



РГГМУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра высшей математики и физики
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
Бакалаврская работа

на тему: Влияние естественного рассеянного излучения атмосферы на
доплеровский сигнал

исполнитель: Саватнесс Артем Николаевич
(фамилия, имя, отчество)

руководитель: кандидат физико-математических наук, доцент кафедры
высшей математики и физики

Потапова Ирина Александровна
«К защите допускаю»

ведущий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей
математики и физики

Вайцева Ирина Владимировна

01» июня 2023г

Санкт-Петербург

2023 г.

Оглавление

Введение	2
1.1. Атмосфера и ее состав	5
1.2. Физические процессы	9
1.3. Химические процессы	11
1.4. Способы и методы обработки данных	14
1.5. Эхо-сигнал	24
2.2 Принцип работы лидара.....	29
2.3. Обработка данных лидара	30
2.4. Фоновая засветка	33
2.5. Пайтон	34
2.6. Уравнения для работы.....	36
2.7. Оценка влияния атмосферы на эхо-сигнал.....	39
2.8. Решение проблемы влияния атмосферы.	41
2.9. Обработка результатов	46
Заключение.....	47
Список литературы	48
Примечание	49

Введение

Одной из важнейших областей исследований в современных технологиях является изучение атмосферных излучений и их влияние на дистанционное зондирование. На эхо-сигналы светолокационных систем существенно влияет естественное рассеянное излучение воздуха. Так же на точность и надежность систем дистанционного зондирования воздействуют различные излучения, такие как солнечное, космическое и собственное излучение Земли, из-за чего сигналы лидара являются неточными.

Сигналы лидара передаются из специальных систем, направляются на целевую область, а затем, после рассеивания находящимися там предметами, отражаются обратно в систему. Эти эхо-сигналы передают информацию о местоположении цели, которую мы хотим изучить и интерпретировать, это используется для различных целей, включая мониторинг погоды, управление стихийными бедствиями и военное наблюдение. Однако ряд переменных параметров окружающей среды, включая температуру, давление и дисперсию частиц воздуха, влияют на точность этих сигналов.

Когерентность и энергия этих эхолокационных сигналов могут быть снижены из-за естественного атмосферного излучения, которое также может повлиять на то, насколько хорошо они распространяются. В зависимости от частоты, размера и дисперсии частиц светового сигнала влияние атмосферного излучения на него может меняться. Шум, который создают эти излучения, также может снизить чувствительность оптической системы, что может привести к неточным результатам.

Солнце является одним из основных источников атмосферного излучения. Инфракрасное, видимое и ультрафиолетовое излучение - это лишь несколько видов электромагнитного излучения, которое оно испускает. Эти лучи могут взаимодействовать с молекулами газа и пыли в атмосфере, в результате чего сигналы лидара рассеиваются и поглощаются. Это рассеивание может разбить

сигнал на множество эхо-сигналов, что создает помехи для принимаемого сигнала и приводит к неточным измерениям.

Космические лучи - еще один источник излучения в атмосфере. Высокоэнергетические частицы в этих лучах проходят через атмосферу, сталкиваются с молекулами газа и вызывают цепную реакцию вторичных частиц. Отношение сигнал/шум эхолокационных сигналов может быть снижено в результате способности этих частиц создавать электрический шум.

На распространение светолокационных сигналов может влиять излучение, которое испускает сама Земля и которое взаимодействует с атмосферой. Лидарные сигналы могут поглощаться и рассеиваться тепловым излучением, излучаемым поверхностью Земли, что снижает их силу и когерентность.

Поскольку окружающая среда является источником нескольких помех, которые могут нарушить точность лидарных измерений, изучение того, как атмосфера влияет на эхо-сигнал лидара, очень важно. Например, рассеяние или поглощение лазерного излучения может происходить в зависимости от атмосферных факторов, таких как влажность, температура, частицы, облачность, дождь, снег и туман. В результате данные, которые собирает лидар, могут стать менее точными и надежными.

Целью работы является изучение влияния атмосферного естественного рассеянного излучения на эхо-сигнал в оптиколокационных системах. Поскольку окружающая среда является источником нескольких помех, которые могут нарушить точность лидарных измерений, изучение того, как атмосфера влияет на эхо-сигнал лидара, очень важно. Например, рассеяние или поглощение лазерного излучения может происходить в зависимости от атмосферных факторов, таких как влажность, температура, частицы, облачность, дождь, снег и туман. В результате данные, которые собирает лидар, могут стать менее точными и надежными.

Исследование влияния естественного рассеянного излучения атмосферы на эхо-сигнал имеет высокую актуальность в свете развития технологий радиолокации, метеорологии, геологии и других областей научной деятельности, где требуется точность и надежность измерений. Так же данное исследование может привести к улучшению качества светолокационных измерений, систем наблюдения и контроля скорости объектов, определения точных координат, а также более точного прогнозирования погодных условий и атмосферных явлений. В военном деле данная технология используется для различных целей, включая зондирование местности, обнаружение целей, осуществление наведения и ориентирования.

Задачи:

1. Изучить процессы в атмосфере, влияющие на ее состав и метеорологические параметры, а также на характеристики естественного рассеянного излучения.
2. Изучить принцип работы лидара и основные характеристики лазерного излучения.
3. Решить лидарное уравнение, описывающее взаимодействие излучения с атмосферой.
4. Предложить способы уменьшения влияния рассеянного излучения на сигналы лидара.
5. Использовать моделирование и испытания для проверки моделей и методик.

1.1. Атмосфера и ее состав

Атмосфера является внешней оболочкой земли, состоящая из большого количества газов и аэрозольных частиц. Состав и концентрация отдельных газов имеет почти постоянное значение концентрации, помимо воды и углекислого газа.

Газовый состав атмосферы

Наличие газов в атмосфере описывает не только состав, но и является причиной протекания различных биологических, физических и химических процессов вблизи поверхности земли.

Таблица 1 Газовый состав атмосферы

Газ	Содержание по объему, %
Азот (N ₂)	78,084
Кислород (O ₂)	20,946
Аргон (Ar)	0,934
Углекислый газ (CO ₂)	$3,5 \cdot 10^{-2}$
Неон (Ne)	$1,82 \cdot 10^{-3}$
Гелий (He)	$5,2 \cdot 10^{-4}$
Криптон (Kr)	$1,14 \cdot 10^{-4}$
Водород (H ₂)	$5 \cdot 10^{-5}$
Ксенон (Xe)	$8,7 \cdot 10^{-6}$
Озон (O ₃)	$10^{-6} - 10^{-5}$

Кислород - один из важнейших газов в атмосфере, который влияет на большое количество процессов, связанных с живыми организмами и явлениями на Земле, таких как дыхание, горение, окисление и другие. Живые организмы, включая человека, зависят от присутствия кислорода.

Азот - еще один важный элемент в составе атмосферы. Он входит в состав большого количества органических соединений и необходим для роста растений, но помимо его положительного влияния у нас есть газы, которые являются

антропогенными. Одним из таких соединений является аммиак (NH_3), который образуется в процессе отторжения азота бактериями и разложения органических материалов. Он является одним из основных загрязнителей воздуха в сельской местности и промышленности. Кроме аммиака существуют также оксид и диоксид азота (NO и NO_2 соответственно), метиловый эфир азотной кислоты (этилнитрат - $\text{C}_2\text{H}_5\text{ONO}_2$). Проблемы, вызванные соединениями азота, являются задачей мониторинга мирового уровня.

Присутствие углекислого газа также важно. Он присутствует в процессе фотосинтеза и дыхания растений, тем самым высвобождая кислород. Кроме того, он участвует в парниковом эффекте - процессе задерживания теплового излучения на земле, что приводит к повышению температуры воздуха, кроме углекислого газа, в этом участвуют метан, оксид азота и другие газы.

Другие газы, такие как аргон, неон, криптон, гелий и метан, также присутствуют в атмосфере, но метан вызывает большой интерес у ученых из-за своего влияния.

Аэрозоли

Помимо газов, атмосфера состоит из жидких или твердых частиц небольшого размера, взвешенных в воздухе, которые называются аэрозолями. Они образуются в результате деятельности человека, такой как промышленные предприятия, выхлопные газы автомобилей и сжигание ископаемого топлива, а также в результате природных процессов, включая извержения вулканов, пыльные бури и лесные пожары. Эти частицы влияют на климат, могут вызывать проблемы с дыханием, ухудшать зрение - вот лишь несколько негативных последствий, которые аэрозольные частицы могут оказывать как на здоровье человека, так и на окружающую среду.

Таблица 2 Примеры аэрозольных частиц и их размеры

Аэрозоль	Диаметр частиц, мкм
Табачный дым	0,25

Хлорид аммония	0,1
Туман серной кислоты	0,3–5,0
Цветочная пыльца	15–20
Атмосферный туман	2–50
Спрей из аэрозольного баллончика	1–100
Тальк	10
Фотохимические аэрозоли	0,01–1,00

Существуют различные способы классификации аэрозолей по размеру, измерение их диаметра является одним из наиболее используемых. Для классификации аэрозолей в соответствии с этим методом используются три категории:

1. Крупные частицы (более 10 микрометров) - это пыль, крупные капли жидкости или суспензии органических молекул. Хотя они могут загрязнять поверхности, они не проникают глубоко в дыхательные пути.
2. Средние частицы (от 2,5 до 10 микрометров) - частицы пыли, дыма, тумана и т.д. Они способны проникать в легкие и вызывать аллергические реакции.
3. Мелкие частицы (< 2,5 микрометров) - частицы выхлопных газов и дыма от сгорания топлива. Из-за своей неограниченной способности проникать в легкие, они могут вызвать серьезные проблемы со здоровьем.

Поведение аэрозольных частиц в атмосфере, физические и химические свойства, влияние на живые организмы и окружающую среду зависит от их размера. Более мелкие частицы легко перемещаются по воздуху на огромные расстояния, так же у них большее время нахождения в атмосферных слоях, лучше рассеивают свет, нежели частицы больших размеров. Частицы размером

менее 10 микронетров глубоко проникают в легкие и могут абсорбироваться в кровь, что вызоввает ряд заболеваний.

1.2. Физические процессы

Парниковый эффект, задерживающий тепло, - это физическое явление атмосферы, которое заслуживает более подробного изучения. Поверхность Земли отражает тепловое излучение, которое повышает температуру воздуха, а газы в атмосфере поглощают инфракрасное излучение - электромагнитную волну с длиной волны от 0,74 до 2000 микрометров. Основной проблемой является значительное количество выбросов парниковых газов от производства, что может привести к повышению уровня воды в мире из-за таяния ледников, увеличению погодных явлений, таких как дожди и засухи, снижению доступности питьевой воды во многих частях мира, вымиранию отдельных растений и животных, а также целых экосистем, распространению заболеваний, зависящих от климата, а также насекомых, которые распространяют эти заболевания.

Солнечные лучи нагревают и освещают пепел, отражаясь от земли после прохождения через атмосферу. В такой обстановке тот же свет, который на него попадает, рассеивается. Физический акт распространения света во всех направлениях известен как рассеяние. Все оттенки видимого света можно увидеть в солнечном свете, который, по сути, является белым. При попадании в атмосферу свет вступает в реакцию с кислородом, изменяя длину волны. Мы воспринимаем голубое небо, потому что синий и фиолетовый цвета доминируют в свете благодаря силе, с которой они рассеиваются. Преломление, которое также происходит, когда свет пересекает границу двух сред с разными показателями преломления в результате рассеяния, является принципом работы нескольких оптических приборов, один из которых будет рассмотрен позже.

