**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**

**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»)**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Факультет |  |  |  |  |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Кафедра |  |  |  |  |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Дисциплина |  |  | | |

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

на тему

|  |
| --- |
|  |
|  |
|  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнил студент группы | | | |  | |  |
|  | | | | | | |
| Фамилия И.О. | | | | | | |
| **РУКОВОДИТЕЛЬ** | | | | | | |
|  | |  |  | | | |
| Фамилия И.О. Подпись | | | | | | |
| Оценка |  | | | |  | |
| «\_\_\_\_\_» |  | | | | 20\_\_\_\_ г. | |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

20\_\_\_\_г.

**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**

**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»)**

УТВЕРЖДАЮ:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Заведующий кафедрой | | |  |
|  |  |  | |
| подпись |  | Фамилия И.О. | |

З А Д А Н И Е

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| на курсовой проект по дисциплине | | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| выполняемый в | | | |  | семестре | | | 20\_\_\_\_ | | | - 20\_\_\_\_ | | | | уч. года | | |  | | |  | | |
| студенту | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| группы | |  | факультета | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Тема проекта | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Дата выдачи задания | | | | | | | | |  | | | |  | | | 20\_\_\_ г. | | |  | | |  | | |
| 3 | Сроки сдачи студентом оконченного проекта | | | | | | | | |  | | | |  | | | 20\_\_\_ г. | | |  | | |  | | |
| 4 | Техническое задание | | | | | | | | |  | | | |  | | | 20\_\_\_ г. | | |  | | |  | | |
|  | Исходная технико-экономическая информация к проекту | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Состав и объем проекта | | | | | | | |  | | | |  | | | |  | | |  | | |  | | |
|  | 5.1 | Чертежи, схемы, диаграммы: | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | 5.2 | Программа расчетов на ЭВМ | | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | 5.3 | Расчетно-пояснительная записка к проекту на | | | | | | | | | |  | | | | стр. | | |  | | |  | | |
| 6 | Календарный план выполнения курсового проекта | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Этап | Краткое содержание | Срок выполнения | |
| по плану | фактически |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 7 | Дополнительные указания по проектированию | | |  |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
| 8 | Отзыв руководителя |  | | |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
| 9 | Общая оценка о работе студента | |  | |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
|  |  | | | |

Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

подпись ФИО

дата

Руководитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

подпись ФИО

дата

СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 5](#_Toc474936706)

[1. ЛИДАР КАК СРЕДСТВО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНГО ВОЗДУХА 7](#_Toc474936707)

[1.1 Принцип действия 7](#_Toc474936708)

[1.2 Измерение параметров аэрозольных частиц в атмосфере 9](#_Toc474936709)

[1.3 Модель пассивного дистанционного ИК-зондирования 11](#_Toc474936710)

[1.4 Чувствительность и пределы обнаружения для пассивного дистанционного ИК-зондирования 13](#_Toc474936711)

[1.5 Спектрометры дистанционного анализа 15](#_Toc474936712)

[2. РАСЧЁТ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО УЗЛА 19](#_Toc474936713)

[2.1 Телескоп Мерсенна 19](#_Toc474936714)

[2.2 Расчётная часть 20](#_Toc474936715)

[ВЫВОДЫ 23](#_Toc474936716)

[БИБЛИОГРАФИЯ 24](#_Toc474936717)

[ПРИЛОЖЕНИЕ А. Конструкторская документация 26](#_Toc474936718)

# ВВЕДЕНИЕ

Проблема мониторинга состояния атмосферы с целью контроля химического состава аэрозолей и переменных газов и регистрации загрязнений окружающей среды экотоксикантами и биогенными частицами сильно обострилась в связи с усилением техногенной нагрузки на окружающую среду. Одним из перспективных направлений в области экологического мониторинга является применение многоспектрального лазерного комплекса, позволяющего в режиме реального времени регистрировать наличие в атмосфере малых концентраций загрязняющих газов и аэрозольных веществ.

На сегодняшний день лидарные системы позволяют проводить измерения и с поверхности Земли и с космического спутника. Первые публикации по зондированию SO2 и СО2 регистрацией сигналов комбинационного рассеяния (КР) света от дымовой трубы промышленного производства появились в 1970г. Малые сечения КР предопределили использование этого метода лазерного газоанализа лишь при высоких уровнях концентраций загрязняющих газов атмосферы, превышающих ПДК.

