

int sensorL = analogRead(A5);
int sensorR = analogRead(A6);
int W=0;
analogWrite(ENA,80);
analogWrite(ENB,80);
Serial.print("sensorL ");
Serial.println(sensorL, DEC);
Serial.print("sensorR ");
Serial.println(sensorR, DEC);

if (sensorL>800 && sensorR>800) {

digitalWrite(PIN_MOTOR_RIGHT_3,HIGH); //вперед
digitalWrite(PIN_MOTOR_RIGHT_4,LOW);
digitalWrite(PIN_MOTOR_LEFT_1,HIGH);
digitalWrite(PIN_MOTOR_LEFT_2,LOW);}

else if (sensorL<500 && sensorR>800){

digitalWrite(PIN_MOTOR_LEFT_1,LOW);
digitalWrite(PIN_MOTOR_LEFT_2,LOW);
digitalWrite(PIN_MOTOR_RIGHT_3,HIGH); //влево
digitalWrite(PIN_MOTOR_RIGHT_4,LOW);}

else if (sensorL>800 && sensorR<500) { //вправо
analogWrite(ENA,90);
digitalWrite(PIN_MOTOR_RIGHT_3,LOW);
digitalWrite(PIN_MOTOR_RIGHT_4,LOW);
digitalWrite(PIN_MOTOR_LEFT_1,HIGH);
digitalWrite(PIN_MOTOR_LEFT_2,LOW);}

