



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
БАКАЛАВРА

На тему Разработка цифровой аппаратуры для измерения содер-
жания грубодисперсных аэрозолей

Исполнитель Ящук Николай Васильевич

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
Чукин Владимир Владимирович

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

доктор физико-математических наук, профессор
Кузнецов Анатолий Дмитриевич

«___» _____ 20___ г.

Санкт-Петербург 2016

Содержание

Введение	3
1 Физика атмосферных аэрозолей	4
1.1 Параметры аэрозолей	4
1.2 Источники образования аэрозолей	4
1.3 Пространственно временное распределение аэрозолей	5
2 Методы измерения атмосферных аэрозолей	7
2.1 Нефелометры и трансмиссометры	7
2.2 Счетчик аэрозольных частиц	11
2.3 Импакторы	14
3 Микропроцессорная система измерения содержания аэрозолей	17
3.1 Модули Arduino и ESP8266	17
3.2 Счетчики грубодисперсных аэрозолей DSM501A и GP2Y1010AU0F	21
3.3 Интегрированная среда разработки программ Arduino IDE	23
3.4 Програмное обеспечение	25
3.5 Облачный сервис хранения данных измерений	26
4 Результаты измерений содержания аэрозолей	29
4.1 Описание методики проведения натурного эксперимента	29
4.2 Результаты измерений датчиком DSM-501A	31
4.3 Сравнительный анализ измерений содержания аэрозолей	32
Список использованных источников	37

Введение

Целью дипломного проекта является создание устройства и разработка программного обеспечения для него, которые позволяет измерять концентрацию атмосферных аэрозолей. Актуальность работы определяется существующим интересом к влиянию аэрозолей на человека, животных, растений и климат планеты. В процессе работы над дипломным проектом необходимо решить следующие задачи:

- 1) рассмотреть теоретические основы образования аэрозолей в атмосфере;
- 2) разработать программное обеспечение и собрать прибор, позволяющий измерять содержание аэрозолей;
- 3) провести серию испытаний, для отладки и калибровки устройства.

В первой главе рассматриваются виды аэрозолей, в зависимости от источников их образования, классификация по размерам, их пространственно-временное распределение.

Во второй главе описываются методы измерения атмосферных аэрозолей. Здесь идет речь о различных приборах, которые позволяют каким-либо образом регистрировать аэрозольные частицы в атмосфере.

В третьей главе описывается микропроцессорная система измерения аэрозолей. Здесь подробно рассматриваются принцип работы микропроцессорной системы, простейшие счетчики аэрозолей, а также идет речь о среде разработки микропроцессорной системы.

В четвертой главе рассматриваются результаты проведенных измерений. Описание методики верификация разработанного устройства.

1 Физика атмосферных аэрозолей

1.1 Параметры аэрозолей

Аэрозоли представляют собой твердые и жидкые частицы, которые находятся в взвешенном состоянии в воздушной среде. Аэрозоли распространяются как в приземном слое, так и в тропосфере и стратосфере. Время жизни частиц различно. Она может существовать о нескольких до многих лет. 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 размеров частиц очень важным параметром аэрозольных систем является концентрация, т.е. число частиц в единице объема (м^3). В среднем над океаном и в горах на высоте 1000-2000 м счетная концентрация составляет 10^9 , в сельской местности – 10^{10} , а в больших городах до 10^{11} частиц в одном м^3 .

1.2 Источники образования 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. Промышленные предприятия вносят 20%, а транспорт до 10% аэрозолей [5]. По самым осторожным оценкам 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. Основной источник 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.

1.3 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. Пространственно временная изменчивость характеристик аэрозоля настолько велика, а данные наблюдений в такой степени фрагментарны, что пока еще невозможны достаточно достоверные оценки общего бюджета аэрозоля различных типов, а имеющиеся оценки мощности глобальных источников аэрозоля природного и антропогенного происхождения сугубо ориентировочны. 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 биогенного происхождения (непосредственно выброшенные в атмосферу и образовавшиеся в результате конденсации летучих органических соединений, например терпенов, а также химических реакций между этими соединениями); дымы от сжигания биоты на суше; продукты природных газофазных реакций (например, сульфаты, возникающие за счет восстановленной серы, поступающей с поверхности океана). По этому же принципу антропогенный аэрозоль можно классифицировать следующим образом: непосредственные промышленные выбросы частиц (например, частиц сажи, дыма, дорожной пыли и др.); продукты газофазных реакций. Целесообразно, помимо этого, различать тропосферный и стратосферный (преимущественно вулканический) аэрозоль. Большое внимание привлекают следующие газофазные реакции образования аэрозоля: однородная гомомолекулярная нуклеация (образование новых устойчивых жидких или твердых мельчайших частиц из газовой фазы при наличии лишь одного газового ком-

понента); 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 «высоко 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 (или) радикалами гидроксила с образованием альдегидов, спиртов, карбоксильных и дикарбоксильных кислот (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).

В заключении главы можно сказать, что в атмосфере присутствуют большое количество аэрозолей, таких как почвенные, океанические, стратосферные, вторичные, антропогенные (сернистые соединения, нитраты, органические аэрозоли, сажа и пепел). Также аэрозоль подразделяется по источникам возникновения: океан, почва (минеральная пыль), вулканы, частицы биогенного происхождения, продукты природных 15 газофазных реакций.

2 Методы измерения атмосферных аэрозолей

2.1 Нефелометры и трансмиссометры

Нефелометр - это оптический прибор, с помощью которого измеряется степень мутности газа или жидкости по интенсивности рассеивания ими света. Принцип действия нефелометров заключается в следующем: происходит сравнение интенсивности рассеивания света исследуемого образца с эталоном, концентрация которого известна. Для нефелометрических исследований используется коротковолновый спектр: ультрафиолетовые и синие лучи. Нефелометры бывают двух типов: визуальные и фотоэлектрические.

Рассмотрим схему простейшего нефелометра НФМ:

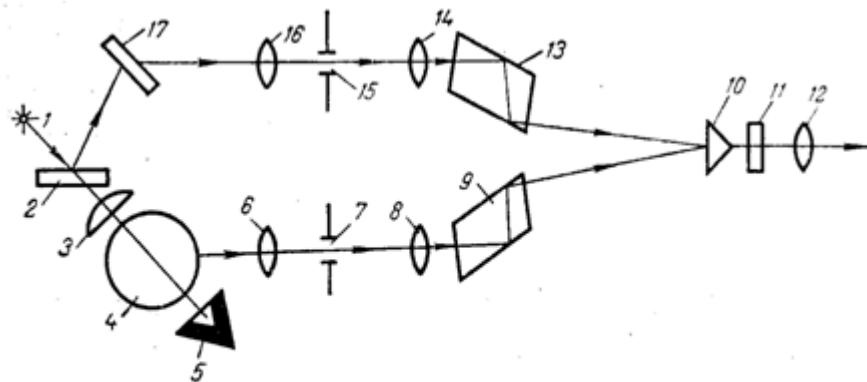


Рис. 106. Оптическая схема нефелометра НФМ:
1 — лампа накаливания; 2 — стеклянная пластина; 3 — конденсор; 4 — кювета; 5 — светоловушка;
6, 16 — насадочные линзы; 7, 15 — диафрагмы; 8, 14 — объективы; 9, 13 — ромбические призмы; 10 — бипризма;
11 — светофильтры; 12 — окуляр; 17 — рассеиватель.

Рисунок 2.1 – Оптическая схема нефелометра НФМ[7]

Принцип действия нефелометра заключается в том, что свет от лампы накаливания 1 проходит через стеклянную пластинку 2 конденсор 3 кювету 4, которая в свою очередь находится в камере с дистиллированной водой (камера с дистиллированной водой необходима для уменьшения рассеивания света стенками кюветы). Затем световой поток гасится светоуловителем, пройдя через кювету. Части светового потока рассеиваются частицами взвеси в кювете 4 и стеклянным рассеивателем 17. Далее все это собирается линзами 6 и 16. Затем два световых пучка проходят через диафрагмы 7 и 15 и связанными с ними объективами 8 и 14. Далее собранные световые пучки проходят через призмы ромбической формы 9 и 13. Бипризма 10 дает возможность наблюдать в окуляр 12 интенсивность двух

световых пучков. Нефелометрический метод требует введение световых фильтров 11, которые в свою очередь нивелируют разницу световых пучков в оттенках.

Трансмиссометр - это оптическое устройство, которое предназначено для измерения метеорологической дальности видимости. Принцип действия такого прибора основан на измерении степени ослабления светового импульса через прохождение слоя атмосферы определенной длины.

В СССР были разработаны такие приборы как РДВ-1(регистратор дальности видимости), затем ему на смену ему пришел РДВ-2, РДВ-3, ФИ-1(импульсный фотометр), ФИ-2. В данный момент производится прибор ФИ-3.

Принцип действия перечисленных выше приборов примерно одинаков. Каждая следующая модель более современна и совершенна.



Рисунок 2.2 — Простейшая схема трансмиссометра

Рассмотрим импульсный фотометр ФИ-1, представленный на рисунке 2.3. Импульсный фотометр ФИ-1 состоит из нескольких блоков: фотометрический блок, близкий отражатель, дальний отражатель и функциональный преобразователь. Дальний отражатель находится на расстоянии 100 м от фотометрического блока, а близкий отражатель, в свою очередь, на расстоянии 20 м.

Рассмотрев оптическую схему ФИ-1, можно увидеть, что источником света является импульсная газоразрядная лампа, которая формирует два пучка света – опорный и зондирующий. Зондирующий пучок проходит через объектив О и становится слаборасходящимся. Благодаря этому пучок попадает на два отражателя - дальний отражатель ОД и близкий отражатель ОБ. Дальний отражатель представляет собой систему из пяти триплель-призм.