Земля нагревается от солнечных лучей, а уже от подстилающей поверхности нагревается и охлаждается воздух. Теплый воздух легче, из-за чего он начинает двигаться вверх, что способствует созданию зон с низким давлением, воздух движется туда из зон высокого давления, тем самым вызывая воздух. Это одна из главных причин, но помимо нее так же движение возникает

из-за циклона, антициклона, фронтов и других метеорологических явлений. Данный процесс изучает аэродинамика, а именно движение воздуха и как газы воздействуют на тела в атмосфере. Понимание всех этих явлений и их условий необходимы для создания безопасных и эффективных объектов воздушной сферы, к примеру самолеты.

Солнечные лучи, помимо света и тепла, содержат в себе опасное ультрафиолетовое излучение, находящиеся в диапазоне от 100 до 400 нанометров, которое воздействует на человека через повреждение кожи, что приводит к преждевременному старению и увеличению вероятности возникновения злокачественных опухолей, помимо этого, под зону риска попадают глаза и иммунная система человека, что способствует развитию других заболеваний. Атмосфера является естественным барьером от ультрафиолетового излучения, через поглощение и рассеивание частиц излучения, что не позволяет воздействовать на земную поверхность и организмы.

Одним из важнейших физических процессов в атмосфере является терморегуляция. Необходимость контролировать температуру возникает из-за интенсивного поступления солнечного тепла на планету. Это стало возможным благодаря парниковым газам, которые также контролируют другие атмосферные процессы, такие как круговорот воды и атмосферная циркуляция. Вода испаряется при нагревании земной поверхности; полученный пар затем поднимается в атмосферу, охлаждаясь и взаимодействуя с близлежащей пылью и грязью, образуя кристаллы; эти кристаллы затем объединяются, образуя облака, которые обладают способностью отражать солнечный свет из космоса, поглощать тепло и излучать его.

1.3. Химические процессы

Ультрафиолетовое излучение воздействует на человека, но также взаимодействует с кислородом, в результате этой химической реакции образуется вещество озон (O_3). Атмосферный кислород способен поглощать это излучение с длиной волны менее 240 нанометров, которое является наиболее опасным для живых организмов. В результате взаимодействия кислород разделяется на отдельные молекулы (O), которые присоединяются к молекулам кислорода (O_2), в результате чего образуется озон (O_3). Озоновый слой - это часть атмосферы, которая действует как барьер против ультрафиолетового излучения.

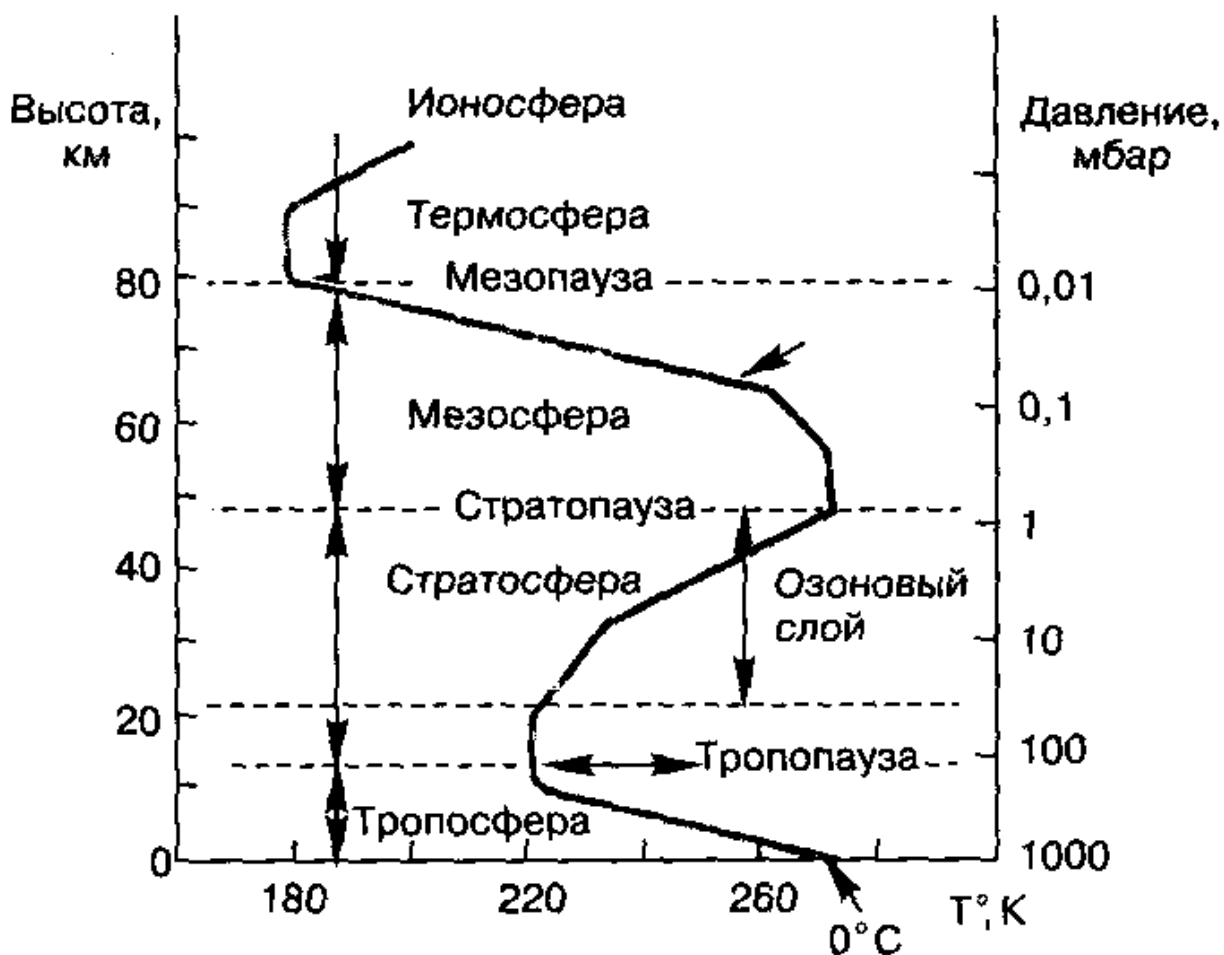


Рисунок 0 Расположение озонового слоя

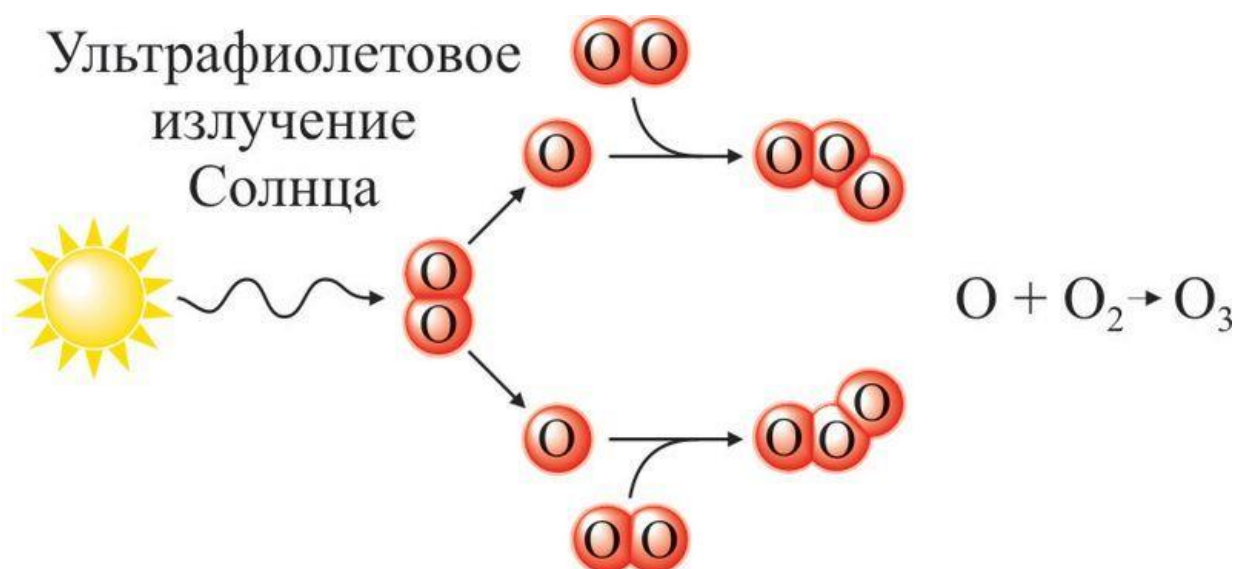


Рисунок 2 Процесс образования озона

В атмосферу попадает большое количество загрязняющих элементов, такие как отходы горения, выбросы промышленности и автомобилей, и другие. Они взаимодействуют с солнечным светом, в ходе большого количества химических реакций мы получаем ранее упомянутый озон, пероксиацетильный нитрат (PAN), альдегиды, кетоны и другие. Упомянутые вещества негативно воздействуют на живые организмы, попадая через органы дыхания, вызывая такие проблемы как астма. Само это явление называется фотохимический смог. Смог является туманом, но в его составе не капли воды, а загрязняющие атмосферу вещества. Наличие его так же ухудшает качество воздуха и приводит к образованию кислотных дождей.

Кислотный дождь – очень опасное явление атмосферы, которое способно уничтожать флору и фауну водных объектов, объектов суши, вызывать коррозию сооружений, а также негативно воздействуют на человека. Визуальные отличия с метеорологическими осадками (к примеру дождь и снег) полностью отсутствуют, так как основные отличия между ними заключаются в разном водородном показателе (pH). В идеальном состоянии показатель pH равняется 5.5, но в кислотном дожде равняется 4-4.5. Причина этому загрязняющие атмосферу вещества, в основном выделяются оксиды азота и оксиды серы,

которые осаждаются на облаках, в процессе образуются серная и азотная кислоты, повышая кислотность осадков.

Азот является самым распространенным газом в атмосфере, следовательно так же имеет огромное влияние не только на атмосферу, но и на поверхность земли. Он принимает большое количество химических форм при передвижении в различных экосистемах (атмосферная, наземная, морская), это является азотным циклом, который является важнейшим для поддержания жизни, но так же может приводить к гибели живые организмы через загрязнение воздуха двуокисью азота, концентрацию азота в воде, что приводит к уменьшению количества кислорода, и повышает уровень парниковых газов.