else if (sensorL<500 && sensorR<500){
digitalWrite(PIN_MOTOR_RIGHT_3,LOW);
digitalWrite(PIN_MOTOR_RIGHT_4,LOW);
digitalWrite(PIN_MOTOR_LEFT_1,LOW);
digitalWrite(PIN_MOTOR_LEFT_2,LOW);
W=1;
}
}

```

Рисунок 4.2 – Листинг программы управления мобильной платформой

Для испытания был создан полигон из бумаги, на которой была напечатана линия шириной 65мм.

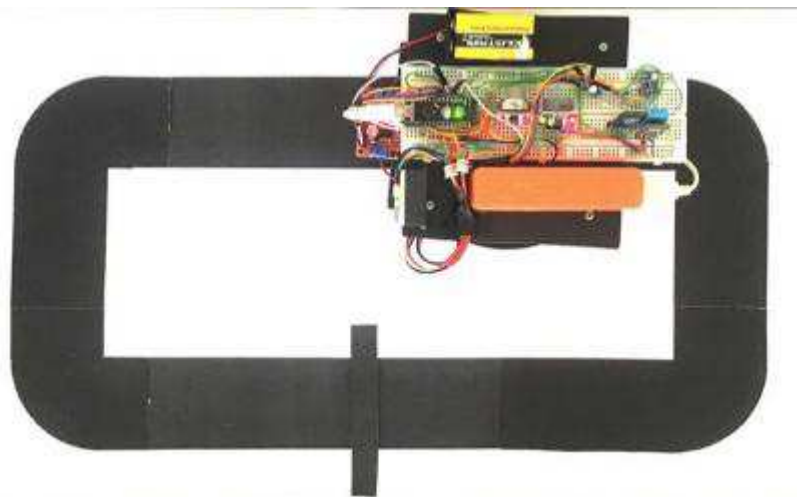


Рисунок 4.3 – Мобильный модуль в ходе испытания

4.2 Сравнение показаний измерительного блока с показаниями датчиков проекта черное небо

Чтобы проверить работоспособность измерительного блока было проведено сравнение показаний температуры, влажности и аэрозолей PM_{2.5} с датчиками из проекта «Черное небо». На сайте <https://nebo.live/ru/krs> показано расположение датчиков проекта и отображаются их показания в режиме реального времени.

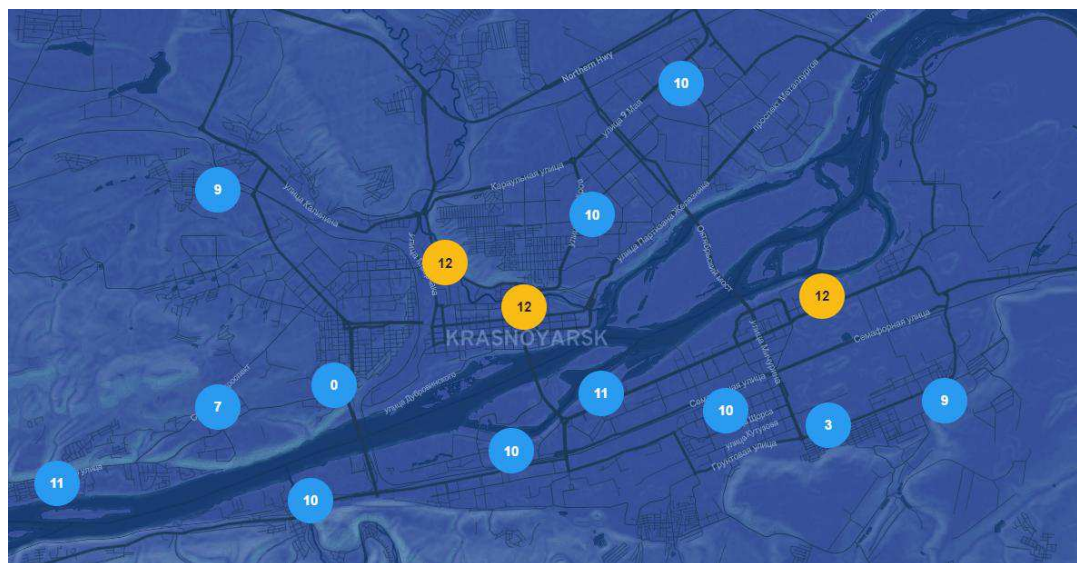


Рисунок 4.4 – Карта расположения датчиков проекта «Черное небо»

Сравнение проводилось 30 июня в 12:00 и в 13:20 на улице Академгородок и улице Ады Лебедевой.

Таблица 4.1 Сравнение показаний измерительного блока с показаниями датчиков проекта черное небо

Место, где проводилось измерение	Измерительный блок			Датчики проекта «Черное небо»		
	Т, °С	Влажность, %	PM2.5, мг/м ³	Т, °С	Влажность, %	PM2.5, мг/м ³
Улица Академгородок	19	44	3.4	19	44	3
Улица Ады Лебедевой	16	67	8.2	16	70	8

5 Экономическое обоснование проекта

Смета затрат – это выражение в денежной форме затраченных на оборудование для реализации подвижной измерительной платформы.

5.1 Смета затрат для реализации подвижной измерительной платформы

Таблица 5.1 – Список затрат на элементы подвижной измерительной платформы

Наименование	Сумма за единицу, руб.	Количество, шт.
Датчик MQ-2	190	1
Датчик MQ-7	260	1
Датчик BMP180	180	1
Датчик DHT11	140	1
Датчик Sharp GP2Y1010AU0F	680	1
Плата макетная	120	1
Контроллер Arduino Nano	720	1
Модуль L298N	230	1
Мотор постоянного тока BQ-2	135	2
Датчик ZX-03	145	2
Итого:		3080 руб.

6 Безопасность проекта

Безопасность оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ 12.0.001, ГОСТ 12.0.003, ГОСТ 12.1.019 и ГОСТ 12.2.003 обеспечивается:

- выбором принципов действия, конструктивных схем, безопасных элементов конструкции и т. п.;
- применением в конструкции безопасных материалов и веществ;
- применением в конструкции средств механизации, автоматизации и дистанционного управления;
- выбором безопасных органов управления;
- применением в конструкции средств защиты;
- соблюдением требований безопасности при эксплуатации, монтажных работах, транспортировании и хранении;
- размещением оборудования на площадке;
- выбором электрооборудования и конструкции оборудования с учетом пожарной безопасности;

В данном проекте разработаны меры по обеспечению безопасной эксплуатации оборудования в течение всего срока службы.

Оборудование мобильной платформы при эксплуатации и в условиях, установленных эксплуатационной и ремонтной документацией по требованиям ГОСТ 2.601 и ГОСТ 2.602, не должно создавать опасности в чрезвычайных ситуациях в результате воздействия влажности, высокой температуры, солнечной радиации, механических колебаний, высоких и низких давлений, агрессивных веществ, ветровых нагрузок, обледенения и других негативных факторов, которые имеют место при чрезвычайных ситуациях.

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

6.1 Безопасность элементов мобильной платформы

Мобильная платформа включает в себя:

- корпусные и крепежные элементы;
- двигатели постоянного тока;
- контроллер;
- кабели;
- датчики;
- приемники и передатчики беспроводного сигнала.

Все элементы мобильной платформы не представляют высокой пожарной (ГОСТ 12.1.004) и взрывоопасности (ГОСТ 12.1.010).

Корпусные и крепежные элементы.

Мобильная измерительная платформа содержит корпусные элементы, крепежные изделия (винты, гайки).

В соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.019, корпусные и крепежные элементы рассматриваемой платформы не представляют высокой электрической опасности, так как корпусные изделия не проводят ток и, а крепежные элементы не контактируют с токоведущими частями роботов.

Контроллер.

Контроллер получает электрическую энергию от блока питания, которой снабжают сервоприводы, датчики и приёмники беспроводного сигнала, а также осуществляют управление и обмен информацией с ними.

Контроллер обеспечивает безопасность работающих при вводе в эксплуатацию и эксплуатации при соблюдении требований, предусмотренных эксплуатационной документацией. Соответствие требованиям безопасности ГОСТ 12.1.019 и ГОСТ 12.1.038 также обеспечивается следующими свойствами контроллеров:

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

- контроллер имеет пластиковые корпуса, исключающих контакт работающего с их внутренними частями при нормальном режиме работы;
- максимальное значение напряжения в электрических цепях контроллера – 12 В, что в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.038 не превышает предельно допустимого напряжения прикосновения продолжительностью в 1 с и более при аварийном режиме работы электроустановки;
- элементы конструкции контроллера не имеют острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющих опасность травмирования работающих;
- конструкция контроллера исключает самопроизвольное ослабление или разъединение креплений сборочных единиц и деталей за счёт их надёжного крепления.

Кабели.

В комплектах имеются двух-, и трёх-жильные кабели питания и связи. Электрическая безопасность при обращении с кабелями обеспечивается следующими их свойствами:

- наличие рабочей изоляции;
- максимальное значение напряжения между жилами кабелей, кроме кабелей питания, составляет 5 В, что, согласно требованиям ГОСТ 12.1.038, не превышает предельного значения напряжения прикосновения постоянного тока при нормальном режиме электроустановки – 8 В;
- напряжение между жилами кабелей питания мобильного робота составляет 12 В, что в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.038 не превышает предельно допустимого напряжения прикосновения продолжительностью в 1 с и более при аварийном режиме работы электроустановки;

Датчики, приемники и передатчики беспроводного сигнала.

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
						69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Все датчики, а также приёмники и передатчики беспроводного сигнала используют постоянный ток с напряжением не более 5 В, что, согласно требованиям ГОСТ 12.1.038, не превышает предельного значения напряжения прикосновения постоянного тока при нормальном режиме электроустановки – 8 В.

6.2 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность оборудования должна быть обеспечена в соответствии с требованиями настоящих стандартов, ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.018, ПУЭ, ПТЭ, и ПТБ, СНиП 3.05.06, СНиП 3.05.07. С учётом этих показателей выбран тип исполнения, вид взрывозащиты электрооборудования и степень его защиты от пыли и влаги.

Для обеспечения пожарной безопасности объекта, где предполагается работа с мобильным роботом, необходимо использовать мероприятия пожарной профилактики:

- организационные (инструктаж персонала, разработка плана эвакуации и т.д.);
- технические (устройство не горючих перегородок);
- режимные (курение в специальных местах);
- эксплуатационные (профилактические осмотры).

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе дипломного проектирования был проведен анализ параметров атмосферных аэрозолей и газов, выбрано программное обеспечение, разработаны мобильная платформа и измерительный блок, а также разработаны алгоритмы функционирования измерительного блока и мобильной платформы.