Для систематических измерений содержания вредных газовых примесей в малых концентрациях в атмосфере широко применяется метод дифференциального поглощения (ДОАС, DIAL). На основе ДОАС разработано много стационарных систем контроля концентрации озона в свободной тропосфере и стратосфере, мобильные лидары для комплексных измерений газов.

В последние десятилетия основной тенденцией является создание компактных и эффективных лидаров для зондирования в УФ области спектра, поскольку в УФ - диапазоне локализованы полосы электронного поглощения большинства примесей (NO2, NO, SO2, O3, толуол, бензол), в УФ области возможно проводить зондирование в любое время суток, поскольку засветка приёмной части лидара рассеянным в атмосфере излучением Солнца мала.

Для анализа и прогноза экологической ситуации в целом необходимо, чтобы все полученные данные были согласованы в пространстве как по зонам покрытия, так и по пространственному разрешению, синхронизированы во времени, имели единый формат и опирались на единую методическую базу. Современные программные и аппаратные средства компьютерного моделирования делают возможными обоснованные и детальные прогнозы экологической ситуации, адекватность которых определяется лишь тем, насколько полными и непротиворечивыми являются исходные данные. Задачу сбора таких данных решают мобильные и бортовые лидарные измерительные системы наземного, воздушного и космического зондирования.

# 1. ЛИДАР КАК СРЕДСТВО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНГО ВОЗДУХА

## 1.1 Принцип действия

Лазерная система дистанционного зондирования или лидар представляет собой бесконтактное средство измерения параметров удалённой мишени, в котором лазерное излучение направляется через атмосферу на мишень, а рассеянное мишенью излучение с этого расстояния собирается приёмным телескопом на фотоприёмник. Лидар состоит из передатчика – лазерного излучателя, приёмника – приёмного телескопа, спектроанализатора и фотоприёмного устройства. Для дистанционного зондирования представляют интерес лазеры, которые способны генерировать спектрально – ограниченные импульсы излучения наносекундной длительности высокой мощности и небольшой угловой расходимости. В тех случаях, когда сигнал является очень слабым, необходима также достаточно высокая частота повторения импульсов.

Блок схема стандартной лидарной системы представлена на рисунке 1.

Импульс 1, излучаемый лазером, направляется в исследуемую область пространства 6. Небольшая часть лазерного импульса отводится для контроля энергии лазерного излучения, а часть рассеянного в направлении 180о излучения зондируемой средой собирается приёмной оптикой – телескопом 2 – и далее направляется в спектроанализатор 3, который служит для выделения интервала длин волн, в котором проводятся измерения. Он же отсекает фоновое излучения на других длинах волн. Далее излучение в выделенном спектральном интервале поступает на фотоприёмное устройство 4, разновидность которого определяется спектральной областью наблюдений, которая, в свою очередь, зависит от конкретных приложений дистанционного зондирования и типа используемого лазерного излучателя [1].

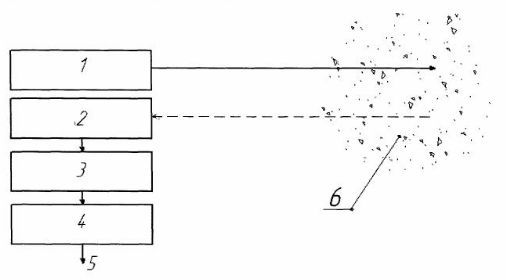


Рисунок 1 – Блок-схема лидара, где 1 – источник лазерного излучения, 2 – приёмный телескоп, 3 – анализатор спектра, 4 – фотоприёмное устройство, 5 – выходное напряжение с фотоприёмного устройства, 6 – исследуемая область пространства.

Основные методы дистанционных измерений базируются на следующих явлениях, происходящих в атмосфере при распределении в ней монохроматического оптического излучения:

1. упругое рассеяние на атомах и молекулах без изменения частоты излучения (рассеяние Рэлея);
2. упругое рассеяние на малых частицах без смещения частоты излучения (рассеяние Ми). Это явление лежит в основе лидаров, предназначенных для измерения параметров аэрозоля в атмосфере;
3. комбинационное рассеяние (КР) на молекулах со сдвигом частоты рассеянного излучения, определяемым параметрами частиц (рассеяние Рамана). Это используется при измерении профилей плотности температуры атмосферы на высотах до 100 км;
4. поглощение излучения частицами среды [4].