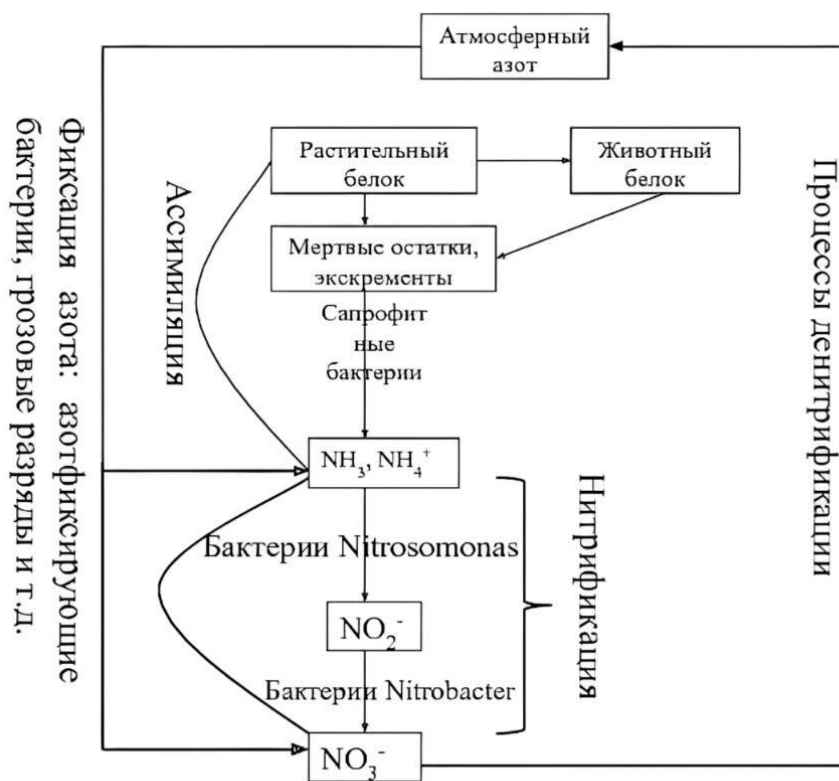


Рисунок 3 Цикл азота

1.4. Способы и методы обработки данных

Атмосфера – это среда, в которой протекает множество процессов, которые воздействуют на климат, окружающую среду и организмы. Для анализа, прогнозирования и оценки воздействия существует большое количество способов, методов и приборов.

Одним из методов является сбор проб атмосферных газов. Он осуществляется различными методами, включая непрерывный мониторинг, пассивный и активный отбор проб. При пассивном отборе проб используются диффузионные пробоотборники или трубки с сорбентом для сбора проходящих через них газа. При активном отборе используются насосы для проталкивания воздуха через фильтры и пробоотборники. Для измерения концентрации загрязнений при непрерывном мониторинге используется автоматизированное оборудование. При исследовании газа после отбора проб используются хроматография, масс-спектрометрия и высокоэффективная жидкостная хроматография. Эти процессы разделяют вещества на их составные части.

Метеорологические наблюдения - это процесс сбора информации о таких характеристиках погоды, как температура, давление, влажность и другие факторы в дополнение к загрязнению воздуха. При этом используется ряд приборов, включая термометр, барометр и другие. Значение таких данных заключается в получении информации для прогнозирования и мониторинга изменений погоды в течение длительного периода времени.

Компьютерное моделирование используется для воссоздания взаимодействий между атмосферой и другими сферами (сушей, океаном и биосферой) с целью прогнозирования поведения атмосферы. Кроме того, оно используется для обнаружения загрязняющих веществ, прогнозирования погоды и исследования долгосрочных последствий изменения климата. Для построения модели используются дифференциальные уравнения, описывающие изменения в метеорологических данных. Начальное состояние метеорологических данных, которое является текущим, служит основой для модели. Затем с помощью

сложных алгоритмов прогнозируются изменения, вызванные осадками, турбулентностью, солнечным излучением и другими факторами. Природные катастрофы (такие как ураганы и тайфуны) и их последствия можно предвидеть с помощью моделей.

Дистанционное зондирование - один из наиболее используемых методов изучения атмосферы. Для сбора данных об окружающей среде на больших расстояниях используют специальные инструменты, такие как зонды, спутники или самолеты. С помощью этой технологии собираются данные по целому ряду экологических аспектов, таких как температура, осадки, растительный покров, океанические течения и землепользование. Многочисленные области применения собранных данных включают прогнозирование погоды, картографирование, мониторинг окружающей среды и управление ресурсами. В управлении природными ресурсами дистанционное зондирование очень полезно, особенно в тех местах, где прямое наблюдение небезопасно или затруднено. Ниже перечислены некоторые методы дистанционного зондирования атмосферы:

- 1) Оптические методы, которые зависят от того, как свет взаимодействует с атмосферой. Можно измерить концентрацию газов, температуру и влажность воздуха, наличие частиц и облаков, используя видимый и инфракрасный свет в спектральном диапазоне. Например, спутниковые системы Meteor и Himawari используют эту технику.
- 2) Дистанционного зондирования с использованием радиометрии. Для измерения электромагнитных волн, движущихся через атмосферу, используют радиоволны. Для измерения скорости ветра и расчета влажности воздуха с помощью этой техники используются доплеровские волны.

- 3) Лидарные методы, которые измеряют свойства атмосферы, такие как высота облаков, температура и аэрозольные качества, используя излучение и рассеяние света.
- 4) Измерения эмиссии инфракрасного излучения от земли и атмосферы с помощью тепловых методов. Они используются для измерения плотности воздуха, содержания влаги, температуры поверхности и атмосферы.

Данные этих технологий могут быть использованы для построения атмосферных моделей и симуляций, которые помогают ученым понять работу климатических и погодных систем. На основе этих знаний можно принимать решения по вопросам изменения климата и качества воздуха.

Обнаружение света и определение расстояния, часто известное как атмосферный лидар, - это метод дистанционного зондирования, который используется для исследования атмосферы. Измеряется время, которое требуется импульсу света - обычно лазерного - испускаемого прибором лидара, чтобы отразиться от датчика. На основе этих данных определяются характеристики атмосферы, включая температуру, влажность, концентрацию аэрозолей и форму облаков. В отличие от радара, который использует радиосигналы, лидар использует световые волны.

Являясь очень точным источником информации о характеристиках атмосферы, которые трудно оценить с помощью других методов, лидар стал важнейшим инструментом для исследования атмосферы и прогнозирования погоды. В таких областях, как климатология, мониторинг окружающей среды и авиационная безопасность, этот прибор часто используется.

Изучение вертикальной структуры атмосферы, включая облака и аэрозоли, является одним из основных направлений использования лидара. На энергетический баланс Земли значительное влияние оказывают облака, которые влияют как на входящее солнечное излучение, так и на исходящее инфракрасное

излучение. Лидар может помочь в понимании того, как облака развиваются, взаимодействуют с атмосферой и формируются. Эти данные крайне важны для улучшения прогнозов погоды, климатических моделей и прогнозов качества воздуха.

Кроме того, с помощью лидара измеряются концентрация и характеристики аэрозолей, включая пыль, дым и загрязнения. Рассеивая и поглощая солнечный свет, а также влияя на формирование облаков и выпадение осадков, эти частицы могут оказывать влияние на климат. Ученые могут узнать больше о функции аэрозолей в атмосфере и о том, как они влияют на здоровье человека и окружающую среду, исследуя их с помощью лидара.

Изучение атмосферных явлений, включая турбулентность, ветры и гравитационные волны, является еще одним применением лидара. Участвуя во многих метеорологических и климатических событиях, турбулентность является одним из основных атмосферных явлений. Лидар позволяет исследователям глубже изучить турбулентность, понять ее источники и последствия. Кроме того, данные о ветре имеют решающее значение для климатологических исследований, прогнозирования погоды и авиационной безопасности. Лидарные устройства являются полезными инструментами для решения этих задач, поскольку они могут точно оценить скорость и направление ветра.

Кроме того, лидар используется для отслеживания качества воздуха, в частности, для оценки таких загрязняющих веществ, как озон и оксиды азота. Поскольку эти загрязняющие вещества могут быть опасны для здоровья человека, мониторинг их уровня имеет важное значение для экологии и здоровья населения. Атмосферный лидар - полезный инструмент для исследования окружающей среды - предоставляет невероятно точные и глубокие данные о структуре и составе атмосферы. Лидар превратился в важнейший инструмент для понимания и контроля сложных процессов, происходящих в атмосфере нашей планеты, и используется во всех областях - от прогнозирования погоды до исследования климата и мониторинга загрязнения.

Наука и изучение измерения электромагнитного излучения, такого как видимый свет, ультрафиолетовое, инфракрасное, рентгеновское излучение, радиоволны и другие виды лучистой энергии, известна как радиометрия. Для измерения и изучения характеристик электромагнитного излучения радиометрия использует идеи из физики, математики, инженерии и оптики. В радиометрии используются многочисленные приборы, в том числе спектрометры, фотометры, радиометры и другое специализированное оборудование.

Многочисленные реальные применения радиометрии можно найти во многих дисциплинах, включая астрономию, атмосферные исследования, дистанционное зондирование. Температура, интенсивность, поток и другие свойства электромагнитного излучения, испускаемого небесными телами, молекулами в атмосфере и другими источниками, определяются с помощью радиометрических измерений.

Характеристики материалов и поверхностей также исследуются с помощью радиометрических измерений. В таких дисциплинах, как дистанционное зондирование, фотометрия и формирование изображений, эти измерения имеют решающее значение. Они включают в себя измерения отражения, пропускания и поглощения.

Создание технологий и аппаратов, основанных на манипулировании электромагнитным излучением, является важным применением радиометрии. Сюда входит создание лазеров, испускающих мощные пучки высококонцентрированного излучения, и солнечных батарей, преобразующих световую энергию в электрическую.

Радиометрия является неотъемлемой частью многих современных технологий и имеет ряд важных применений в различных отраслях промышленности. Изучение характеристик электромагнитного излучения развивалось в результате совершенствования инструментов и методов

радиометрии, которые также создали новые пути для исследований и открытий в различных дисциплинах, от астрономии до экологии и медицины.

Во многих областях науки, включая химию, физику, биологию, спектроскопия является мощным аналитическим инструментом, используемым как в фундаментальных, так и в прикладных исследованиях. Она включает в себя изучение взаимодействия света с веществом, что позволяет ученым определять и оценивать химический состав, структуру и физические характеристики различных материалов. В таких дисциплинах, как материаловедение, экология, спектроскопия очень важна, поскольку она предлагает неразрушающий способ исследования, помогающий понять принципы работы Вселенной.

Спектроскопия - это измерение и анализ света при его взаимодействии с конкретным образцом с помощью очень точного оборудования. Инструменты, используемые для спектроскопии, называемые спектрометрами, обычно разделяют свет на составляющие его длины волн для получения спектра. Идентичность, концентрация и другие характеристики исследуемого вещества определяются путем анализа этого спектра.

В спектроскопии используются различные процедуры и методы, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Однако в целом их можно разделить на четыре группы: абсорбционная, эмиссионная, флуоресцентная и рассеивающая спектроскопия.

Наблюдая за тем, как материал поглощает определенные длины световых волн, абсорбционная спектроскопия используется для определения состава и концентрации вещества. Из-за склонности растворителей быть прозрачными для определенных длин волн, этот метод часто используется для исследования газов и жидкостей на месте. UV/Vis (ультрафиолетовая и видимая) спектрометрия и IR (инфракрасная) спектрометрия - две частые формы абсорбционной спектроскопии.

С другой стороны, эмиссионная спектроскопия регистрирует свет, испускаемый образцом после приложения внешней энергии. С помощью этого метода часто изучают электрическую структуру и возбужденные состояния атомов и молекул. Атомная эмиссионная спектроскопия, рентгеновская спектроскопия и лазерная спектроскопия - это несколько типов эмиссионной спектроскопии.

Подобно эмиссионной спектроскопии, флуоресцентная спектроскопия основана на том, что возбужденные атомы выделяют энергию в виде фотолуминесценции, которая представляет собой более целенаправленное взаимодействие между светом и веществом. Для определения и изучения точного присутствия химических веществ в биологических и экологических образцах часто используется флуоресцентная спектроскопия.

Анализ взаимодействий между светом и твердыми материалами проводится с помощью спектроскопии рассеяния. В исследованиях материалов этот метод часто применяется для определения концентрации наночастиц и макромолекул в растворах, а также для изучения кристаллических структур. Спектроскопия комбинационного рассеяния, рентгеновское рассеяние и рассеяние нейтронов - вот несколько примеров спектроскопии рассеяния.