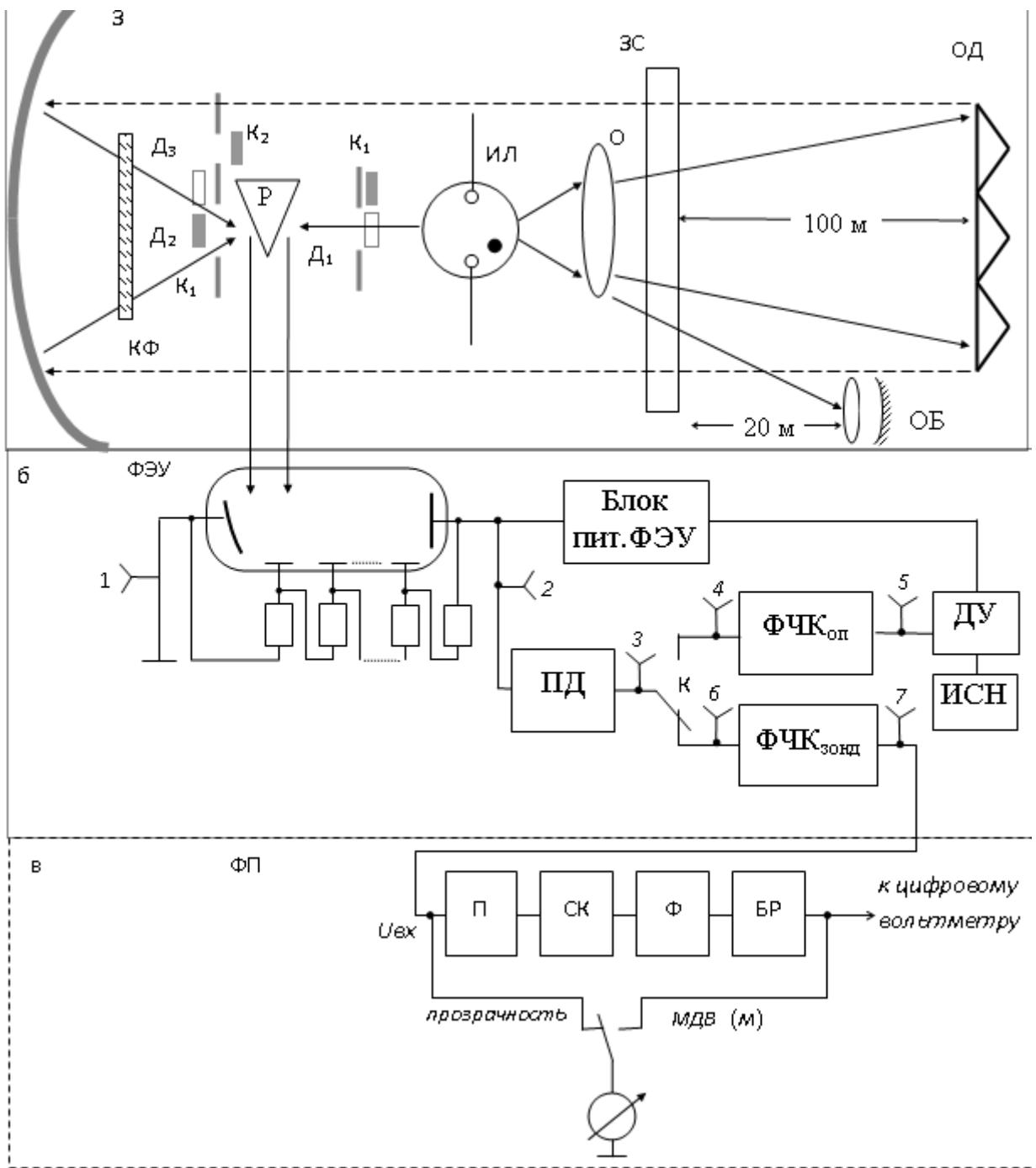


Рисунок 2.3 — Схема импульсного фоометра ФИ-1 трансмиссометра [6]

Главным свойством триплль-призмы является то, что она отражает свет по направлению к источнику. Ближний отражатель состоит из объектива и вогнутого зеркала. Объектив позволяет регулировать угол расхождения отраженного пучка света, то есть яркость этого пучка. Дальний отражатель расположен на оптической оси прибора. Ближний отражатель расположен относительно оптической оси

прибора ниже и правее. Благодаря этому, отраженные пучки света двигаются по разным траекториям.[6]

Световые пучки от ближнего и дальнего отражателя попадают на вогнутое зеркало З. Пучок от дальнего отражателя попадает в диафрагму D_2 , которая находится на оптической оси прибора. В свою очередь пучок от ближнего отражателя попадает на диафрагму D_3 , которая находится немного выше оптической оси прибора. Для того, чтобы воспользоваться одним из отражателей, необходимо открыть или закрыть диафрагму. Это выполняется с помощью коммутатора K_2 . Чтобы определить метеорологическую дальность видимости, нам необходимо измерить яркость зондирующего пучка. Но яркость этого пучка зависит не только от МДВ, но и от интенсивности свечения импульсной газоразрядной лампы. В процессе измерения МДВ лампа может менять свою яркость, поэтому, будет изменяться яркость зондирующего пучка. Для исключения зависимости выходного напряжения от яркости лампы вводится опорный канал. Опорный пучок проходит через диафрагму D_1 . Зондирующий и опорный пучки попадают на клинообразный рассеиватель Р, затем рассеянный свет попадает на катод фотоэлектронного умножителя.

Чтобы обеспечить очередность на клинообразный рассеиватель опорного и зондирующих пучков, в конструкции предусмотрен оптический коммутатор K_1 , который поочередно перекрывает диафрагму D_1 и D_2 (работа с дальним отражателем), или D_1 и D_3 (при работе с ближним отражателем). Частота коммутации световых пучков составляет 0.25Гц , следовательно, в течение двух секунд на клинообразный рассеиватель попадает зондирующий пучок, а в течение следующих двух секунд опорный пучок. В свою очередь каждый из пучков модулируется с частотой 50 Гц - с такой частотой вспыхивает импульсная газоразрядная лампа. Фотоэлектронный умножитель предназначен для того, чтобы преобразовывать световые импульсы в импульсы электрического тока.[6]

Электрический сигнал, который снимается с выхода фотоэлектронного умножителя(ФЭУ), является подобным оптическому сигналу , который поступает на катод ФЭУ.

2.2 Счетчик аэрозольных частиц

Счетчики аэрозольных частиц необходимы для контроля атмосферных загрязнений. Счетчик аэрозольных частиц - это оптический прибор, и в большинстве своем является лазерным. Это фотоэлектрический прибор, который определяет количество частиц благодаря тому, что частички попадают в измерительную камеру и проходят через нее. Подсчет атмосферных аэрозольных частиц происходит благодаря подсчету количества импульсов, рассеянных каждой частичкой, которая попадает на световой луч.

На рисунке 2.4 ниже представлена простая обобщенная оптическая и пневматическая схема прибора:

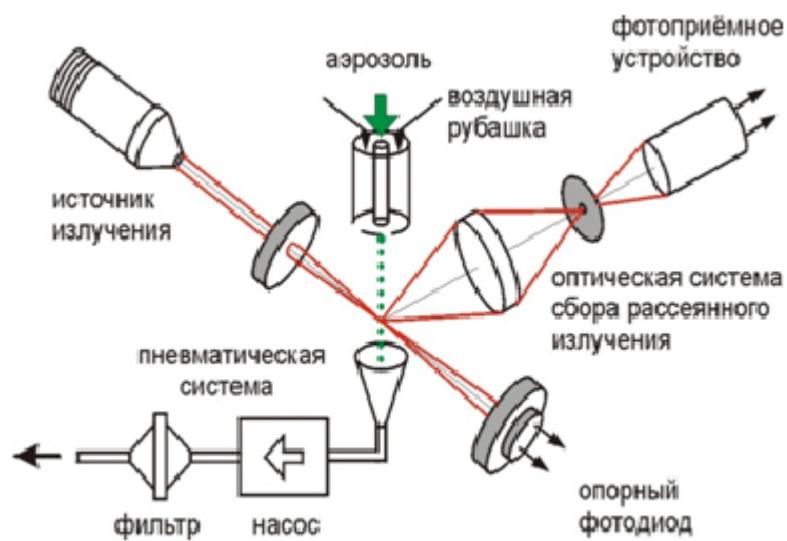


Рисунок 2.4 — Оптическая и пневматическая схема счетчика аэрозольных частиц [18]

Принцип действия счетчика заключается в следующем: Воздух с аэрозольными частицами попадает в измерительную камеру через воздушную рубашку. Внутри измерительной камеры аэрозоль рассеивает луч света, который генерируется лазером. Диаметр лазерного луча подбирается таким образом, чтобы внутри него уместилась только одна аэрозольная частица. Для того чтобы предотвратить оседание атмосферного аэрозоля внутри измерительной камеры, поддерживается постоянная скорость потока чистого воздуха соосно аэрозольному потоку. Далее свет, рассеянный аэрозолем, собирается специальной оптической системой, кото-

рая в свою очередь отправляет его на фотоэлектронный умножитель. Фотоэлектронный умножитель преобразует световые импульсы в электрические импульсы. Амплитуды электрических импульсов прямо пропорциональны геометрическому размеру аэрозольных частиц. Концентрация частиц, зафиксированных за определенное время в известном объеме воздуха (имеется датчик массового расхода воздуха (ДМРВ), который считает количество воздуха, проходящего через него), пропорциональна количеству импульсов рассеянного света, приходящих на фотоэлектронный умножитель, за этот же период времени. Насос в свою очередь регулирует скорость потока.