## 1.2 Измерение параметров аэрозольных частиц в атмосфере

Аэрозольный лидар – это прибор, действие которого основано на рассеянии излучения на молекулах и частицах. Лидар состоит из импульсного лазера и приёмного телескопа и предназначен для дистанционного обнаружения частиц в атмосфере и определения коэффициентов рассеяния. Теоретические и экспериментальные исследования последних лет показывают, что измеренные коэффициенты обратного рассеяния и экстинкции аэрозоля могут быть инвертированы в микрофизические параметры частиц путём решения обратной задачи зондирования. Наиболее удобными с практической точки зрения являются лидары на основе Nd:YAG-лазера с генератором третьей гармоники [2]. Такая система позволяет измерять три коэффициента обратного рассеяния (β) на длинах волн 355, 532, 1064 нм и два коэффициента экстинкции (α) на длинах волн 355, 532 нм. Вычисление коэффициентов экстинкции может быть проведено только с использованием рамановского рассеяния на молекулах азота или кислорода. В измерениях, как правило, используется рассеяние на азоте, и длины волн соответствующих рамановских компонент для второй и третьей гармоники Nd:YAG составляют 608 нм и 387 нм. Излучаемая длина волны оставляет 355 нм, в то время как после рассеяния длина волны составляет 387 нм, поэтому соответствующая экстинкция пересчитывается на 355 нм с использованием коэффициента Ангстрема. Соответствующая погрешность вычисления коэффициента экстинкции, связанная с неопределённостью выбора параметра Ангстрема, не велика и не превосходит 5% [3].

Сечение рамановского рассеяния почти на три порядка меньше сечения рэлеевского рассеяния, поэтому для надёжной регистрации рамановсого сигнала в нижней тропосфере необходимо использовать мощные лазерные источники излучения и приёмные телескопы значительной апертуры. Процесс детектирования рассеянного излучения описывается статистикой Пуассона, и погрешность измерения может быть оценена как где N – количество зарегистрированных фотонов[3].

При измерении лидарного сигнала системой эта ошибка должна составлять не более 0,5%. Таким образом, из одного высотного слоя система должна регистрировать не менее 4·104 фотонов. Количество детектируемых фотонов может быть оценено из лидарного уравнения:

где N – количество фотонов, принимаемых системой, NL – количество фотонов, излучаемых в атмосферу, S – площадь приёмного зеркала телескопа, z – дистанция зондирования, Т – коэффициент пропускания оптической системы, ƞ – квантовая эффективность фотоприёмника. Коэффициент обратного рассеяния молекул определяется как β=σ·nmol, где σ – дифференциальное сечение рассеяния, а nmol – концентрация молекул. Коэффициент молекулярной экстинкции α связан с коэффициентом обратного рассеяния как

Задача, описываемая уравнением (1), является неопределённой, поскольку это уравнение содержит произведение неизвестных а требуемое количество фотонов N может быть обеспечено как за счёт увеличения энергии лазера, так и за счёт увеличения апертуры телескопа, либо же за счёт увеличения толщины слоя ∆z.

## 1.3 Модель пассивного дистанционного ИК-зондирования

Пассивное дистанционное зондирование с помощью преобразования Фурье инфракрасного спектрометра позволяет детектировать и распознавать загрязнённые облака в атмосфере. В процессе работы измерительная техника и методика анализа таковы, что не требуют предварительных описаний измерений фонового спектра. Пассивная ИК-спектроскопия менее чувствительна, чем активная, так как чувствительность уменьшается с разницей температур между фоном и целевыми соединениями. В случае малого чувствительного контраста чувствительность обнаружения оставляет желать лучшего. Для эффективной разности температур в 1 К можно дать оценку, что чувствительность примерно в 1000 раз меньше по сравнению с чувствительностью активного. Но тем не менее, пассивное дистанционное зондирование является единственным методом обнаружения, который позволяет мобильно и быстро обнаружить опасные химические вещества [3].

Для того, чтобы понимать измеренные спектры используют модель. Атмосфера перед ИК-датчиком разделяется на несколько однородных слоёв. У каждого слоя температура и различное парциальное давление ИК-активных газов. В простейшей модели можно определить слой наблюдения и фон. Если не учитывать в первом приближении рассеяние света от аэрозолей и частиц, то наблюдаемая светимость L равна:

L = B0·(1-τ0) + BB·τ0, (2)

где В0 – излучение чёрного тела при данной температуре наблюдаемого слоя, ВВ – излучение фона, τ0 – коэффициент пропускания наблюдаемого слоя [3].