Рамановская спектроскопия является наиболее широко используемым видом спектроскопии, несмотря на то, что каждая разновидность имеет свои определенные преимущества. Это наилучший метод для исследования различных материалов и химических составов, от простых белков и крошечных молекул до сложных макроскопических комплексов. Монохроматический свет от материала рассеивается, а результирующий свет, рассеянный от него, измеряется в спектроскопии Рамана.

Рамановская спектроскопия позволяет получить как химические, так и структурные данные об образце, что является одним из ее основных преимуществ. Рамановская спектроскопия позволяет идентифицировать

определенные химические соединения, поскольку вибрация различных атомов приводит к появлению пиков на определенных длинах волн. Кроме того, она показывает симметрию и структурную конфигурацию материала. В результате рамановская спектроскопия является очень эффективной методикой для неразрушающего исследования твердых тел, жидкостей и газов на месте.

Многочисленные преимущества спектроскопии можно найти в самых разных областях науки. Спектроскопия - это инструмент, который материаловеды используют для анализа материалов, из которых изготавливаются устройства. Каталитические способности материала или сложные химические процессы могут быть изучены и отслежены с помощью этого метода. Спектроскопия используется в экологических исследованиях для изучения и поиска загрязняющих веществ, атмосферных газов и парниковых газов. Исследователи могут найти источники загрязнения, идентифицируя отдельные вещества с помощью спектров испускания и поглощения.

Спектроскопия используется в фармакологии для анализа химического и физического состава лекарств, оценки их эффективности и выявления загрязняющих веществ. Например, инфракрасная спектроскопия часто используется в фармацевтической промышленности для определения протекания или отсутствия определенных химических реакций, а также для более точного измерения молекулярного веса и двухмерной и трехмерной архитектуры макромолекул.

Методы спектроскопии часто используются в криминалистике. Чтобы найти кровь, ученые используют эмиссионную спектроскопию, включая ультрафиолетовую спектрометрию. Рамановская спектроскопия также может точно определить остатки наркотиков, таких как кокаин и героин, и найти отпечатки пальцев наркоторговцев.

В заключение следует отметить, что спектроскопия является ключевой дисциплиной во всех аспектах научных исследований. Предлагая очень точные

и прецизионные методы обнаружения и изучения основных частиц, из которых состоит вся материя, она значительно расширила наше понимание фундаментальной и прикладной природы космоса. Он произвел революцию в разработке лекарств, анализе судебных доказательств, управлении загрязнением окружающей среды и производстве материалов в практическом применении, что делает его важнейшим инструментом научного исследования в современном мире.

Температура предмета или материала может быть обнаружена и измерена с помощью микроволновой радиометрии - неинвазивной технологии визуализации. Это одна из форм технологии дистанционного зондирования, которая может применяться во всех областях - от промышленного мониторинга до медицинской диагностики.

Все предметы с температурой выше абсолютного нуля выделяют тепловую энергию в виде электромагнитных волн, согласно фундаментальному принципу микроволновой радиометрии. Радиометр, определяющий силу излучения, испускаемого предметом в определенном диапазоне частот, может измерять эти волны. Радиометр способен определить температуру контролируемого предмета или вещества, изучая частоту и интенсивность излучения.

По сравнению с другими методами определения температуры, микроволновая радиометрия обеспечивает ряд преимуществ. Первое из них - измерение температуры без непосредственного контакта с контролируемым предметом или веществом. Поскольку этот метод может использоваться для измерения изменений температуры внутри органов или тканей, он очень полезен в медицине. Кроме того, микроволновое излучение может быть использовано для исследования структур, находящихся глубоко внутри тела, поскольку оно проникает в ткани более глубоко, чем другие виды излучения.

Микроволновая радиометрия также очень чувствительна и точна в обнаружении незначительных изменений температуры. Способность

обнаруживать температурные изменения в материалах или процессах, которые могут быть признаком проблемы или неисправности, делает ее ценной в таких областях, как промышленный мониторинг.

Микроволновая радиометрия применяется в различных промышленных и военных областях. Например, она может использоваться для выявления возможных дефектов или проблем с контролем качества путем мониторинга температурных колебаний материалов в ходе производственных операций. Поскольку тепловые сигналы этих материалов можно заметить даже на расстоянии, микроволновая радиометрия может использоваться в военном деле для поиска скрытых бомб или других опасностей.

В целом, микроволновая радиометрия - это сильная и адаптируемая технология, имеющая множество различных применений в самых разных отраслях. Способность получать изображение структур глубоко внутри тела и обнаруживать мельчайшие изменения температуры делает ее бесценным диагностическим инструментом, а чувствительность и отсутствие вмешательства делают ее превосходной для промышленного и военного применения. В ближайшие годы эта технология, вероятно, станет гораздо более значимой и популярной, поскольку ученые продолжают развивать и совершенствовать ее.

1.5. Эхо-сигнал

Эхо световых волн обычно возникает при прохождении света через различные среды с разной плотностью. Его используют оптика, геология, биология и многие другие области науки и техники.

Чтобы понять, как работает световое эхо, важно знать некоторые свойства, управляющие распространением света. Это, прежде всего, характеристики волновой теории и квантовой теории, двух классических теорий.

Волновая гипотеза описывает свет как электромагнитную волну, проходящую через среду. Эта волна имеет определенную частоту и длину волны, а показатель преломления среды, через которую она проходит, определяет скорость ее распространения. Границы раздела сред с различной плотностью могут отражать сигналы световых волн. Термин «волны отражения» используется для обозначения таких отраженных сигналов.

Движение частиц, известных как фотоны, — это то, как квантовая теория описывает свет. Эти частицы движутся согласно волновой функции и обладают определенной энергией и импульсом. Фотоны могут рассеиваться или отражаться при контакте с материалом. Отраженные фотоны ударяются о поверхность при падении и создают эхо.

В материаловедении эхо-сигнал используется для изучения структуры материалов и определения их свойств. Эхо-сигнал можно использовать, например, для измерения толщины покрытий на металлах. При этом свет ультрафиолетовой области спектра отражается от границы между покрытием и материалом, а затем возвращается в виде эхо-сигнала. Время, которое требуется свету для прохождения от источника до обратного отражения источника, используется для определения толщины покрытия.

В целом существует множество применений световых эхо-сигналов, и в будущем они будут иметь решающее значение для ряда научных и технических дисциплин.

2.1 Лидар

Фотодатчик APD и фильтр Барра — это функции лидара, используемые для сбора данных для оценки.

APD (лавинный фотодиод) — это детектор, используемый в датчиках, которые обнаруживают отраженный лазерный луч с помощью лавинного эффекта. Детекторы APD часто используются в лидарах из-за их исключительной производительности, высокой чувствительности и высокого разрешения в сочетании с разумной ценой.

Лидары, оснащенные детекторами APD, обеспечивают точные измерения размера, формы, расстояния до объекта и его скорости. Благодаря увеличенному коэффициенту усиления детекторы APD способны обнаруживать отраженные лазерные фотоны лучше, чем простые фотодиоды.

Высокое разрешение по высоте, скорости и расстоянию является характеристикой лидаров, использующих детекторы apd, которые предоставляют точную информацию для отображения моделей высоты и глубины. Эти лидары могут использоваться в различных инженерных приложениях, а также в геодезии, мониторинге изменений земной поверхности, оценке толщины льда в Арктике и Антарктике, промышленной дефектоскопии и других областях.

Процесс, посредством которого высокоэнергетические электроны в полупроводниковых устройствах получают дополнительную энергию и производят новые электроны, которые затем усиливаются, известен как лавинный эффект. Это приводит к каскадному процессу создания электронно-дырочных пар и увеличению тока за счет взаимодействия возбужденных электронов с кристаллической решеткой полупроводника.

Лавинный эффект используется в транзисторах, датчиках света, фотодетекторах и других полупроводниковых устройствах. В лидарах детекторы лавинного эффекта (APD) используются для усиления слабوتочного лазерного

светового сигнала. Для операций высокоточного измерения расстояния детекторы ЛФД в таких устройствах обеспечивают более точный и чувствительный сигнал.

Газоразрядные лампы и другие устройства, основанные на усилении электрического сигнала, также должны работать с лавинным эффектом. Однако у лавинного эффекта есть недостаток — он выделяет тепло, что может привести к перегреву устройства. Поэтому при применении этого эффекта в оборудовании крайне важно учитывать температурный баланс и обеспечивать достаточную вентиляцию.

В спектроскопии и фотометрии фильтр Барра используется для отделения узкой полосы длин волн от более широкой полосы электромагнитных волн. Он основан на технологии двойной интерференционной пластины, которая состоит из двух параллельных интерференционных пластин, часто изготовленных из кварца. На каждую пластину наносится диэлектрический слой, а затем два слоя сплавляются вместе. В зависимости от длины волны света, который нужно разделить, толщина диэлектрического слоя на каждой пластине различна.

Как в оптическом, так и в ультрафиолетовом спектре можно использовать фильтр Барра. Фильтр Барра с длиной волны 3 нм изолирует определенные длины волн света с расстоянием между ними 3 нм. Если требуется более точное разделение мелких участков светового спектра, обычно применяют фильтры Барра с более узкими полосами (1-2 нм). Одним из наиболее часто используемых типов FIR-фильтров является фильтр Барра. Цифровой фильтр под названием FIR (Finite Impulse Response) используется в электронике для обработки сигналов. Его название связано с тем, что импульсная характеристика имеет ограниченный набор значений.

По сравнению с другими типами цифровых фильтров, включая БИХ-фильтры, FIR-фильтры имеют ряд преимуществ. Они отличаются друг от друга тем, что выходной сигнал не зависит от предыдущих выходных значений и

зависит только от входного сигнала. Поэтому их легче проектировать и реализовывать. Кроме того, линейная фаза FIR-фильтров сохраняет контур выходного сигнала.

Для подавления шума, фильтрации верхних частот, анализа спектра сигнала и других задач обработки сигналов КИХ-фильтры часто используются в цифровой обработке сигналов. Их можно использовать в качестве компьютерного программного обеспечения, программируемых цифровых сигнальных процессоров (DSP) или аппаратных устройств.

В результате лидары с датчиками АПД и фильтрами Барра обеспечивают высочайший уровень чувствительности и точности измерений в неблагоприятных погодных условиях, а также в других сложных ситуациях, например, на промышленных объектах или в зонах со значительными электромагнитными помехами.

Некоторые лидары могут быть легко подключены к другим системам, таким как системы дорожного движения или безопасности, поскольку они оснащены датчиками APD и фильтрами Барра. В результате они просты в использовании и предлагают широкий спектр приложений.

Бортовой лидар, который используется для точного определения параметров атмосферы, является примером лидара, в котором используются датчики APD с фильтрами Барра. Эти лидары способны сканировать атмосферу на больших высотах и отслеживать различные атмосферные переменные, включая температуру, плотность, скорость ветра и другие.

Комбинация лидара с датчиками APD и фильтрами Барра позволяет отслеживать и обнаруживать объекты, не видимые на дисплеях лидаров, такие как дроны, самолеты и другие объекты. С помощью таких лидаров возможно как обнаружение, так и идентификация объектов в режиме реального времени. Промышленные применения лидаров с датчиками APD и фильтрами Барра

включают контроль качества технологических систем и материалов, обнаружение скрытых дефектов и мониторинг производственных процессов.