Наиболее важными техническими характеристиками счетчиков аэрозолей являются:

1) чувствительность и объемная скорость воздуха через прибор (измеряется в л/мин), так как эти характеристики влияют на эффективность и время проведения измерения. В менее чистых зонах необходимо учитывать величину ПДК (предельно допустимой концентрации) частиц в воздухе для данного счетчика атмосферных частиц;

2) диапазон размеров измеряемых частиц. Минимальный размер частиц, которые можно измерить с помощью лазерного счетчика аэрозольных частиц, колеблется в диапазоне от 0.3 мкм до 0.5 мкм. Максимальный размер измеряемой частицы колеблется от 10 мкм до 25 мкм, но бывают приборы, порог которых составляет 80-100 мкм;

3) скорость пробоотбора, которая выражается в единицах объема воздуха, прокаченных через прибор в единицу времени. Диапазон возможных значений обычно от 2.8 л/мин до нескольких десятков литров в минуту (28 литров). Это связано с тем, что раньше применялась классификация чистых помещений, которая основана на американском стандарте 209, в основе которого лежало число частиц в одном кубическом футе, то есть в 28 литрах;

4) собственный фон прибора - это число импульсов, которые фиксируются прибором в течение определенного времени (заранее выбранного), или при подаче фиксированного объема воздуха в условиях, когда на вход прибора подается очищенный воздух, который не содержит частиц аэрозолей с размерами, соответствующими его диапазону измерений. Таким образом, получается некоторое число ложных значений. Численные значения собственного фона в различных приборах

сильно различаются. Лучший результат, который был достигнут в дорогостоящих лабораторных установках, является значение равное 0.01 частиц/литр.

На сегодняшний день рынок предлагает много различных счетчиков аэрозолей. В России самым популярным и оптимальным является счетчик аэрозольных частиц А3-10, внешний вид которого представлен на рисунке 2.5



Рисунок 2.5 – Внешний вид счетчика аэрозольных частиц А3-10 [17]

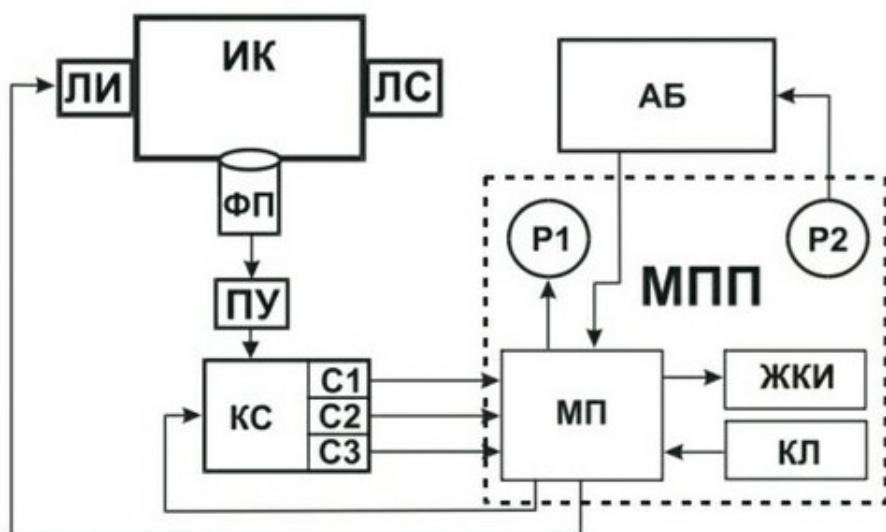


Рисунок 2.6 – Блок-схема счетчика А3-10

ИК - измерительная камера; ЛИ - лазерный излучатель; ЛС - ловушка световая; ФП – светоприемник; ПУ - предварительный усилитель; КС – блок компараторов/счетчиков; МПП – модуль передней панели; МП – микропроцессор; ЖКИ – индикатор; КЛ – клавиатура; Р1 – разъем для подключения персонального компьютера через последовательный интерфейс; Р2 – разъем для подключения зарядного устройства АБ – аккумуляторная батарея.

Таблица 2.1 — Каналы измерения размеров частиц [14]

Модификация	Каналы измерения размеров частиц, мкм
A3-10-0.3	0.3-0.4; 0.4-0.5; 0.5-1; 1-2; 2-5
A3-10-0.4	0.4-0.5; 0.5-1; 1-2; 2-5; 5-10

Принцип действия счетчика аэрозольных частиц А3-10. Прибор А3-10 является прибором, работающим по принципу измерения интенсивности рассеянного света - фотометром. Частицы аэрозоля всасываются через штуцер отбора пробы встроенным насосом в измерительную камеру через фокусирующее сопло, которое ориентировано так, чтобы воздушный поток проходил через лазерный луч, просвечивающий измерительную камеру. Частица, попавшая в лазерный луч, рассеивает свет. Благодаря количественной связи между размером частицы и интенсивностью рассеянного света, определяется размер частицы. Количество прошедших через луч частиц совпадает с числом световых импульсов рассеянного света.

2.3 Импакторы

Импактор - это устройство, предназначенное для принудительного осаждения атмосферных аэрозолей, для того чтобы определить их количество и размер.

Импакторы состоят из нескольких каскадных секций, которые разделены между собой решеткой, которая разделяет на фракции аэрозоль.

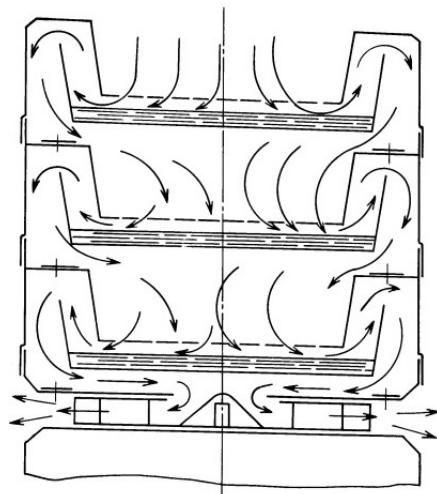


Рисунок 2.7 — Схема простого, трехсекционного импактора

Ниже рассмотрено устройство для накопления аэрозольных частиц, с помощью которого можно не только определить количество и размер частиц, но и узнать временной ход.

Устройство состоит из каскадных секций, которые установлены в корпус. Между каскадными секциями находится специальная перфорированная лента (именно она позволяет определить, как меняется концентрация атмосферных аэрозолей с течением времени), которая и разделяет аэрозольные частицы по фракциям.

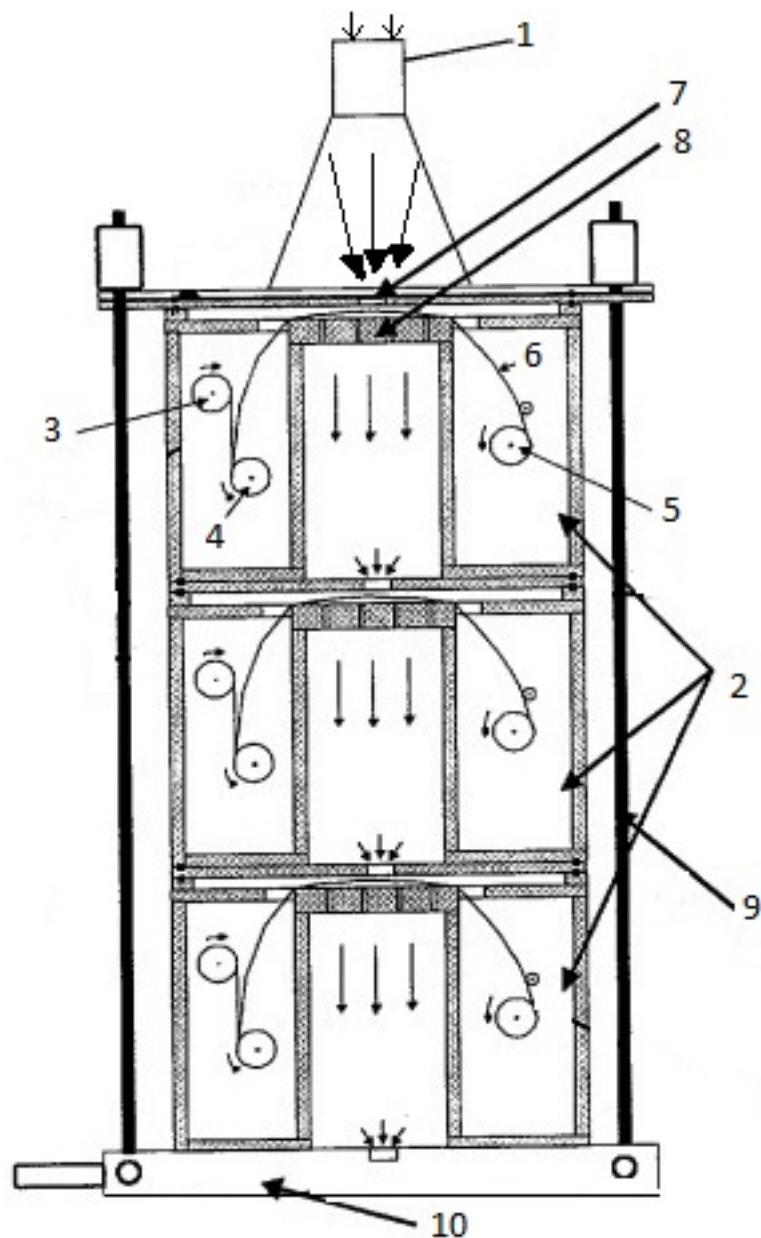


Рисунок 2.8 — Схема импактора [6]

1.Отверстие, для забора воздуха. 2.Секции осаждения, соединенные между собой последовательно. 3, 4, 5. Лентопротяжный механизм. 6.Перфорированная лента с фильтром. 7. Подложка. 8. Сопла для ускорения частиц. 9.Корпус импактора. 10. Подставка.

Принцип работы устройства для накопления аэрозольных частиц заключается в следующем. Через отверстие для забора воздуха 1 воздух попадает внутрь корпуса импактора 9. Затем воздух с аэрозольными частицами попадает на подложку 7 и незначительно ускоряется в сопле 8 (ускорение необходимо, чтобы преодолеть ленту 6, а также чтобы эксперимент занимал не так много времени). Дело в том, что частицы могут находиться во взвешенном состоянии несколько часов, именно поэтому необходимо сопло 8). Далее воздух с частицами попадает на перфорированную ленту с фильтром 6.Частицы, которые не могут пройти через перфорацию, остаются на ней. Частицы, которые могут пройти через перфорированную ленту попадают в следующий каскад. Перфорированная лента имеет размер ячеек, которые соответствуют размерам аэрозольных частиц, а именно от 0.5 мкм до 12 мкм.