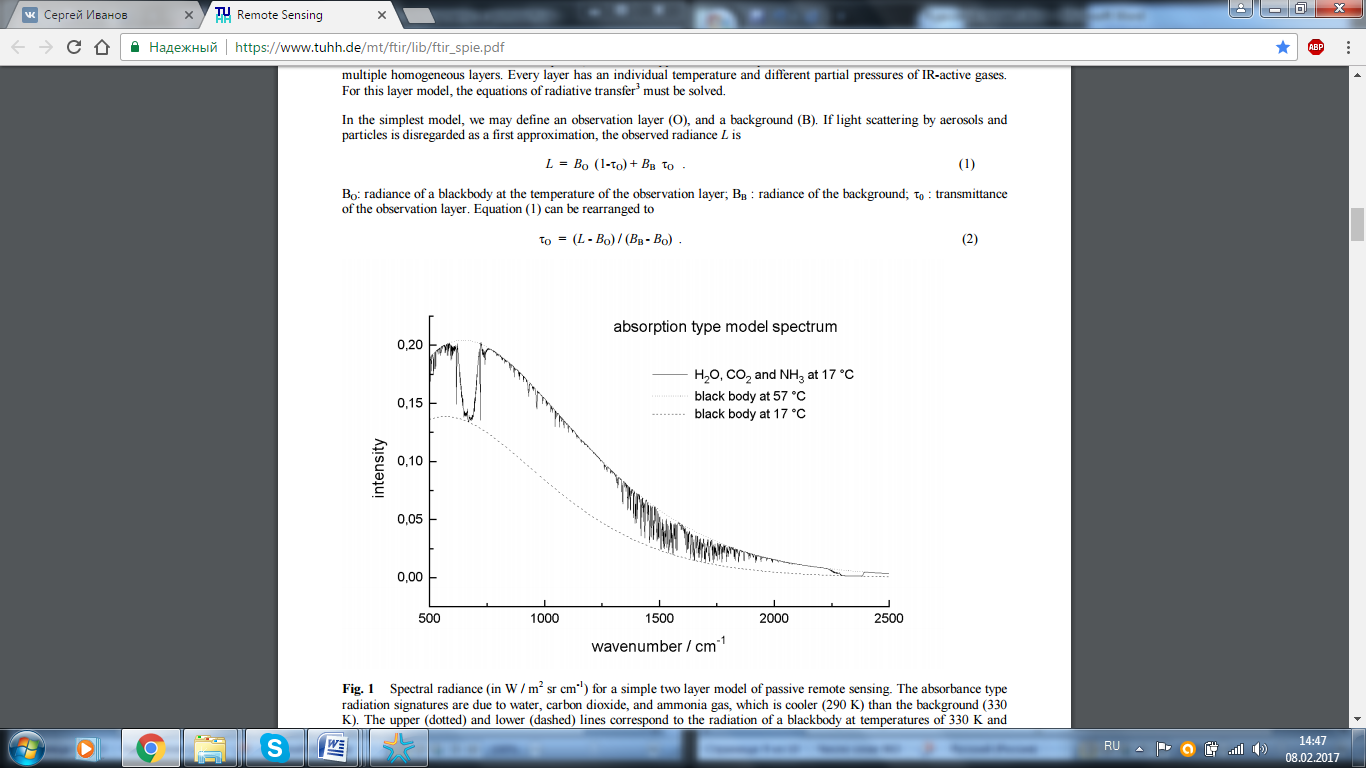


Рисунок 2 – Излучательный спектр для простой модели пассивного дистанционного зондирования двух слоёв.

Тип оптической плотности излучения со следами воды, углекислого газа и газообразного аммиака, который является охладителем относительного фона. Верхняя и нижняя пунктирные линии соответствуют излучению чёрного тела при температуре 330К и 290К. На рисунке 1 приведён типичный абсорбционный след, если облако имеет температуру 17оС и фон 57оС. Следы излучательных компонентов облаков не приводят к нулевому излучению. Те же аргументы применимы, если рассмотреть обратную ситуацию. Наблюдаемые следы выбросов никогда не будут подниматься над теоретической кривой излучения чёрного тела. Этот физический факт ограничивает динамический диапазон спектра целевого соединения. Если нет разницы температур между облаком и фоном, то никакой информации о составе облака не может быть получено. Это ограничение не преодолеть с помощью улучшений датчиков. Тем не менее, вероятность такой особой точки равенства температур является бесконечно низкой, однако может быть маленькая разница температур [4].