В целом лидары с фильтром Барра на основе APD представляют собой чрезвычайно продвинутый и эффективный инструмент для точного сбора данных и распознавания объектов в приложениях, варьирующихся от промышленного производства до аэрокосмической отрасли.

2.2 Принцип работы лидара

Работа атмосферного лидара основана на рассеянии лазерного излучения молекулами и атомами воздуха. Часть лазерного луча попадает в атмосферу, направленную вверх или под углом к горизонту, где он рассеивается на молекулах воздуха и аэрозолях, а оставшаяся часть остается в своем первоначальном направлении без изменений.

Для получения информации о характеристиках воздуха микроконтроллер анализирует восстановленные лазерные сигналы по рассеянному лазерному лучу. Атмосферные лидары, работающие на длине волны 1064 нм, часто используются для изучения атмосферных процессов на высотах от нескольких метров до нескольких километров.

Атмосферные лидары отслеживают изменения в атмосфере, обнаруживая колебания температуры и ветра, исследуя аэрозольные слои и предсказывая погоду.

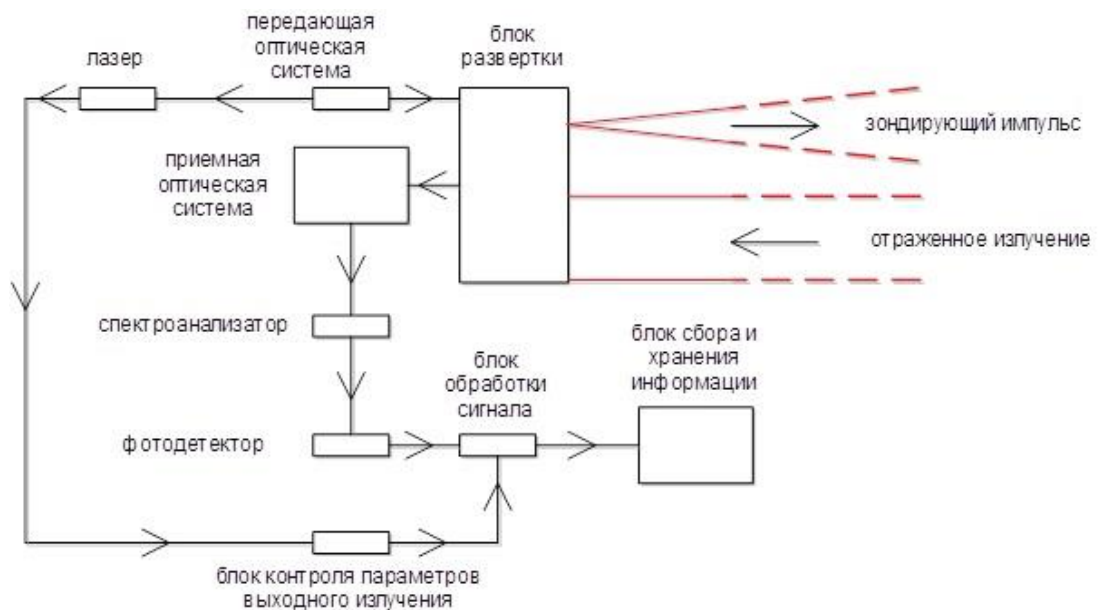


Рисунок 4: схема устройства лидара.

2.3. Обработка данных лидара

Для обработки лидарных данных необходимо использовать лидарное уравнение. Уравнение лидара описывает взаимодействие лазерного луча с поверхностью объекта и возвращение отраженного сигнала обратно в лидар.

где:

$P_r(R)$ – мгновенное значение принимаемой мощности в момент времени t ,

P_0 – посылаемая мощность в момент времени t_0 ,

C – скорость света, τ длительность импульса,

β – объемный коэффициент рассеяния,

R – расстояние до объекта,

A_r – эффективная площадь приемника,

α – объемный коэффициент ослабления.

Лазерное сканирование поверхности объекта создает облако точек, которое является типичным представлением лидарных данных. Чтобы узнать больше об объектах в области лидарного сканирования, эти данные впоследствии анализируются с использованием лидарного уравнения. Обработка лидарных данных с использованием уравнения представляет собой многоэтапную процедуру.

Расчет расстояния от лидара до объекта: расстояние от лидара до объекта рассчитывается на основе времени, которое требуется лазерному лучу, чтобы достичь объекта и вернуться к детектору. Эта информация используется для определения 3D-координат объекта.

1. Оцените отражательную способность поверхности объекта. Вы также можете оценить, насколько ярко лазерный луч отражается от поверхности объекта, используя измерения расстояния. Эта

информация может дать подсказки относительно вещества, из которого сделан артефакт.

2. Математическая обработка данных. Путем дальнейшей математической обработки данных, основанной на общем наборе сигналов, собранных во время сканирования, можно оценить размеры и форму объектов.
3. Создание 3D-моделей: Используя данные, полученные в результате лидарной обработки, можно создавать точные 3D-представления поверхности объектов и местности. Многочисленные приложения для этих 3D-моделей включают картирование, оценку земной поверхности и проектирование конструкций.

Обработка лидарных данных с помощью уравнения — сложная процедура, требующая большого количества расчетов и высокой квалификации персонала. Однако результаты такой обработки могут быть чрезвычайно полезны для различных приложений, таких как геодезия и землеустройство, машиностроение, архитектура и многие другие.

Процесс обработки лидарных данных включает следующие этапы:

1. Обработка необработанных данных: удаление шума, пробелов, неверных данных и т. д.
2. Установка точек в общую структуру: точки данных объединяются в общее облако данных.
3. Сопоставление точек с физической землей. Облака данных точек сопоставляются с опорными точками, такими как известные географические координаты.
4. Создание поверхности: на основе облаков данных создаются поверхности земной поверхности или других объектов.
5. Анализ данных: на основе обработанных данных проводится анализ и интерпретация для получения необходимой информации.

6. Визуализация: результаты обработки лидарных данных могут быть представлены в виде графических изображений или трехмерных моделей. Многочисленные проблемы, которые могут возникнуть при попытке решить лидарное уравнение, могут повлиять на точность и надежность данных, которые в конечном итоге будут собраны. Ниже перечислены некоторые из основных проблем, связанных с лидарным уравнением:

1. Множественное рассеяние: луч лидара может коснуться нескольких объектов на своем пути, что может привести к потере или повреждению данных.
2. Атмосферные воздействия: различные атмосферные условия, такие как мутность, дым или туман, могут изменить распространение лазерного излучения и сказаться на результатах.
3. Возможный объект: разные объекты на поверхности по-разному отражают лазерный луч, результаты могут быть неоднородными, а точность может быть снижена.
4. Шумы и помехи.
5. Инструменты для калибровки и точность. Решение уравнения лидара требует точной калибровки лидара и другого оборудования, что может повлиять на точность измерений.

Для снижения влияния этих проблем могут использоваться различные методы и подходы к обработке данных, в том числе фильтрация, компенсация многократного рассеяния, адаптивный метод невязки, атмосферная коррекция и другие. Выбранный подход будет зависеть от конкретного контекста и потребностей в собираемых данных. Наличие квалифицированных работников, которые могут эффективно использовать методы обработки данных и интерпретировать результаты лидарной обработки, также имеет решающее значение.

2.4. Фоновая засветка

Когда частицы воздуха, такие как дымка, облака или пыль, отражают сигнал лидара до того, как он достигнет приемника, называется фоновой засветкой.

В результате обработанные данные могут содержать ошибочные объекты, а наблюдаемая высота поверхности может измениться. Ложные отражения могут создаваться в сигнале, регистрируемом лидаром, поверхностью земли, объектами на ней и частицами воздуха.

Фоновая засветка может оказывать существенное влияние на точность и надежность измерений лидара, особенно когда излучение от этих сторонних источников сравнимо по силе с отраженным лазерным сигналом от исследуемого объекта.

Основные источники фоновой засветки в лидарных данных могут включать:

1. Солнечный свет: Солнечное излучение, особенно при работе лидарной системы на открытом воздухе в светлое время суток, может проникать в оптическую систему лидара и вызывать шум.
2. Искусственные источники света: Освещение от уличных фонарей, автомобильных фар, осветительных устройств в городских условиях могут вызвать помехи и повлиять на лидарные измерения.
3. Естественное рассеянное излучение: На спектр излучения лидара могут влиять различные атмосферные явления, такие как облака, туман или противотуманные фонари, рассеивающие свет в окружающей среде.
4. Шумы детекторов: Датчики лидара также могут вносить собственные шумы или фоновые сигналы, которые могут влиять на точность измерений.

2.5. Пайтон

Для обработки данных и расчетов были специально написаны программы на языке программирования Python.

Python — интерпретируемый язык программирования общего назначения, разработанный в 1991 году. Автором Python является Гвидо ван Россум, который создал язык в качестве хобби. С тех пор Python приобрел популярность как один из самых полезных языков программирования благодаря простоте использования, широкому выбору библиотек и простоте.

Основные преимущества Python:

1. Ясность и простота. Благодаря простоте настройки и прямому доступу к библиотекам Python является относительно простым и интуитивно понятным языком.

2. Создание нескольких приложений различных типов. Python предоставляет большие возможности для создания многочисленных приложений различных типов, таких как исследовательские программы, онлайн-приложения, графические пользовательские интерфейсы и т. д.

3. Большое количество библиотек — Python имеет значительное количество библиотек, которые помогают повысить производительность и предлагают решения ряда проблем.

4. Четкий код. Python имеет очень простую структуру кода и очень понятный код, что значительно улучшает командную работу.

Python предоставляет широкий спектр возможностей для создания программного обеспечения. К наиболее интересным особенностям относятся:

1. Использование библиотек и фреймворков. Python предлагает поддержку широкого спектра библиотек и фреймворков, которые помогают повысить производительность и настроить приложения.

2. Графические пользовательские интерфейсы. Python предоставляет широкий спектр инструментов и сред, позволяющих создавать удивительные и удобные пользовательские интерфейсы.

3. Машинное обучение. Многие платформы машинного обучения, такие как TensorFlow и PyTorch, теперь используют Python в качестве основного языка программирования.

4. Научные исследования. Благодаря совместимости с такими пакетами, как NumPy, SciPy и Pandas, Python является очень подходящим языком для научных исследований.

Python является одним из наиболее широко используемых языков программирования благодаря своей полезности, простоте и большому количеству библиотек. С помощью Python вы можете создавать самые разные приложения, от веб-приложений до машинного обучения и научных исследований.

2.6. Уравнения для работы

Мощность света, отражаемого от поверхности, пропорциональна отражательной способности поверхности, коэффициенту отражения, измеренному в долях. Таким образом, мощность света, отражающегося от поверхности, выражается следующим образом:

- мощность света, отражающегося от поверхности,
- мощность света, исходящего от лазера,
- коэффициент отражения.

Отношение отраженного света к изначальному свету можно выразить как отношение мощности отраженного света к мощности изначального света:

- отношение мощности отраженного света к мощности изначального света.

В лидарной технологии измерения высоты поверхности используется лазерный луч, а детектор измеряет время, за которое лазерный луч отражается от поверхности и возвращается к детектору. По времени пролета лазерного луча можно рассчитать расстояние, на котором находится отражающая поверхность.

Таким образом, в лидарном уравнении отношение мощности отраженного лазерного излучения к мощности исходного лазерного излучения можно преобразовать в отношение измеренного времени задержки лазерного луча перед его возвращением в детектор к времени задержки лазерного луча на пути к поверхности и обратно. Используя эту связь, можно записать лидарное уравнение в следующем виде:

где R - радиус кривизны поверхности в точке отражения лазерного луча,

- коэффициент затухания света на расстоянии R от источника,
- координаты точек, где происходит отражение света.