Устройство и принцип действия следующих двух каскадов абсолютно идентично выше описанному. Так поток воздуха проходит еще через два каскада. Благодаря лентопротяжному в каждый момент времени фиксируется информация, как по фракциям аэрозольных частиц, так и по их концентрации.

Можно сделать следующие выводы. Импактор можно использовать для определения размеров и концентрации аэрозольных частиц на открытом воздухе, либо в помещении, например в медицинских учреждениях. Помимо всего, тот импактор, который я описал выше, позволяет отслеживать еще и временной ход измеряемых величин

3 Микропроцессорная система измерения содержания аэрозолей

3.1 Модули Arduino и ESP8266

Существует множество микроконтроллеров, которые позволяют выполнять электронное конструирование: Phidgets, MIT's Handyboard, Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24, Arduino. Все они позволяют достаточно просто осуществлять электронное конструирование и проектирование. Для осуществления проекта была выбрана плата Arduino, так как она имеет несколько преимуществ:

- 1) низкая стоимость - делает ее более доступным для студентов и любителей;
- 2) программное обеспечение Arduino позволяет работать в таких операционных системах как Windows, Linux , Macintosh OSX;
- 3) платформа Arduino имеет достаточно простую и понятную среду программирования, что является преимуществом для начинающих пользователей.

Arduino – это уникальная платформа для проектирования электронных устройств, которые более плотно взаимодействуют с окружающей физической средой, чем персональный компьютер. Arduino позволяет создавать электронные устройства с возможностью приема, передачи, обработки сигналов аналоговых и цифровых датчиков. Arduino программируется на языке Processing/Wiring, который основан на языке C/C++. Среда разработки Arduino состоит из текстового редактора программного кода, консоли, панели инструментов с кнопками (которые чаще всего используются), а также несколько вкладок меню. Мною была выбрана платформа Arduino Nano, так как эта платформа построена на микроконтроллере ATmega328, имеет небольшие размеры, что позволяет использовать ее в лабораторных целях и задачах, а также в дальнейшем создать компактный датчик.

Ниже на рисунке 3.1 представлена схема Arduino Nano. На схеме указаны и подписаны все выводы, а именно цифровые, аналоговые, питание, кнопка сброса. На рисунке 3.2 представлен внешний вид платы Arduino Nano. На рисунке хорошо виден микропроцессор ATMega328, разъем Mini USB, кнопка сброса, сигнальные лампы.

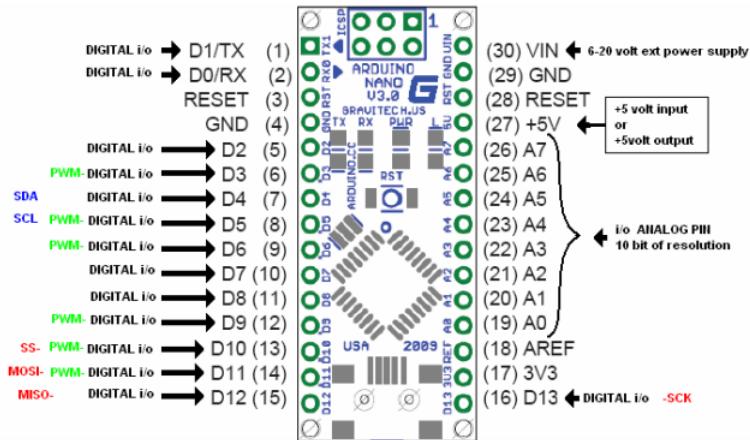


Рисунок 3.1 — Схема Arduino Nano]

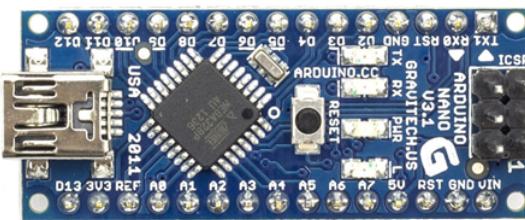


Рисунок 3.2 — Внешний вид Arduino Nano

Питание Arduino Nano осуществляется с помощью подключения mini USB или от нерегулируемого источника питания от 6В до 20В, либо регулируемого источника питания 5В. Плата автоматически выбирает источник питания с самым высоким напряжением.

Микроконтроллер ATmega328 имеет 32КБ флеш-памяти для хранения кода программы(скетч), где 2КБ используется для хранения загрузчика, также 2КБ оперативной памяти и 1КБ EEPROM.

Каждый из 14 цифровых выводов имеет функции: pinMode(); digitalWrite(); digitalRead(). Следовательно каждый из 14 выводов может настраиваться как вход или выход. Эти выводы работают при напряжении 5В. Каждый вывод имеет нагрузочный резистор 20-50кОм, который отключен(можно отключить). Каждый вывод может пропускать до 40mA.

Помимо цифровых выводов на Arduino Nano установлены 8 аналоговых выходов. Каждый из них имеет разрешение 8 бит, то есть он может принимать 1024 различных значений. Базово выходы имеют диапазон измерений до 5В относительно заземления. Так же имеется возможность измерить верхний предел с помощью функции analogReference.

Таблица 3.1 — Технические характеристики Arduino Nano

Микроконтроллер	ATmega328
Рабочее напряжение	5В
Рекомендуемое напряжение питания	от 7В до 12В
Цивровые входы/выходы	14 выводов
Максимальный ток одного вывода	14mA
Флэш-память	32КБ, где 2КБ импульзуются загрузчиком
SRAM память	2КБ

Имеет смысл пояснить различия понятий SRAM и EEPROM.

SRAM (Static random access memory)- статистическая полупроводниковая оперативная память, где каждый двоичный или троичный разряд хранится с положительной обратной связью. SRAM является энергозависимым типом памяти.

EEPROM (Electrically erasable programmable read-only memory)- это электрически стираемое перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство, которая может стираться и заполняться данными до одного миллиона раз. EEPROM является энергозависимым типом памяти.

Для удобства отладки и подключения различных датчиков и устройств к Arduino Nano, рекомендуется использование расширяющей платы. Как я описывал выше Arduino Nano имеет компактный размер, что является его основным преимуществом, однако не очень удобно производить подключения. На рынке предлагается плата DK Nano. В центре платы выполнены разъемы для установки Arduino Nano. Размеры 6,9*5,3 см.

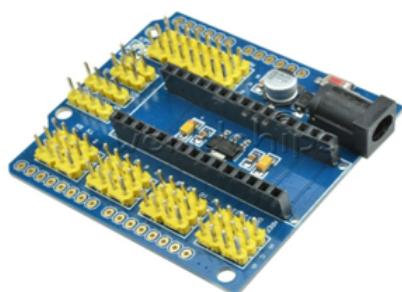


Рисунок 3.3 — Внешний вид расширяющей платы DK Nano

ESP8266 – микроконтроллер с интегрированным интерфейсом Wi-Fi, который производится китайской компании Espressif.



Рисунок 3.4 – Микроконтроллер ESP8266

Мною используется самый распространенный датчик ESP-01 дальностью действия около 400 метров на открытом пространстве.

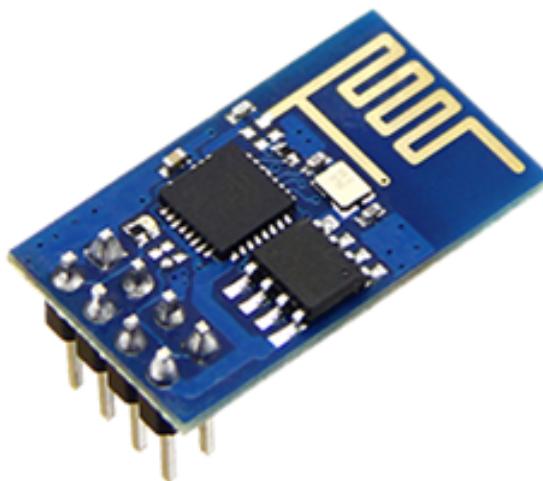


Рисунок 3.5 – Внешний вид ESP-01

Таблица 3.2 – Технические характеристики модуля ESP8266[10]

Поддержка Wi-Fi протоколов	802.11 b/g/n, P2P, soft-AP
Встроенный стек	TCP/IP
Выходная мощность	+20,5 dBm в режиме 802.11b
Ток утечки в выключенном режиме	10 мА
Пробуждение и отправка пакетов	До 22 мс

3.2 Счетчики грубодисперсных аэрозолей DSM501A и GP2Y1010AU0F

Датчик DSM501A (Dust Sensor Module) обладает компактным размером и позволяет обнаружить пыль, аэрозольный частицы размером от 1 мкм. Принцип работы данного датчика основан на измерении числа импульсов света. Внизу датчика расположен резистор, который разогревается и создает конвективный поток внутри датчика. Сам датчик нужно устанавливать строго вертикально, а также защищать от потоков воздуха, так как внутри датчика поддерживается постоянная скорость потока (с помощью нагревательного резистора). Помимо всего в датчике расположен светодиод, который является источником света. Также внутри расположен приемник-детектор (преобразует световую энергию в электрическую). Когда частица оказывается между светодиодом и детектором, она на мгновение затеняет его. Таким образом, кратковременно не попадает на детектор, следовательно, тока нет. Так датчик обнаруживает аэрозольные частицы.