ИК-поглощение газовыми примесями в атмосфере (например, вода и углекислый газ) перекрывается отпечатками следов (излучение или поглощение) целевых соединений. В большинстве случаев это влияет на результат измерения и уменьшает диапазон частот, которые могут быть использованы для дистанционного зондирования. Взаимодействие обнаруженных химических агентов с водой и диоксидом углерода снижают избирательность и чувствительность. Из сказанного выше можно сделать вывод, что чтобы поглощение не перекрывалось, нужно работать в спектральных областях, где вода и СО2 слабо поглощают излучение [4].

## 1.4 Чувствительность и пределы обнаружения для пассивного дистанционного ИК-зондирования

Как видно из простой двухуровневой модели чувствительность пассивного ИК-детектирования не является постоянной величиной, но зависит от соотношения спектрального шума ∆L к динамическому диапазону |BB-BO|. Более высокие значения (ВВ-ВО)/ ∆L повышают чувствительность для обнаружения химического агента. Для оценки обнаружения можно использовать в хорошем приближении предел от коэффициента пропускания к закону Ламберта:

, (3)

где - коэффициент поглощения, с – концентрация, d – оптическая длина пути [5].

Для анализа спектров удобно преобразовывать спектры пассивного ИК в излучательные и вычислить соответствующие температуры излучения (яркостная температура) Т(ν) по закону Планка:

. (4)

Спектральный шум ∆Т (среднеквадратическое отклонение Т) является разностью температур, которая может быть решена с помощью спектрометра. Любой ИК-след от целевого соединения будет появляться в виде отклонения ∆2Т(ν) = Т(ν) - ТВ(ν) от температуры фона ТВ [6]. Идентификация возможна, если

∆2Т(ν) ≥NE∆Т. (5)

Для небольших NE∆Т выражение (2) можно переписать в величинах эквивалентных температур излучения следующим образом:

∆2Т ≈ ∆Т[1-exp(-εcd)], (6)

где - коэффициент поглощения, с – концентрация, d – оптическая длина пути, ∆Т – среднеквадратическое отклонение [7].

При малых значениях ×c×d<1 в хорошем приближении линейная зависимость будет выглядеть

∆2Т ≈ ∆Т εcd. (7)

Выражение (6) можно преобразовать в

∆2Т/ε ≈ ∆Т cd. (8)

Из Этого выражения можно вычислить предел обнаружения G, которое включает в себя влияние ∆Т при хорошем приближении:

Таким образом, значение G даёт соответствующий предел обнаружения при пассивном методе дистанционного зондирования, который может быть определён при помощи параметра ∆Т и коэффициента ослабления ε целевого соединения [7].

## 1.5 Спектрометры дистанционного анализа

В мире существует множество спектрометров дистанционного анализа, которые базируются на ИК-Фурье спектроскопии, один из них SIGIS 2. SIGIS 2 - сканирующая система инфракрасной визуализации газов, которая используется для  идентификации, визуализации и количественного анализа потенциально опасных газовых облаков с большого расстояния. Такой спектрометр совмещает в себе ИК-спектрометр и сканирующую систему [8].



Рисунок 3 – SIGIS 2

Видео- или ИК-камера показывает изображение местности. В основном режиме работы оператор выбирает область для исследования, выделяя ее рамкой. Местность сканируется зеркалом, и поступающее на него инфракрасное излучение немедленно анализируется. Результат анализа визуализируется и накладывается на изображение потенциально опасного газового облака.  Поскольку изображение поступает непосредственно с камеры, это упрощает оценку расположения и размера облака. Благодаря тому, что сканирующее зеркало расположено на вращающейся платформе, угол обзора составляет 360° [8].

Поле зрения такого спектрометра составляет 10 мрад, спектральный диапазон лежит в пределах 680-1500 см-1, спектральная скорость 16 спектров/с, среднеквадратичный коэффициент отклонения NE∆T равен 20 мК.

Также существует спектрометр OPS для системы мониторинга воздуха с открытым оптическим путём. Система базируется на методе инфракрасной Фурье-спектроскопии (FT-IR). Инфракрасное излучение, модулируемое интерферометром, при помощи телескопа направляется на ретрорефлектор, расположенный обычно в нескольких сотнях метров от прибора. Отраженное излучение собирается тем же телескопом и фокусируется на детектор. Большой спектральный диапазон позволяет идентифицировать и количественно определять широкий набор соединений. Важным применением системы является мониторинг воздуха в промышленных, строительных или муниципальных зонах. Спектральный диапазон в пределах 650-5000 см-1, спектральная скорость 4 спектров/с [8].