В лидарном уравнении, которое описывает отражение лазерного луча от поверхности, одной из переменных является отношение отраженного света к изначальному свету. Это отношение равно выражению

Выразим из этого уравнения значение :

Заменяем знак минус перед R на знак минус перед каждым из радиусов кривизны чтобы получить:

Чтобы упростить выражение, можно преобразовать его следующим образом:

1. Умножим на знаменатель дроби на .
2. Опустим знак деления.
3. Возведем обе части уравнения в степень

После этих преобразований получаем следующее уравнение:

Теперь возьмем натуральный логарифм от каждой части уравнения:

Теперь можно воспользоваться правилами логарифмирования:

Используем свойство логарифмов для деления: $\ln(ab) = \ln(a) + \ln(b)$:

Далее заметим, что , поэтому уравнение приобретает следующий вид:

Сигма складываются и вычитаются друг из друга, и их можно упростить:

Упрощаем дальше, используя свойство логарифмов для деления:

И снова применяем свойство и таким образом, уравнение сводится к следующему виду, где сигма (σ) больше не присутствует :

Данное лидарное уравнение не учитывает влияние атмосферы на эхо-сигнал, именно на нем основана программа.

2.7. Оценка влияния атмосферы на эхо-сигнал.

Для оценки влияния я используем уравнение, подставив в нее условные значения σ и получим график.

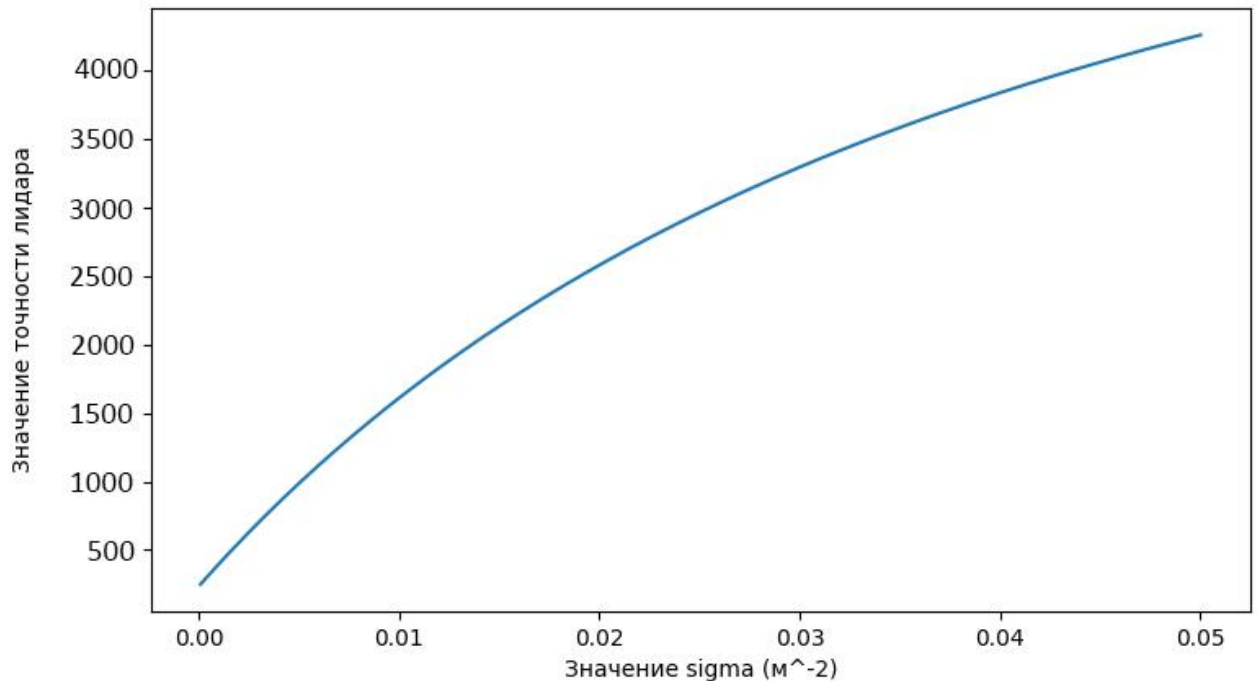


Рисунок 5: влияние атмосферы на точность значений.

Исходя из графика видно зависимость влияния атмосферы на точность сигнала. Так же для более точной оценки влияния.

Я взял 8 точек: $P_1 = 46.52$ Вт, $P_2 = 20.12$ Вт, $P_3 = 52.62$ Вт, $P_4 = 50.36$ Вт, $R_1 = 0.1771$ м, $R_2 = 7.6719$ м, $R_3 = 15.1667$ м, $R_4 = 22.6615$ м.

используя формулу:

Подставляя значения, получаем:

После упрощения получим:

Мы получаем коэффициент затухания равный 1.7196 на расстоянии 22.6 м.

$P1 = 46.52 \text{ Вт}$, $P2 = 20.12 \text{ Вт}$, $P3 = 67.84 \text{ Вт}$, $P4 = 67.66 \text{ Вт}$, $R1 = 0.1771 \text{ м}$,
 $R2 = 7.6719 \text{ м}$, $R3 = 1454.1706 \text{ м}$, $R4 = 1461.6654 \text{ м}$.

Мы получаем коэффициент затухания равный 2.3443 на расстоянии 1461.6654 м. Эти данные показывают, что при увеличении расстояния измерений, коэффициент затухания увеличивается.

2.8. Решение проблемы влияния атмосферы.

Имея список лидарных данных в файле `exel`, программа `FilterLidar` выбирает 8 точек: `R1`, `P1`, `R2`, `P2`, `R3`, `P3`, `R4`, `P4`. Баллы выбираются при следующих условиях:

1. Значение в столбце `P` в текущей строке (i) должно быть больше значения в следующей строке ($i+1$)
2. Значение в столбце `P` на следующей строке ($i+2$) должно быть больше, чем значение в строке после него ($i+3$)
3. Все значения `R` и `P` в четырех выбранных строках (i , $i+1$, $i+2$, $i+3$) должны быть неотрицательными.

На выходе получил файл `res.xlsx`, в котором набор точек для обработки. Используя программу `CleandataLidar`, который в своей основе имеет уравнение $()$ и так же учитывает фоновую засветку, получаю графики, на которых отображены изначальные и чистые данные:

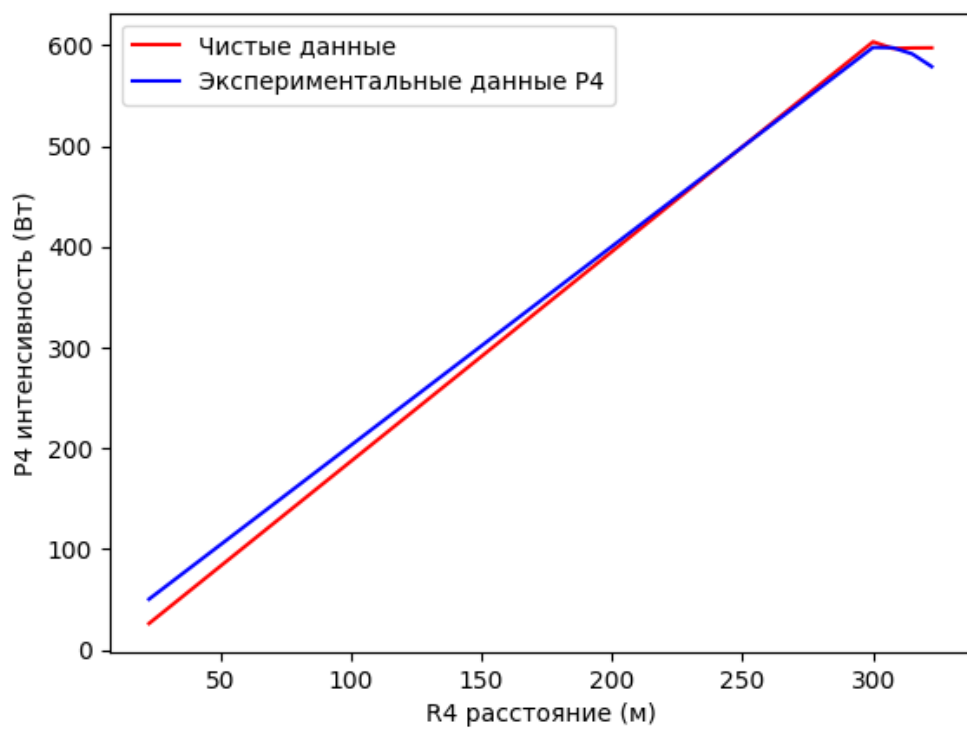


Рисунок 6: Сравнение полученных данных для 5 точек.

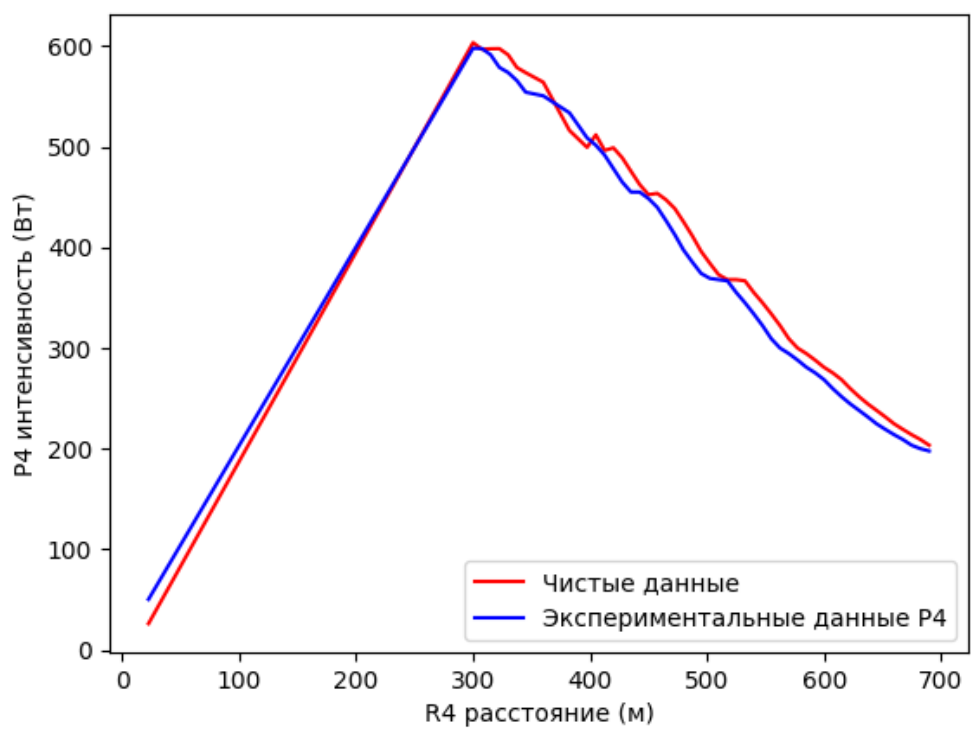


Рисунок 7: Сравнение полученных данных для 50 точек.