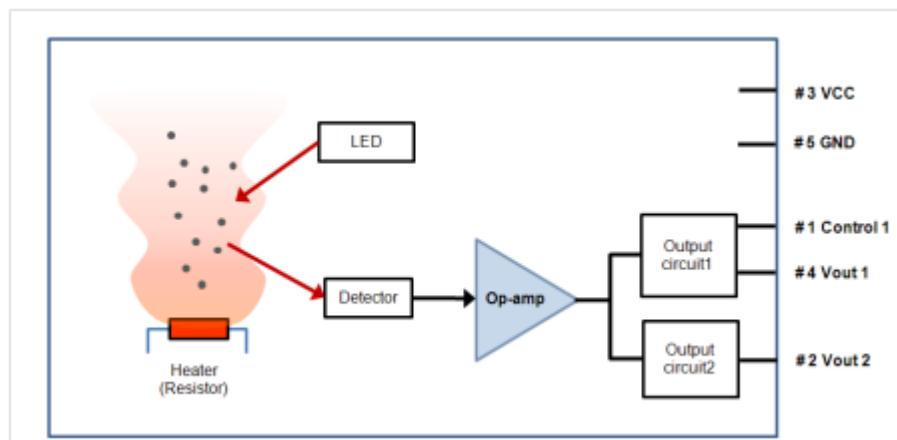


Рисунок 3.6 — Блок-схема DSM-501A

Таблица 3.3 — Описание контактов модуля DSM-501A

Контакт	Название контакта	Описание
1	CONTROL	Управление чувствительностью модуля
2	VOUT2	Порт вывода данных о концентрации >1 мкм
3	VCC	Питание +5В
4	VOUT1	Регулируемый порог от 1 мкм до 2.5 мкм
5	GND	земля

Стоит отметить, что в модуле DSM501A есть возможность регулировки порога измерений. Это возможно благодаря выводу VOUT1. Порт предназначен для вывода данных о концентрации с регулируемым порогом измерений от 1 мкм до 2,5 мкм. Принцип регулировки заключается в следующем: если сопротивление между контактами CONTROL и GND равно 0 Ом, то порог равен 2,5 мкм, если 100 кОм, то порог равен 1,75 мкм, если 27 кОм, то порог равен 1 мкм.

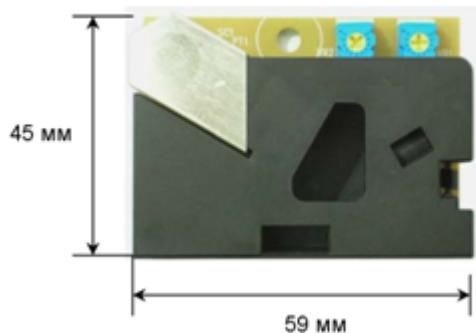


Рисунок 3.7 — Внешний вид датчика DSM-501A

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.

Модуль обладает размерами 46мм30мм17,6мм. Потребление тока- максимум 20mA. Обнаружение аэрозоли возможно с помощью одного импульса.

GP2Y1010AU0F не предназначен для использования рядом с источником шума и вибрации, во время влажной погоды, а также в то время, когда образуется роса. Это может повлиять на результаты измеряемой величины.



Рисунок 3.8 — Внешний вид GP2Y1010AU0F

3.3 Интегрированная среда разработки программ Arduino IDE

Arduino IDE- программа, которая предназначена для написания и компиляции скетчей (sketch – от англ. эскиз) платы Arduino. Язык для написания скетчей основан на языке Processing.

Processing- язык программирования, основанный на языке Java. Этим языком пользуются в основном студенты, дизайнеры, художники для написания изображений, анимации и интерфейсов. Перед выполнением скетча язык Processing преобразует его в код на языке Java, чтобы выполнить его в различных операционных системах таких как: Windows OC, Linux, Android MAC OS.

Чтобы установить среду разработки Arduino IDE необходимо скачать с официального сайта одноименную программу и установить ее. Чтобы установить Arduino IDE в ОС Linux необходимо выполнить следующие действия:

- 1) запускаем командную строку <ctrl+alt+t>;
- 2) переходим в домашний каталог <cd >;
- 3) скачиваем архив с официального сайта: <wget http://downloads.arduino.cc/arduino-1.6.5-linux32.tar.xf>;
- 4) распаковываем данный архив командой: <tar -xf arduino-1.6.5-linux32.tar.xf>;
- 5) в текущем каталоге появляется подкаталог arduino-1.6.5. Создаем символическую ссылку на нее командой: <ln- s arduino-1.6.5 arduino-ide>;
- 6) удаляем файл из архива с помощью команды: <rm arduino-1.6.5-linux32.tar.xf>;

При необходимости необходимо установить дополнительные библиотеки. Это зависит от того, к какому модулю будет разрабатываться скетч, будь то датчик влажности, температуры, давления или как в моем случае датчик аэрозольных частиц.

7) далее необходимо настроить доступ пользователя к последовательному порту. Выполняем команду: <sudo usermod -aG dialout \$USER>. После успешно выполненной операции необходимо завершить сеанс и войти в систему

8) после выполненных выше команд можно запустить программу Arduino IDE. Выполняем команду /arduino-ide/arduino. Программа Arduino IDE должна успешно запуститься.

После установки необходимого программного обеспечения необходимо подключить саму плату Arduino. Эта операция осуществляется с помощью USB кабеля. Подключив плату, она начинает получать питание. Об этом нам сообщает

светодиод с подписью ON. После подключения платы необходимо произвести общие настройки.

1) выбираем тип платы. Для этого необходимо перейти в вкладку «Инструменты», затем в вкладку «Плата». Нами используется плата Arduino Nano, поэтому необходимо указать в списке именно эту плату.

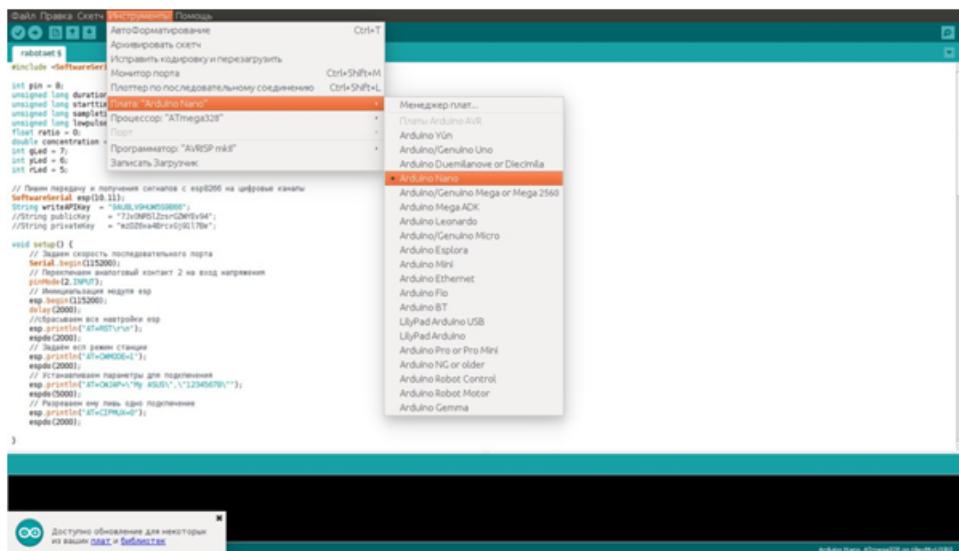


Рисунок 3.9 – Выбор типа платы

2) далее нам необходимо выбрать порт, к которому подключается устройство. Для этого также переходим в пункт меню «Инструменты», затем переходим в «Порт».

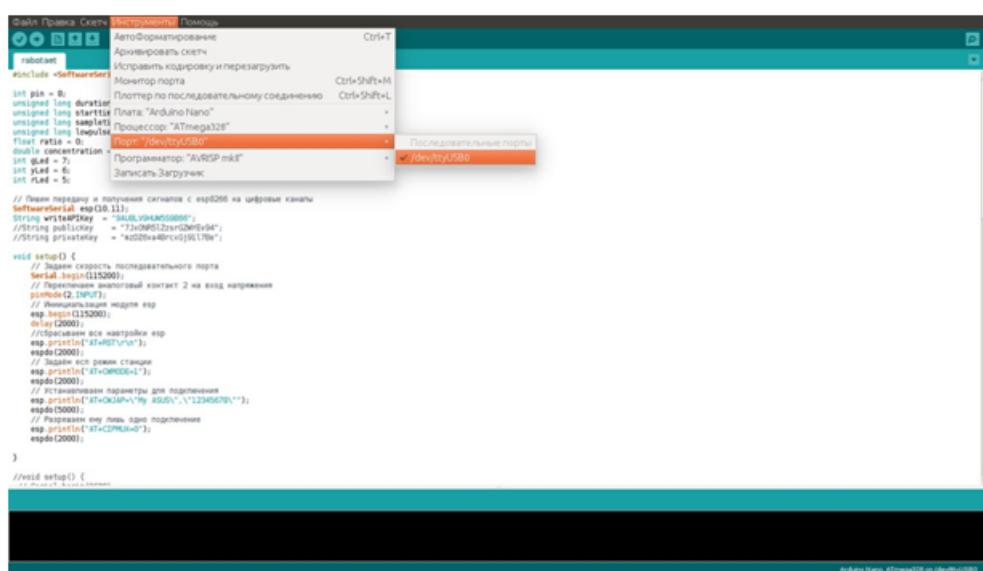


Рисунок 3.10 – Выбор порта

Далее можно приступать к работе с Arduino IDE. Для начала необходимо разработать скетч, или выбрать из готовых образцов.

Затем, после того как скетч составлен необходимо скомпилировать и загрузить в плату Arduino. Для компиляции необходимо нажать на кнопку с галочкой, которая расположена под основным меню слева. После того как скетч успешно скомпилирован и ошибок не обнаружено, его можно успешно загружать в плату. Эту функцию выполняет кнопка, которая расположена правее от кнопки компиляции. После того как скетч загрузился, в информационном окне(расположено внизу под скетчем), выводится информация о том сколько скетч использует памяти платы, а также сколько ее осталось.

Чтобы посмотреть результат необходимо открыть монитор порта нажав на кнопку справа. Она имеет вид увеличительной лупы. На рисунке ниже кнопки обведены в красный круг.