Рисунок 4 – OPS

Система мониторинга окружающей среды EM 27 является ИК-Фурье спектрометром с открытым оптическим путем, разработанным и оптимизированным для дистанционного обнаружения опасных веществ в атмосфере. Благодаря высокой чувствительности и скорости анализа, а также механической устойчивости, система используется для широкого круга задач, от мониторинга воздуха в промышленных зонах до научно-исследовательской работы. EM 27 легко может быть развернут в области для различных областей применения. Заражение воздуха, выбросы из дымовых труб, диффузные выбросы от размещения отходов или опасных выбросов в результате аварий на химических предприятиях может наблюдается с рабочим диапазоном до нескольких километров. Система позволила локальных сетей отображает результаты анализа в режиме реального времени [8].



Рисунок 5 – ЕМ 27

Поле зрения составляет 30 мрад, диафрагменное число 0.9, спектральное разрешение ∆σ = 1 см-1, скорость сканирования при ∆σ = 4 см-1 составляет 9 спектров/с, спектральный диапазон в пассивном режиме σ = 700 – 2000 см-1.

Из приведённого обзора следует, что все Фурье спектрометры, работающие в ИК-диапазоне компактны, мобильны, отличаются быстродействием и работают в спектральном диапазоне от 650 см-1 [8].

Ниже в таблице приведены значения обнаруженных некоторых отравляющих (ОВ) и сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ) методом ИК-Фурье спектроскопии (дистанция – 100 м, спектральное разрешение– 4 см-1, время накопления – 60 сек):

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Соединение | Молярная масса,  г/моль | Коэффициент экстинкции, м2/мг | Предельно обнаружимая  концентрация | |
| мг/м3 | рpd (млрд-1) |
| Табун | 162 | 0,0006 | 0,1 | 15 |
| Зарин | 140 | 0,0012 | 0,05 | 8 |
| Зоман | 182 | 0,0008 | 0,8 | 10 |
| Люизит | 207 | 0,0003 | 0,21 | 25 |
| Синильная  кислота | 27 | 0,0018 | 0,03 | 30 |
| Фосген | 99 | 0,0014 | 0,04 | 11 |

Таблица 1. Предельно обнаружимые концентрации некоторых ОВ и СДЯВ методом ИК-Фурье спектроскопии

# 2. РАСЧЁТ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО УЗЛА

## 2.1 Телескоп Мерсенна

В спектрометрах для дистанционного зондирования чаще всего имеются зеркальные афокальные телескопы для того, чтобы собирать световые пучки. Афокальная оптическая система – оптическая система, преобразующая параллельный световой пучок в параллельный, но с другим углом наклона оптической оси. Телескоп в спектрометрах работает в широком спектральном диапазоне и сочетает в себе функции приёма и передачи излучения. Он собран по схеме Мерсенна и имеет асферическое главное зеркало.

Отличительной чертой телескопа является то, что в нем фокусы главного и вторичного зеркал совмещены. Зеркала вогнутые параболические. При попадании пучка света на главное зеркало, он сходится к его фокусу, а потом перехватывается вторичным зеркалом, которое установлено за фокусом. Вторичное зеркало направляет пучок света в центральное отверстие в главном зеркале [9].