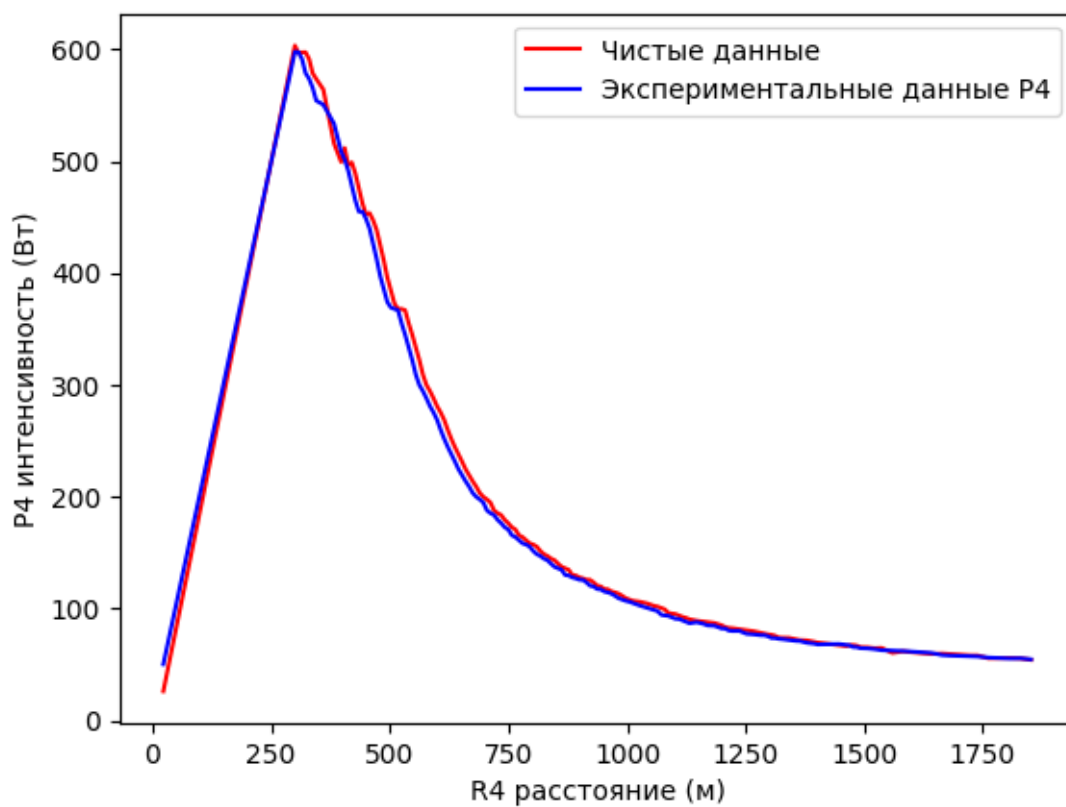


Рисунок 8: Сравнение полученных данных для 150 точек.

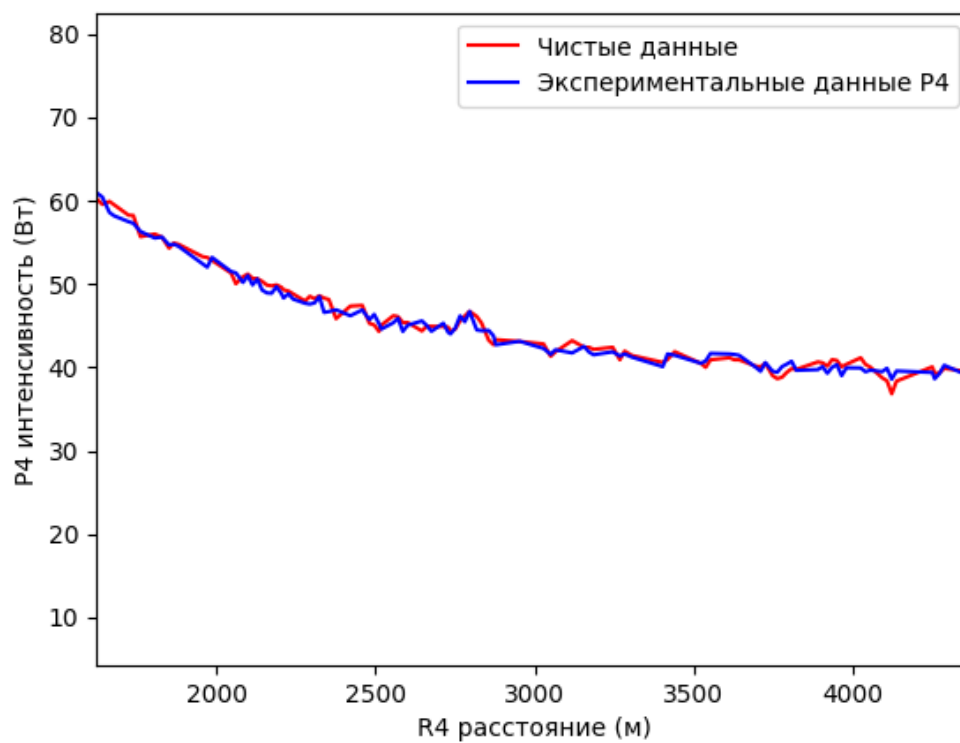


Рисунок 9: Сравнение полученных данных для 250 точек.

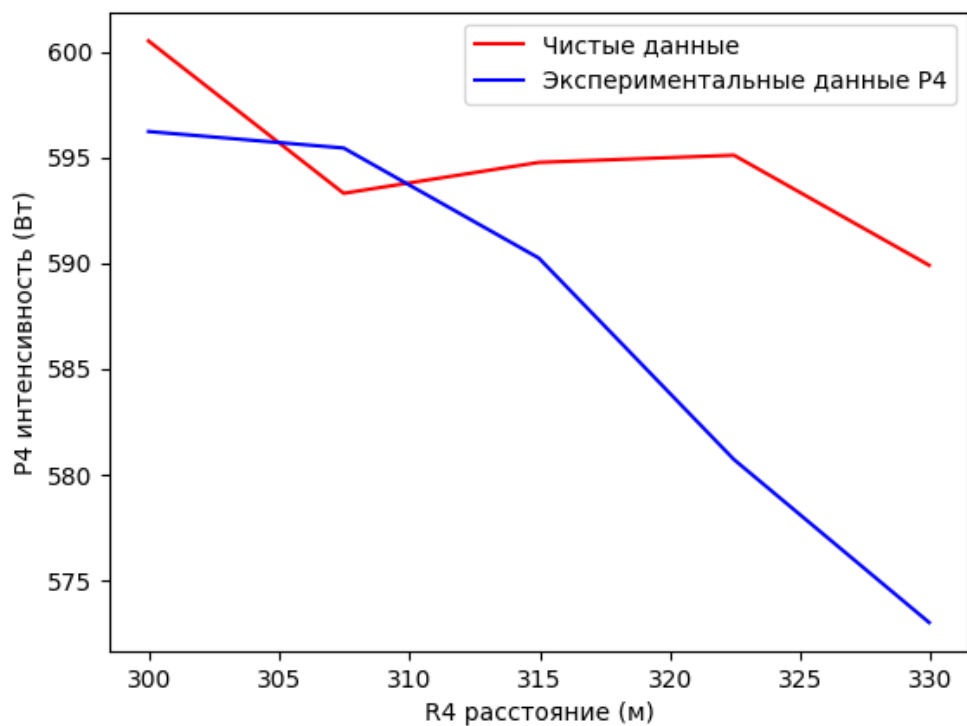


Рисунок 10: Сравнение полученных данных для 5 точек.

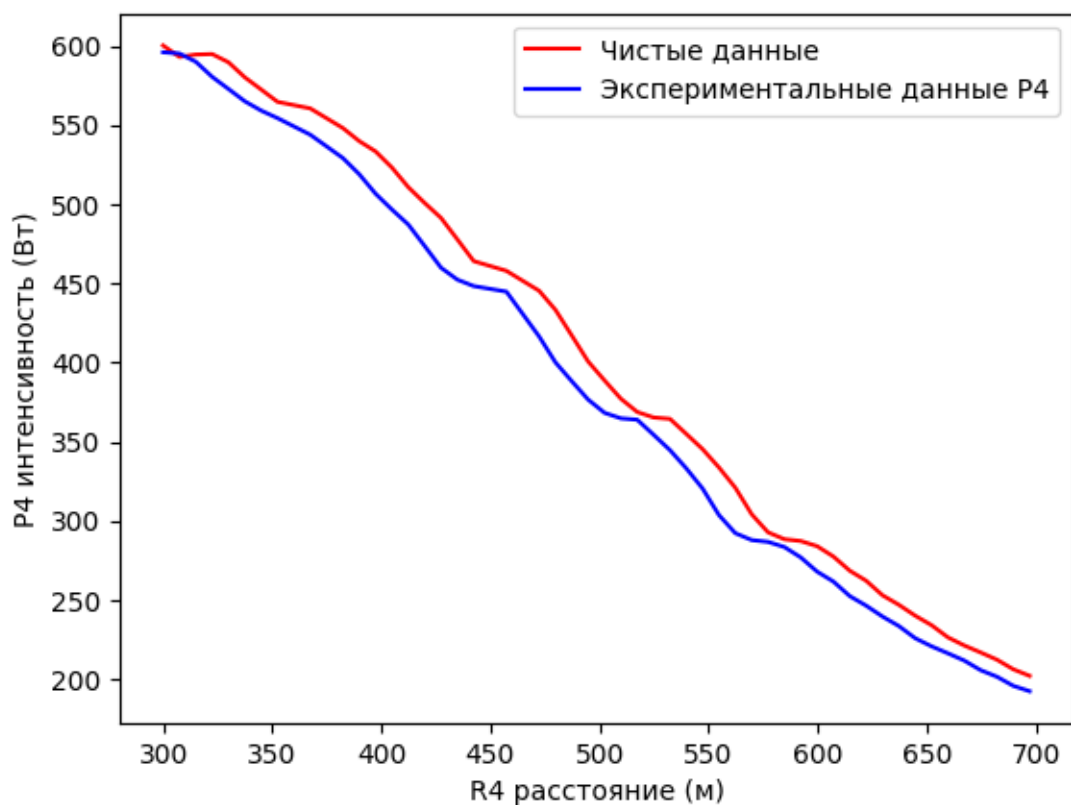


Рисунок 11: Сравнение полученных данных для 50 точек.

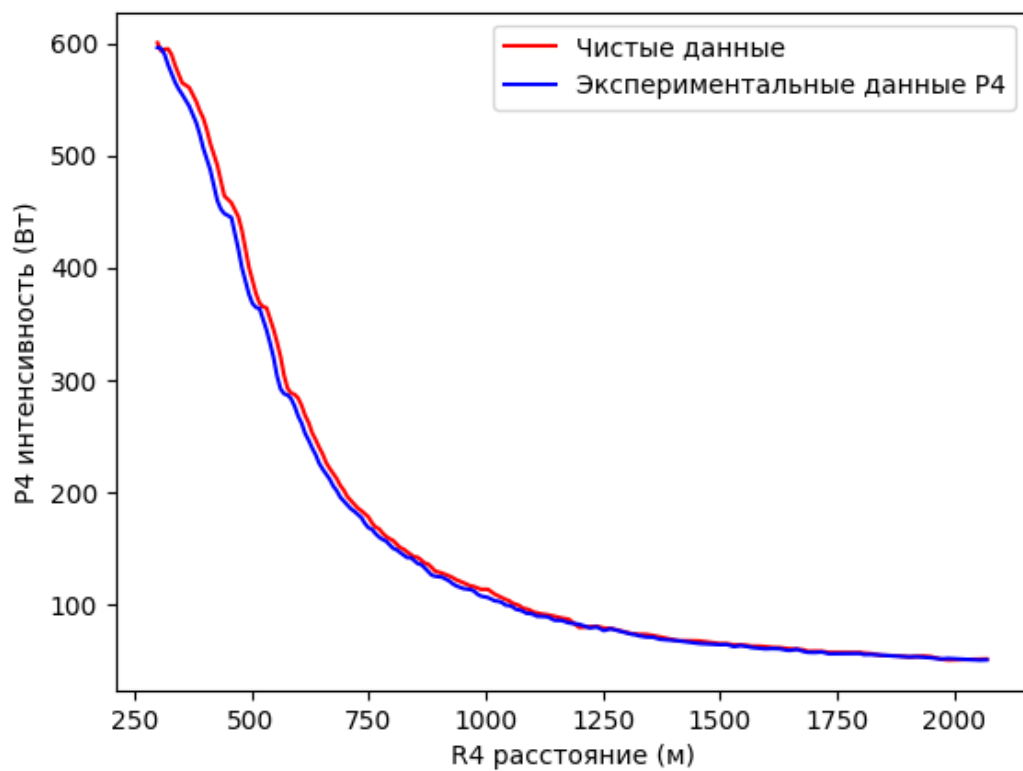


Рисунок 12: Сравнение полученных данных для 150 точек.