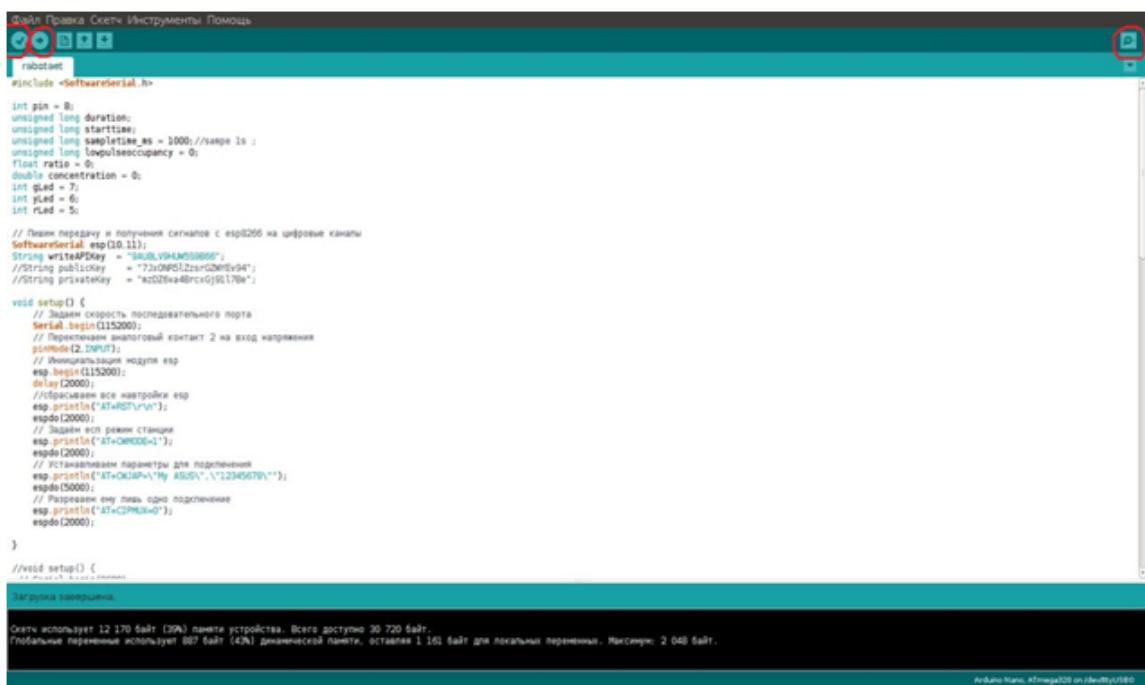


Рисунок 3.11 – Компиляция, загрузка, просмотр результатов

3.4 Програмное обеспечение

Для обеспечения работы датчика DSM-501A необходима библиотека SoftwareSerial. В приложении А представлен скетч для датчика DSM-501A.

3.5 Облачный сервис хранения данных измерений

Существует огромное количество облачных сервисов для хранения данных. Это довольно известные сервисы, такие как Google Диск, Яндекс. Диск, Mail.ru, и т.п. Все они позволяют хранить огромное количество текстовой, графической информации, приложений и так далее.

Существует специальный сервис ThingSpeak, который предназначен для сбора данных с датчиков (например температуры, влажности, давления или как в моем случае датчик аэрозольных частиц) ThingSpeak поддерживает популярные сервисы такие как Arduino, RaspberryPi, ioBridge/RealTime.io, Electric Imp, Мобильные приложения, Web приложения, анализ данных Matlab.

Сервис позволяет в режиме реального времени вести запись измеряемой величины и строить график временного хода.

Основу сервиса ThingSpeak составляют каналы, в которые поступают данные для хранения и визуализации. Каждый канал имеет 8 полей для любого типа данных, 3 поля местоположения(такие как широта, долгота и высота), и 1 поле состояния. После регистрации на сервисе и создании канала появляется возможность отправлять данные и обрабатывать их. Каналы поддерживают три формата записи данных: CSV, XML, JSON. Данные на платформу ThingSpeak поступают HTTP Post запросом.

CSV имеет текстовый формат, который предназначен для представления табличных значений. В текстовом документе столбцы разделены запятыми. Каждая строка в документе – строка в таблице.

XML формат- расширяемый язык разметки (компьютерный язык, где помимо самого текста указывается различная информация, например о заголовках или выделениях).

JSON формат- текстовый формат, основанный на JavaScript. Для того чтобы начать работу с платформой ThingSpeak необходимо выполнить несколько действий:

- 1) перейти по ссылке <https://thingspeak.com/login>;
- 2) создать аккаунт;
- 3) выполнить вход. Перейти на страницу “Your Channels”, создать новый канал, нажав на кнопку “Create New Channel”.

Затем в скетче необходимо указать параметры writeAPIKey, Public Key, Private Key. Все эти параметры необходимы для передачи данных на конкретный канал. Каждый канал имеет свой ID, а также имя канала. В моем случае имя канала “ArduinoMaster”, ID 104568, writeAPIKey “9AU8LV9HUW5S9B66”, PublicKey “7JxONR5lZzsrgZWYEv94”, PrivateKey “mzDZ6va4BrcxGj91l7Be”

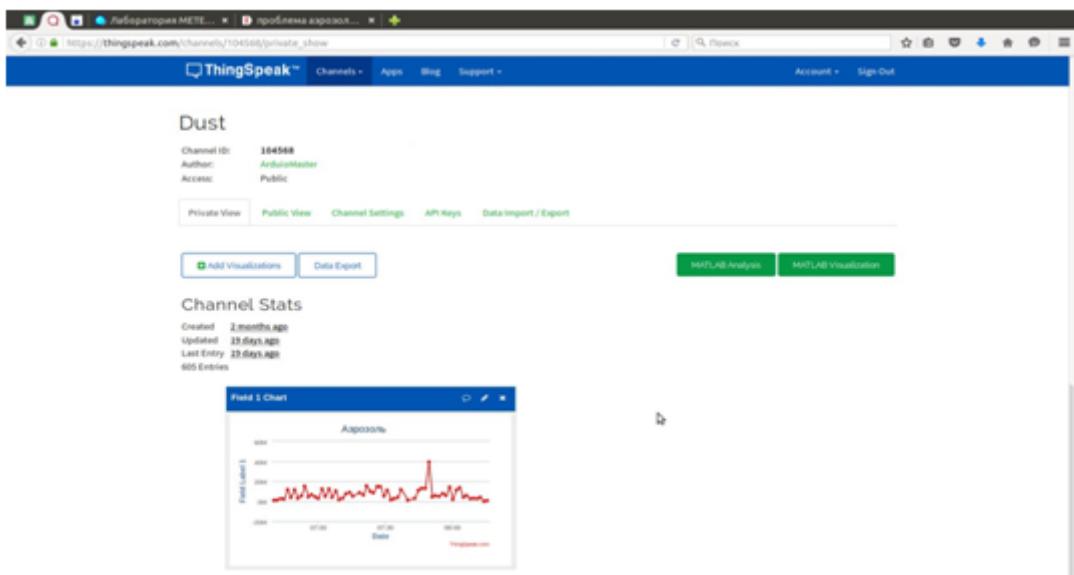


Рисунок 3.12 — Внешний вид интерфейса ThingSpeak

Принцип работы системы Arduino-ThingSpeak. Измеряемая величина обрабатывается платой Arduino, затем обработанные данные поступают в модуль Wi-Fi ESP8266. Чтобы передать данные с платы на сервис ThingSpeak, необходимо использовать передатчик. В качестве передатчика можно использовать мобильный телефон с мобильным интернетом, который имеет функцию Wi-Fi, а именно возможность создавать точку доступа. В итоге получается, что модуль ESP8266 через мобильный телефон передает данные на облачный сервис ThingSpeak.

В моем случае точка доступа называется My ASUS, а пароль 12345678

Название и пароль точки доступа прописывается в скетче:

```
// Устанавливаем параметры для подключения esp.println("AT+CWJAP=My  
ASUS;\"2345678"); espdo(5000);
```

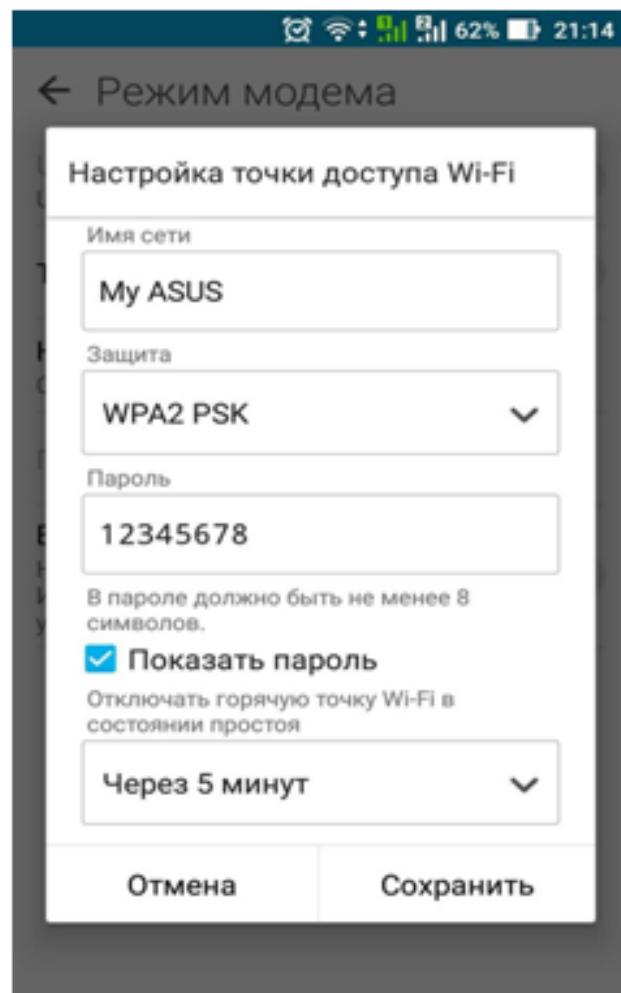


Рисунок 3.13 — Настройка точки доступа

4 Результаты измерений содержания аэрозолей

4.1 Описание методики проведения натурного эксперимента

Чтобы проверить работоспособность прибора, а именно платы Arduino, датчика DSM 501A, Wi-Fi модуля ESP8266, а также программного обеспечения, была проведена серия экспериментов. Эксперименты проводились в 2 этапа. Первый этап проводился 12 мая 2016 года с 13:00 до 15:00. Второй этап проводился с 17 мая 2016 16.20 по 18 мая 8.20. Эксперименты проводились рядом с зданием Российского государственного гидрометеорологического университета рядом с автоматической станцией содержания аэрозолей (Малоохтинский проспект, 98). Прибор был размещен примерно в пяти метрах от автоматической станции, а также на высоте один метр над уровнем земли. Место проведения было выбрано таким образом, чтобы как можно ближе расположить чувствительный датчик DSM 501A к чувствительному элементу автоматической станции содержания аэрозолей, а также(так как корпуса не было) чтобы влияние ветра было минимальным. Прибор был подвешен на ограждение университета веревкой. Стоит упомянуть, что датчик DSM 501A следует подвешивать вертикально, чтобы поддерживать постоянную скорость потока внутри датчика. Именно поэтому на ранней стадии разработки конструкции прибора было в качестве крепления принято использовать веревку.