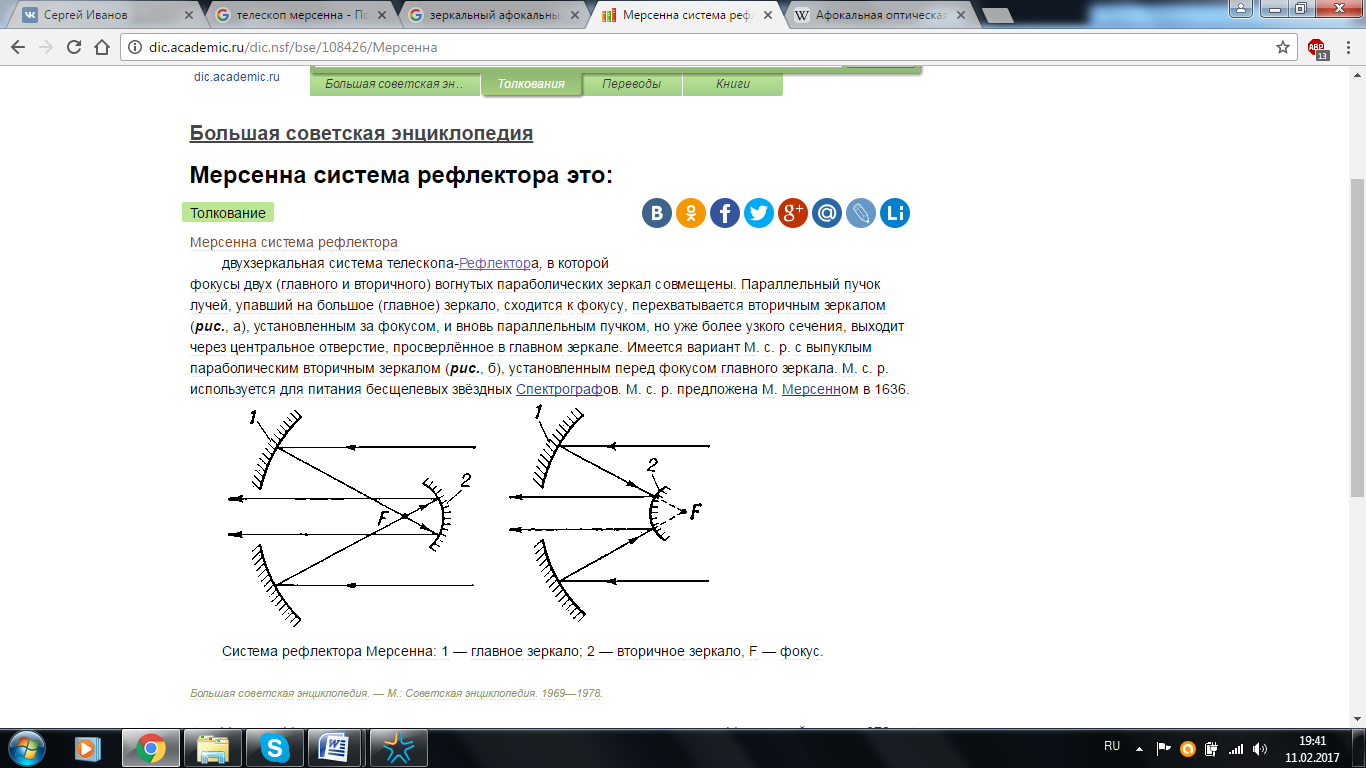


Рисунок 6 – Система рефлектора Мерсенна: 1 – главное зеркало; 2 – вторичное зеркало, F – фокус

## 2.2 Расчётная часть

В данной работе требуется создать зеркальную систему типа Мерсенна, где диаметр входного зрачка D равен 20 мм, диаметр выходного зрачка D' равен 100 мм, расстояние между зеркалами d ≤ 300 мм. Расчёты проводились в программе ZEMAX.

1. Габаритный расчёт

Увеличение системы определяется по формуле:

где D и D' диаметры входного и выходного зрачка соответственно, f'1 и f'2 фокусные расстояния.

Таким образом фокусные расстояния зеркал связаны между собой зависимостью:

Система Мерсена афокальная, следовательно, расстояние между зеркалами d выражается следующей формулой:

Из формулы (11) можно выразить второе уравнение, связывающее между собой фокусные расстояния зеркал:

Для расчета примем расстояние d = –150 мм . Тогда:

Для нахождения фокусных расстояний решим систему уравнений:

⇒ ⇒ (15)

Отсюда находим фокусное расстояние главного зеркала:

Радиусы кривизны зеркал находятся по формулам:

Радиус кривизны главного зеркала R1:

Радиус кривизны вторичного зеркала R2:

Система Мерсена имеет параболоидальные зеркала, вследствие чего коэффициенты деформации будут у обоих зеркал равны k = –1.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| R, мм | d, мм | Материал | Коэфф. деформации **k** |
| 75 | -150 | Зеркало | -1 |
| 375 |  | Зеркало | -1 |