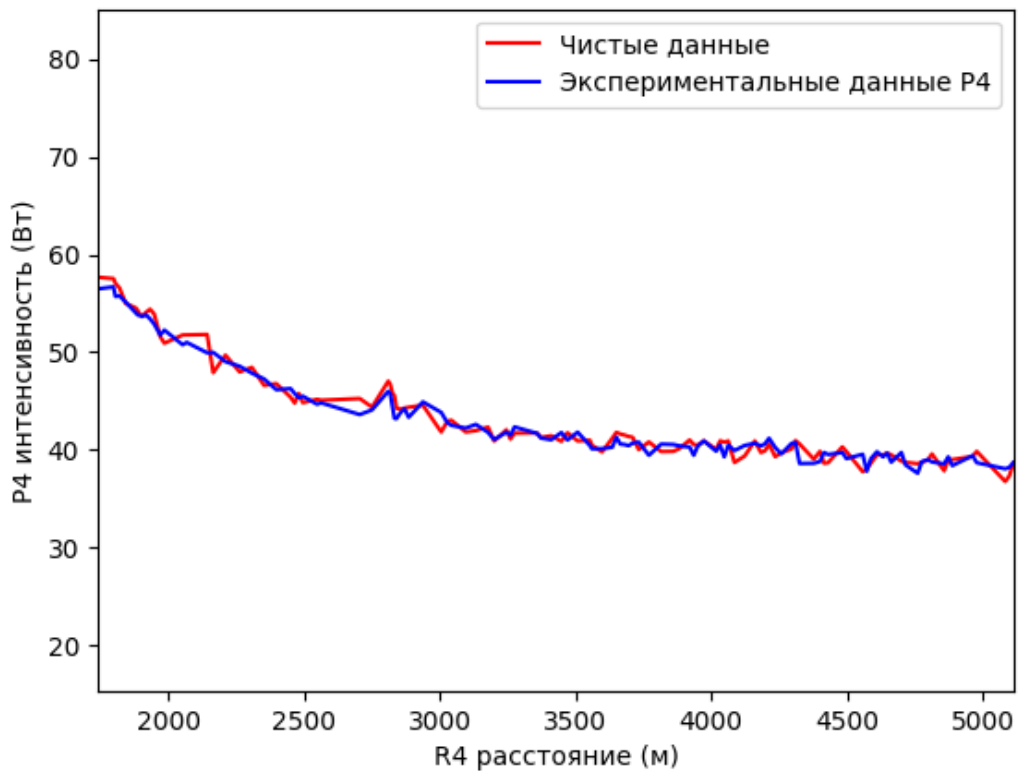


Рисунок 13: Сравнение полученных данных для 250 точек.

2.9. Обработка результатов

Взяты два набора точек, первый из экспериментальных, второй взят из отчищенных данных.

Экспериментальные данные:

$R_1=974.5026$ м, $P_1=111.6$ Вт, $R_2=981.9974$ м, $P_2=109.44$ Вт, $R_3=989.4922$ м, $P_3=108.26$ Вт, $R_4=996.9871$ м, $P_4=107.08$ Вт

Найдем значение σ (Коэффициент ослабления атмосферы)

Отчищенные данные: $R_1=974.50$ м, $P_1=119.75$ Вт; $R_2=981.9974$ м, $P_2=109.44$ Вт; $R_3=989.49$ м, $P_3=116.84$ Вт; $R_4=996.9871$ м, $P_4=116.28$ Вт.

Заключение

Результат данной работы заключается в изучении атмосфера и ее физических и химический свойств, в получении уравнения без влияния атмосферы, написание программы Filter для получения необходимых наборов данных, программы Cleandata для вычисления эхо-сигнала без потерь. Так же было продемонстрировано влияние атмосферы (σ). Были получены данные без учета влияния атмосферы.

Данные программы не решают полностью проблемы обработки лидарных данных, но могут быть использованы для дальнейших исследований в сфере зондирования. Так же данные программы быстро справляются с обработкой данных, что является важным результатом в данных исследованиях.

Список литературы

1. Петров А.В. Физика атмосферы – М.: Физматлит, 2011. – 320 с.
2. Нечаев С.И., Федотов А.И. Аэрозоли атмосферы Земли – М.: Наука, 1981. – 176 с.
3. Левин А.С. Химия атмосферы. Часть 1. Общая химия атмосферы – М.: МГУ, 2011. – 304 с.
4. Суслов Д.А. Атмосфера Земли: состав, свойства, процессы – М.: Физматлит, 2013. – 496 с.
5. Крюков В.С., Шапиро А.И. Химия атмосферы – М.: Наука, 2005. – 720 с.
6. Суслов Д.А. Анализ загрязнения атмосферы – СПб.: Химиздат, 2008. – 320 с.
7. Андреев А. В., Яшалова Н. Н., Слабкин И. В. Анализ загрязнения атмосферы и здоровье человека. - М.: Наука, 2017. - 312 с.
8. Андреев А. Б. и др. Измерение загрязнения воздуха на дистанционных системах в базовом уровне. - М.: Физматкнига, 2016. - 326 с.
9. Апполонов В.В., Лебедев А.А. Оптика и радиофизика. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. - 152 с.
10. Потрепало А.П. Лазерная техника оптического диагностирования. - М.: Бином, 2013. - 232 с.
11. Лутц Изучаем Python. Программирование игр, визуализация данных, веб-приложения. - Санкт-Петербург: Питер, 2020. - 1600 с.
12. С.В. Лебедев Программирование на Python 3. - Москва: Издательский дом "ДМК Пресс", 2017. - 416 с.
13. Д.Н. Смирнов Python для сложных задач. Наука о данных, анализ текстов, графы. - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2019. - 400 с.

Примечание

Код программы FilterLidar

```
import pandas as pd

from openpyxl import load_workbook


column_a = 1

column_b = 0


def process_excel(input_file, output_file): # (данные читаются из файла
Excel)

    wb = load_workbook(input_file)

    ws = wb.active


    first_row = [cell.value for cell in ws[1]]

    print(f"Header values: {first_row}")

    column_a_index = first_row.index(column_a)

    column_b_index = first_row.index(column_b)

    data_dict = {column_a: [], column_b: []}


    for row in ws.iter_rows(min_row=2, values_only=True):

        cell_a = row[column_a_index]

        cell_b = row[column_b_index]

        if isinstance(cell_a, str):
```

```

        cell_a = float(cell_a.replace(',', '.'))

    if isinstance(cell_b, str):

        cell_b = float(cell_b.replace(',', '.'))

    data_dict[column_a].append(cell_a)

    data_dict[column_b].append(cell_b)


data = pd.DataFrame(data_dict)

data_selected = []

selected_count = 0


for i in range(4, len(data) - 5):

    first = data.at[i, column_b]

    second = data.at[i + 1, column_b]

    third = data.at[i + 2, column_b]

    fourth = data.at[i + 3, column_b]


    if first > second and third > fourth:

        temp_set = [

            data.at[i, column_a], data.at[i, column_b],

            data.at[i + 1, column_a], data.at[i + 1, column_b],

            data.at[i + 2, column_a], data.at[i + 2, column_b],

            data.at[i + 3, column_a], data.at[i + 3, column_b],

```

```

    ]

    if all(value >= 0 for value in temp_set):

        data_selected.append(temp_set)

        selected_count += 1

        if selected_count >= 250:

            break

df_selected = pd.DataFrame(data_selected, columns=[

    'A1', 'B1',

    'A2', 'B2',

    'A3', 'B3',

    'A4', 'B4',

])

df_selected.to_excel(output_file, index=False)

input_file = 'data.xlsx'

output_file = 'res.xlsx'

process_excel(input_file, output_file)

```

Код программы Cleandata

```
import pandas as pd

from scipy.optimize import fsolve

from math import log

import matplotlib.pyplot as plt


def clean_lidar_data(equation, P3, P4_guess):

    def equation_wrapper(P4, *args):

        P3 = args[0]

        if (P3 - P4) <= 0 or (P1 - P2) <= 0:

            return float("inf")

        return equation - log((P3 - P4)/(P1 - P2)) - log((R1**2 / R2**2) / (R3**2 /

R4**2))

    P4_solution = fsolve(equation_wrapper, P4_guess, (P3,))

    return P4_solution[0]


file_name = "res.xlsx"

data = pd.read_excel(file_name, engine="openpyxl", header=None,
skiprows=1)

R4_values = []

P4_solutions = []
```

```
P4_originals = []
```

```
prev_P4_solution = None
```

```
background_light = 1000 # Значение фоновой засветки
```

```
for index, row in data.iterrows():
```

```
    if prev_P4_solution is not None:
```

```
        row = row.replace([prev_P4_solution], prev_P4_solution_found)
```

```
    R1, P1, R2, P2, R3, P3, R4, P4 = row.values
```

```
    R1_clean, P1_clean = R1 - background_light, P1 - background_light
```

```
    R2_clean, P2_clean = R2 - background_light, P2 - background_light
```

```
    R3_clean, P3_clean = R3 - background_light, P3 - background_light
```

```
    R4_clean, P4_clean = R4 - background_light, P4 - background_light
```

```
    R1, R2, R3, R4 = float(R1), float(R2), float(R3), float(R4)
```

```
    equation = log((R1**2 / R2**2) / (R3**2 / R4**2))
```

```
    P4_guess = (P3_clean + P2_clean) / 2
```

```
    prev_P4_solution_found = clean_lidar_data(equation, P3_clean, P4_guess)
```

```
    prev_P4_solution_found += background_light
```

```

prev_P4_solution = P4

R4_values.append(R4)

P4_solutions.append(prev_P4_solution_found)

P4_originals.append(P4)

print(f"Решение P4 для строки {index + 1}: {prev_P4_solution_found}")

output_data = pd.DataFrame({
    "R4": R4_values,
    "P4_original": P4_originals,
    "P4_cleaned": P4_solutions
})

output_file_name = "output.xlsx"

output_data.to_excel(output_file_name, index=False)

plt.plot(R4_values, P4_solutions, 'r-', label='Полученные данные')
plt.plot(R4_values, P4_originals, 'b-', label='Исходные данные P4')
plt.xlabel('R4')
plt.ylabel('P4')
plt.legend()
plt.title ('Сравнение полученных и исходных данных P4 для 250 точек')
plt.show()

```