Также стоит отметить синоптическую ситуацию 12 мая, а также в период с 17 мая по 18 мая:

1) 12 мая средняя температура воздуха днем составляла 14С, ночью -7С. Давление было равным 1015.8 гПа. Направление ветра ЗЮЗ, скорость днем 4 м/с, ночью 2 м/с. Существенной облачности не было.

2) Период с 17 мая по 18 мая. 17 мая средняя температура воздуха составляла 16С, ночью — 8С. Давление 1009.2 гПа. Направление ветра ССВ, скорость ветра днем 5 м/с, ночью 2 м/с. Существенной облачности не было. 18 мая средняя температура днем составляла 15С, ночью — 12С. Давление 1010.4 гПа. Направление ветра ЮЮЗ, скорость ветра днем — 4м/с, ночью 2м/с. Существенной облачности не было.



Рисунок 4.1 — Общий вид расположения прибора



Рисунок 4.2 – Общий вид расположения датчика DSM-501A

4.2 Результаты измерений датчиком DSM-501A

Данные измерений датчиком DSM 501A передавались на облачный сервис ThingSpeak. Затем данные экспорттировались в формат Libre Office Calc для проведения дальнейшей обработки.

Период проведения экспериментальных измерений:

12 мая 2016 года измерения проводились в период с 13:00 по 15:00.

С 17 мая 2016 года 16:20 по 18 мая 8:20

4.3 Сравнительный анализ измерений содержания аэрозолей

Необходимо выполнить верификацию датчика DSM501A с автоматическим измерителем PM10. Чтобы осуществить верификацию необходимо провести сравнение полученных значений и значений PM10 у одной и той же одной величине. Измерения концентрации PM10 имеют размерность мкг/м³ как показано на рисунке 4.3

г.Санкт-Петербург, пр. Малоохтинский, 98 12.05.2016		
PM10		
11:00	5.3309	ug/m ³
11:20	4.8410	ug/m ³
11:40	3.9825	ug/m ³
12:00	3.9331	ug/m ³
12:20	5.0854	ug/m ³
12:40	3.7742	ug/m ³
13:00	4.0817	ug/m ³
13:20	4.4995	ug/m ³
13:40	3.1247	ug/m ³
14:00	4.3765	ug/m ³
14:20	4.4504	ug/m ³
14:40	5.4223	ug/m ³
15:00	3.9766	ug/m ³

Рисунок 4.3 – Данные PM10

Эти данные необходимо перевести в значения концентрации- N (количество частиц)/м³, так как датчик DSM501A выводит информацию именно в этих единицах измерения. Для этого необходимо найти связь между вышеописанными единицами измерения. Для этого были найдены средние значения двух рядов значений. Затем среднее значение PM10 были разделены на среднее значение данных DSM501A. Таким образом был получен переводной коэффициент для перевода из кг/м³вм⁻³. Его значение составило $5.12 * 10^{12}$ кг(– 1). Значения PM10 были умножены на этот переводной коэффициент. Далее необходимо было осреднить значе-

ния DSM501A по времени (интервал измерения DSM 501A 2 минуты, а PM10 20 минут). После выполнения вышеперечисленных действий была построена таблица в Libre Office Calc.

	Станция РГТМУ		DSM501A
Время	мг/м3	Нчастц/м3	Нчастц/м3
13:00	4,0817	20897762,0224818	60416052,5
13:20	4,4995	23036842,5460365	23792646,75
13:40	3,1247	15998049,0951439	15548064,413
14:00	4,3765	22407098,8782595	28333426,033
14:20	4,4504	22785457,0656475	15761046,513
14:40	5,4223	27761456,0145291	23363407,76
15:00	3,9766	20359663,9779017	13751570,013

Рисунок 4.4 — Результаты измерения за 12.05.2016

Далее построив график, представленный на рисунке можно увидеть, что временной ход примерно одинаков.

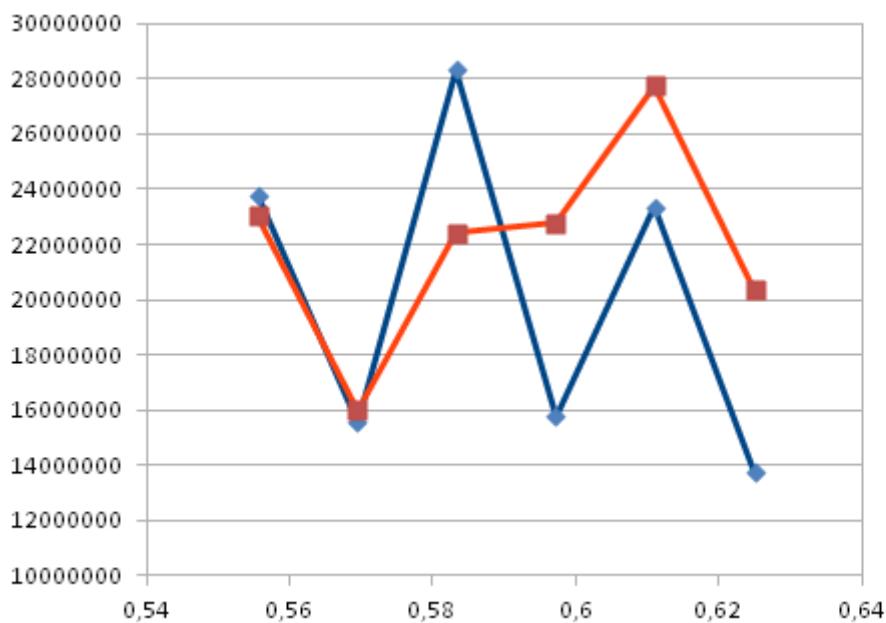


Рисунок 4.5 — График содержание аэрозолей более 1мкм

где синяя линия- датчик DSM-501A, а оранжевая PM-10.

Отличия значений DSM 501A от значений автоматического счетчика могут быть по некоторым причинам: датчик DSM501A располагался ближе к подстилающей поверхности, чем автоматический счетчик, а также на значения датчика

DSM501A мог оказывать влияние ветер, так как он был не защищен (корпус не был изготовлен).

Построив график зависимости значений датчика DSM501A от значений автоматического счетчика, был определен коэффициент детерминации.

Анализ данных с 17 мая 16:20 по 18 мая 08:20. Данные этого периода также передавались на облачный сервис ThingSpeak. Эти данные анализировались аналогичным методом. Переводной множитель оказался равным $5.19 * 10^{12} \text{ кг}^{-1}$.

Другим подходом для определения переводного множителя является использование функции распределения аэрозолей по размерам:

$$n(r) = \frac{N_\alpha \beta^{\alpha+1} + \alpha}{\Gamma(\alpha + 1)} \exp(-\beta r), \quad (1)$$

Отсюда можно определить значения PM10

$$PM10 = \frac{4}{3} \pi \rho N_a \int_0^{10} r^3 n(r) dr, \quad (2)$$

Концентрация аэрозолей крупнее 1мкм определяется уравнением:

$$N_a(r > 1\text{мкм}) = \int_1^{\infty} n(r) dr, \quad (3)$$

Из решения уравнений (2) и (3) был получен переводной коэффициент $6.63 * 10^{12} \text{ кг}^{-1}$. При расчетах использовались параметры распределения аэрозолей по размерам $r_{\text{среднее}} = 1.62 * 10^{-7}$ и $r_e = 4.68 * 10^{-7} \text{ м}$.

На рисунке 4.6 представлены результаты сопоставления данных измерений содержания аэрозолей с радиусом более 1мкм устройством DSM 501A и PM10

Глядя на график, можно увидеть, что кривая DSM501A имеет ход немногого похожий на PM10, но со смещением равным примерно 3 часам 30 минутам. Вероятней всего это связано с тем, что датчики DSM-501A и PM10 измеряют аэрозоли разных размеров (DSM-501A $> 1\text{мкм}$, а PM10 массу всех аэрозольных частиц менее 10мкм в м^3). Получается, что сначала появляются мелкодисперсные частицы, и им необходимо примерно 3 часа 20 минут, чтобы вырасти до размера более 1мкм.