Все датчики подключены к микроконтроллеру, связанному беспроводной связью со смартфоном, выбранного питания хватает для нормального функционирования всех устройств и датчиков.

Эксперименты подтвердили адекватность и эффективность выбранных измерительных датчиков. Поставленные цели и задачи были выполнены, но есть некоторые погрешности в измерениях.

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Логгер температуры [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://fb.ru/article/352055/chto-takoe-logger-temperaturyi>.
2. Промышленные аэрозоли [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru-ecology.info/term/22806>.
3. Седунов Ю.С. Атмосфера. Справочник. – Л.: Гидрометеиздат, 1991, 510 с.
4. Микрочастицы и их опасность [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.msulab.ru/knowledge/air/microscopic-threat-particles-pm10-and-pm2&5>.
5. Предельно допустимые концентрации пыли в воздухе [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.academplab.ru/services/air-analysis/pyil-v-vozdue>.
6. Параметры газов [электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Природный_газ.
7. Справочная таблица взрывоопасных и токсичных веществ [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.tdgears.ru/table11.htm>.
8. Зависимость параметров газа, жидкости и пористой среды от давления [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kgcri.ru/calculation-of-air-density-from-temperature-and-pressure-dependence-of-fluid-gas-and-porous-media-on-pressure.html>.
9. Датчики температуры для ардуино [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/podkluchenie-datchik-temperature-arduino>.
10. Датчики температуры и влажности [электронный ресурс]. Режим доступа: http://geekmatic.in.ua/si7021_i2c_humidity_temperature_sensor.
11. Обзор датчика давления BMP180 [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://robotchip.ru/obzor-datchika-davleniya-bmp180>.

12. Датчик широкого спектра газов MQ-2 [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/497/DOC001497434>.
13. Датчики газов серии MQ [электронный ресурс]. Режим доступа: https://electronov.net/product/module-/?doing_wp_cron=1562256569.8582730293273.
14. Датчики аэрозолей [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://diymcblog.blogspot.com/2016/08/dsm501-1.html>.
15. Датчик пыли GP2Y1010AU0F – SHAR [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://iarduino.ru/shop/Sensory-Datchiki/datchik-pyli-gp2y1010au0f-sharp.html>.
16. Модуль L298N [электронный ресурс]. Режим доступа: http://robot-kit.ru/article_info.php?articles_id=22.
17. Модуль для беспроводной связи [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.circuitmagic.com/arduino/arduino-and-bluetooth-hc-06-to-control-the-led-with-android-device>.
18. ГОСТ 12.0.001 ССБТ. Основные положения.
19. ГОСТ 12.0.003 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы классификации.
20. ГОСТ 12.0.004 ССБТ. Организация обучения безопасности труда. Общие положения.
21. ГОСТ 12.1.004 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования
22. ГОСТ 12.1.007 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
23. СТО СТО 4.2-07-2014С стандарт организации «Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности» - К.: СФУ, 2014 – 60 с.

					БР – 15.03.06 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования


«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

«Робототехника и техническая кибернетика»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 А.Н. Соцнев
подпись

« 08 » 07 2019г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

по направлению 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»

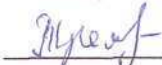
«Разработка подвижной измерительной платформы»

Руководитель

 08.07.19 г.г., КТК
подпись, дата должность, ученая степень


Ю.Г. Голых

Выпускник


подпись, дата

Н.А. Тремасов

Нормоконтролёр

 08.07.19г.
подпись, дата

В.Н. Куликова

Красноярск 2019