Таблица 2. Конструктивные параметры системы

2. Принципиальная оптическая схема хода лучей

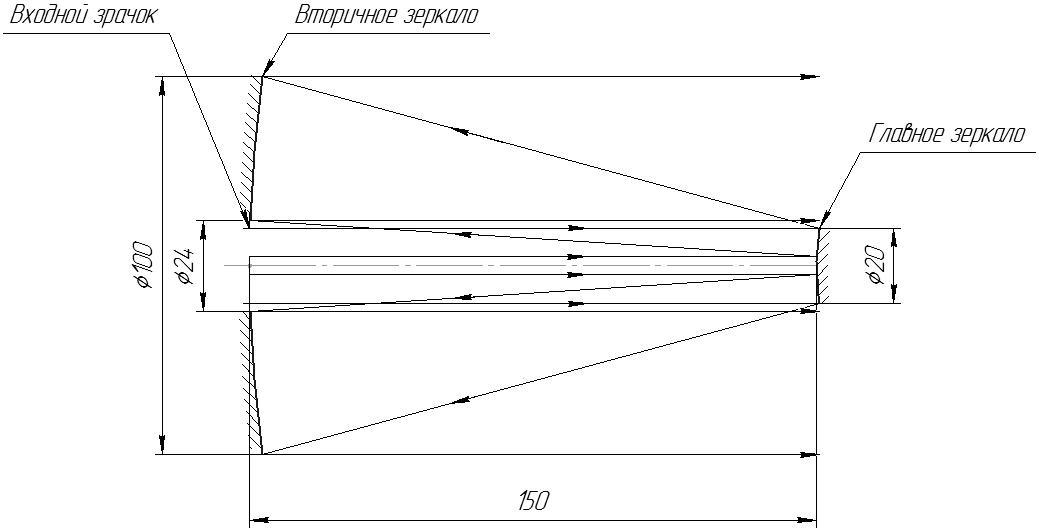


Рисунок 7 - Принципиальная оптическая схема

Диаметр экранированной зоны вторичного зеркала выбран равным 24 мм из конструктивных соображений. Входной зрачок расположен в плоскости вторичного зеркала для размещения линзовой лазерной коллимирующей системы.

Корпус телескопического узла, состоящий из главного и вторичного зеркала, смоделирован в среде SoidWorks. Масса с учётом выбранных материалов составляет 1.35 кг.

Чертёж общего вида телескопического узла по схеме Мерсенна представлен в приложении А.

# ВЫВОДЫ

В данной работе проведена разработка телескопического узла по схеме Мерсенна. Так же рассмотрены современные Фурье спектрометры дистанционного зондирования работающие в ИК-диапазоне. Сделана визуализация модели телескопического узла, который применяется в спектрометрах, которые рассматривались в данной работе, также был разработан сборочный чертёж.

# БИБЛИОГРАФИЯ

1. Скворцов, Л.А. Лазерные методы дистанционного обнаружения химических соединений на поверхности тел / Л.А. Скворцов. – Москва. : Техносфера, 2014. – 208 с.
2. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование / Р. Межерис. – М.: Мир, 1987. – 510 с.
3. Ansmann A., Muller D. Lidar and atmospheric aerosol particles. – Springer Series in Optical Sciences, 2005 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.springerlink.com/content/j75258113x74r713/fulltext.pdf, св. Яз. англ. (дата обращения 06.02.2017).
4. Андреас, Б., Рэинэр, Д., Роланд, Х. Дистанционное зондирование атмосферного загрязнения пассивной ИК – Фурье спектроскопии: перевод с англ. 1998. – 11 с. [ Andreas Beil, Rainer Daum, Roland Harig. Remote sensing of atmospheric pollution by passive FTIR spectrometry; Technical University of Hamburg-Harburg. - Hamburg, Germany, 1998. – 11 с.
5. Роберт А. Шовенгердт. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Шовенгердт Роберт А. – М.: Техносфера, 2010. – 352 с.
6. Сутырина, Е.Н. Дистанционное зондирование Земли / Е.Н. Сутырина. – Иркутск.: Изд-во ИГУ, 2013. – 165 с.
7. Константинов, П.С., Алехнович, В.И. Натурные испытания ИК-Фурье спектрорадиометра для дистанионного зондирования атмосферы / П.С. Константинов, В.И. Алехнович. – Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 57с.
8. Морозов, А.Н., Светличный, С.И. Основы Фурье-спектрорадиометрии / А.Н. Морозов, С.И. Светличный. – М.: Наука, 2016. – 275 с.
9. Корпорация «Bruker» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.bruker.com/ru/products/infrared-near-infrared-and-raman-spectroscopy/remote-sensing.html>, свободный, (дата обращения: 15.02.2017).
10. Мельников, О.А., Слюсарев, Г.Г. Современный телескоп / О.А. Мельников, Г.Г. Слюсарев – М.: Наука, 1968. – 234 с.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А. Конструкторская документация

В состав конструкторской документации входит сборочный чертёж телескопического узла.