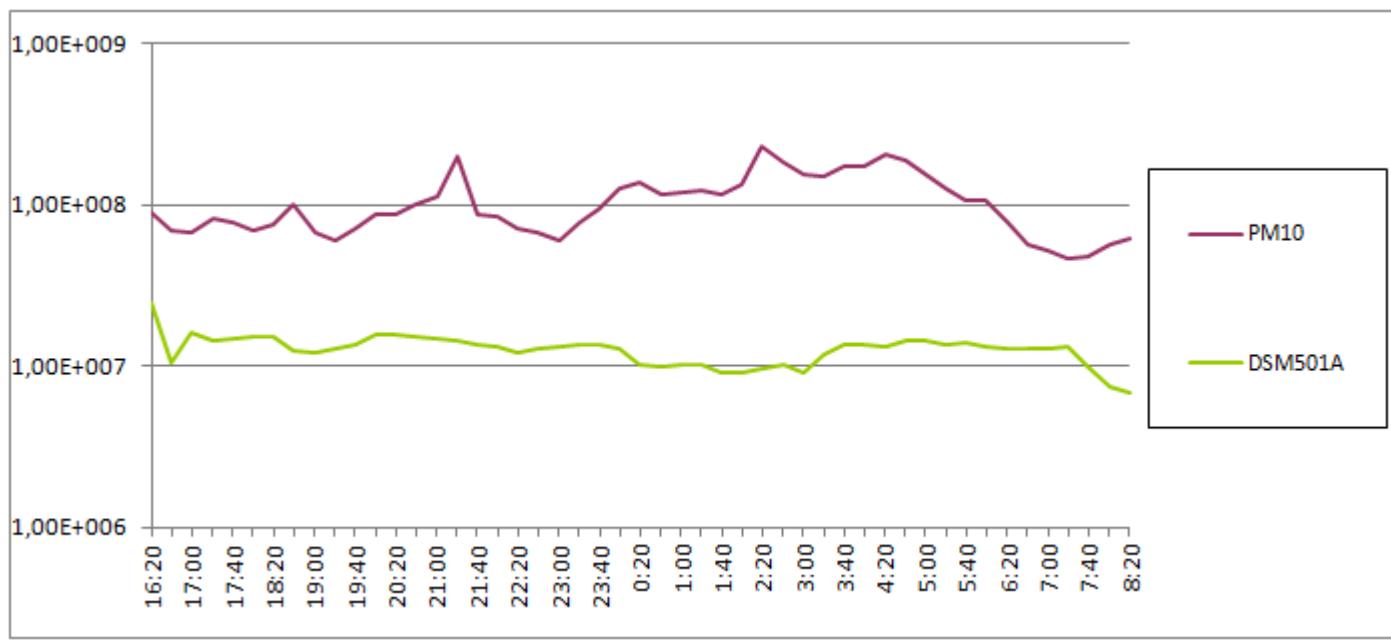


Рисунок 4.6 – Результаты измерения за период с 17 мая 2016 16.20 по 18 мая 8.20

Заключение

В результате выполнения работы получены следующие результаты:

- 1) показано, что в атмосфере присутствуют аэрозольные частицы различного происхождения, а также приведена классификация аэрозольных частиц: высокодисперсные, среднедисперсные и грубодисперсные аэрозольные частицы. Отмечено, что концентрация аэрозолей является важным параметром аэрозольных систем, который может быть измерен с помощью технических средств;
- 2) рассмотрены методы измерений параметров аэрозолей в условиях естественной природной среды;
- 3) создано устройство для измерения концентрации аэрозольных частиц на базе микроконтроллера Arduino и датчика аэрозолей DSM 501A, разработано и отлажено программное обеспечение;
- 4) был проведен ряд экспериментальных измерений и верификация датчика DSM 501A на платформе Arduino.

В ходе написания квалификационной работы поставленная задача, а именно создание рабочего датчика аэрозольных частиц, была решена. На основании результатов, полученных в данной работе, можно проводить измерения концентрации аэрозольных частиц.

Помимо всего стоит отметить, что разработанный датчик является в разы дешевле, чем его дорогостоящие аналоги.

Список использованных источников

- 1 Ивлев Л.С. Физика атмосферных аэрозолей [текст] / Л.С Ивлев, Ю. А. Довгалюк СПб, НИИХ СПбГУ, 1999. - 258 с.
- 2 Уайт В. Технология чистых помещений. Основы проектирования, испытаний и эксплуатации [Текст] / В. Уайт. - Л.: изд."Мир 2002. - 304 с.
- 3 Райст П. Аэрозоли. Введение в теорию. [Текст] / П. Райст. - Л.: изд."Мир 1987. - 278 с.
- 4 Александров П. А. Раннее предупреждение аварийных ситуаций по мониторингу микрочастиц. [Текст] / Александров П. А., Калечиц В. И., Лысов Р. С., Маслаков О. Ю., Хозяшева Е.С., Чечуев А. П., Чечуев П. В., Шахов М. Н. . - Л.: "Машиностроение и инженерное образование 2005. - 18 с.
- 5 Сайт Чукин.ру. - URL: <http://chukin.ru/diploma/artuhova.pdf> (дата обращения: 07.05.2016)
- 6 Сайт ГМИ РГГМУ. - <http://gmi.rshu.ru/lab/lab13.doc> URL: (дата обращения: 06.05.2016)
- 7 Сайт Справочник химика. - URL: <http://chem21.info/page/> (дата обращения: 07.04.2016)
- 8 Сайт Arduino. - URL: <http://arduino.ru/Arduinoenvironment> (дата обращения: 08.05.2016)
- 9 Сайт Play-Zone. - URL: <http://www.play-zone.ch/> (дата обращения: 08.05.2016)
- 10 Сайт sTD. - URL: <http://istarik.ru/blog/esp8266/28.html> (дата обращения: 10.05.2016)
- 11 Сайт мастер Кит. - URL: <http://masterkit.ru/shop/arduino/modules/1354130> (дата обращения: 15.05.2016)
- 12 Сайт Робокрафт. - URL: <http://robocraft.ru/blog/arduino/18.html> (дата обращения: 10.05.2016)
- 13 Сайт Find Planet. - URL: <http://www.findpatent.ru/patent/229/2296975.html> (дата обращения: 15.05.2016)
- 14 Сайт Научно-производственное отделение. - URL: <http://www.ntm.ru/UserFiles/File/product/APFD/AP-30> (дата обращения:

10.05.2016)

- 15 Сайт Find Planet. - URL: <http://www.findpatent.ru/patent/223/2237236.html> (дата обращения: 10.05.2016)
- 16 Сайт Академик. - URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/medic2/18667> (дата обращения: 10.05.2016)
- 17 Сайт ECO. - URL: <http://ekosf.ru/> (дата обращения: 10.05.2016)
- 18 Сайт REFDB. - URL: <http://refdb.ru/look/2562047.html> (дата обращения: 10.05.2016)
- 19 Сайт Аква Аналитик. - URL: <http://www.aquaanalytics.ru/> (дата обращения: 10.05.2016)
- 20 Сайт Лаборатория Метеотехнологий. - URL: <http://meteolab.ru/edu/arduino/software/ide/> (дата обращения: 10.05.2016)
- 21 Сайт DiyHobby. - URL: [://diyhobby.ru](http://diyhobby.ru) (дата обращения: 10.05.2016)

Приложение А

Исходный код для датчика DSM-501A

```
#include <SoftwareSerial.h>

int pin = 8;
unsigned long duration;
unsigned long starttime;
unsigned long sampletime_ms = 1000;//sampe 1s ;
unsigned long lowpulseoccupancy = 0;
float ratio = 0;
double concentration = 0;
int gLed = 7;
int yLed = 6;
int rLed = 5;
// Пишем передачу и получения сигналов с esp8266 на цифровые каналы
SoftwareSerial esp(10,11);
String writeAPIKey = "9AU8LV9HUW5S9B66";
void setup() {
    // Задаем скорость последовательного порта
    Serial.begin(115200);
    // Переключаем аналоговый контакт 2 на вход напряжения
    pinMode(2,INPUT);
    // Инициализация модуля esp
    esp.begin(115200);
    delay(2000);
    //сбрасываем все настройки esp
    esp.println("AT+RST\r\n");
    espdo(2000);
    // Задаём esp режим станции
    esp.println("AT+CWMODE=1");
    espdo(2000);
```

```

// Устанавливаем параметры для подключения
esp.println("AT+CWJAP=\"My ASUS\", \"12345678\"");
espdo(5000);
// Разрешаем ему лишь одно подключение
esp.println("AT+CIPMUX=0");
espdo(2000);

}

//void setup() {
// Serial.begin(9600);
//pinMode(8,INPUT);
//pinMode(gLed,OUTPUT);
//pinMode(yLed,OUTPUT);
//pinMode(rLed,OUTPUT);
//starttime = millis();//get the current time;
//}

void loop() {
duration = pulseIn(pin, LOW);
lowpulseoccupancy = lowpulseoccupancy+duration;
if ((millis()-starttime) > samptime_ms)//if the sample time == 30s
{
ratio = lowpulseoccupancy/(samptime_ms*10.0); // Integer percentage
concentration = (1.1*pow(ratio,3)-3.8*pow(ratio,2)+520*ratio+0.62)/0.0
//concentration = 1e6*concentration;
Serial.print("concentration = ");
Serial.print(concentration);
Serial.print(" M^-3 - ");
if (concentration < (1000/0.000283168)) {
Serial.println("Бездымная беспыльная окружающая среда");
}
if (concentration > (1000/0.000283168) && concentration < (20000/0.000
Serial.println("Поток воздуха попадает на датчик");
}
if (concentration > (20000/0.000283168) && concentration < (315000/0.000
}

```

```

Serial.println("Дым");
}

if (concentration > (315000/0.000283168)) {
    Serial.println("Густой дым(сигаретный или даже пожар)");
}

lowpulseoccupancy = 0;
starttime = millis();
delay(20000);
}

//Serial.print("concentration");
//Serial.print(" ");
Serial.println(concentration);
//String cmd = "GET /input/" + publicKey + "?private_key=" + privateKey;
String tsData = "field1=";
    tsData += concentration;

String cmd = "POST /update HTTP/1.1\n";
    cmd += "Host: api.thingspeak.com\n";
    cmd += "Connection: close\n";
    cmd += "X-THINGSPEAKAPIKEY: "+writeAPIKey+"\n";
    cmd += "Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n";
    cmd += "Content-Length: ";
    cmd += tsData.length();
    cmd += "\n\n";
    cmd += tsData;

// Подключаемся к серверу
esp.println("AT+CIPSTART=\"TCP\",\"184.106.153.149\",80");
// Передаём данные
espdo(3000);
esp.print("AT+CIPSEND=");
esp.println( cmd.length() );
espdo(3000);
esp.println(cmd);
espdo(20000);

```

```
}

void espdo(long time) {
    delay(time);
    while(esp.available() > 0) {
        Serial.write(esp.read());
    }
}
```