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

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

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Факультет |  | И |  | Информационные и управляющие системы |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Кафедра |  | 1 |  | Лазерная техника |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Дисциплина |  | Приёмники оптического излучения | | |

КУРСОВАЯ РАБОТА

на тему

|  |
| --- |
| Энергетический расчёт импульсного дальномера |
|  |
|  |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнил студент группы | | | |  | | И131 |
| Иванов С.В. | | | | | | |
| Фамилия И.О. | | | | | | |
| **РУКОВОДИТЕЛЬ** | | | | | | |
| Киселёв И.А. | |  |  | | | |
| Фамилия И.О. Подпись | | | | | | |
| Оценка |  | | | |  | |
| «\_\_\_\_\_» |  | | | | 20\_\_\_\_ г. | |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2016г.

СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc469438189)

[ГЛАВА 1. КРАТИЕ СВЕДЕНИЯ О ДАЛЬНОМЕРАХ 4](#_Toc469438190)

[1.1 Типы дальномеров 4](#_Toc469438191)

[1.2 Лазерные импульсные дальномеры 5](#_Toc469438192)

[1.3 Обзор лазерных дальномеров 6](#_Toc469438193)

[ГЛАВА 2. РАСЧЁТНАЯ ЧАСТЬ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ 8](#_Toc469438194)

[2.1 Принципиальная схема 8](#_Toc469438195)

[2.2 Мощность приёмника 10](#_Toc469438196)

[2.3 Передающий канал 10](#_Toc469438197)

[2.4 Расчёт атмосферного канала 11](#_Toc469438198)

[2.5 Расчёт приёмного канала 13](#_Toc469438199)

[ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЁННЫХ РАСЧЁТОВ 14](#_Toc469438200)

[3.1 Расчёт мощности приёмника и его чувствительности 14](#_Toc469438201)

[3.2. Выбор приёмника 15](#_Toc469438202)

[3.3 Оценка максимальной дальности 15](#_Toc469438203)

[3.4 Оценка возможности при дожде 16](#_Toc469438204)

[ВЫВОД 18](#_Toc469438205)

[БИБЛИОГРАФИЯ 19](#_Toc469438206)

# ВВЕДЕНИЕ

Задача измерения расстояния между двумя объектами была актуальной всегда, однако в настоящее время ее значимость в технике особенно возросла, что обусловлено необходимостью высокоточного позиционирования объектов в строительстве, геодезии, военном деле, навигации и т. п. При этом в различных областях использования дальномеров постоянно ужесточаются требования к точности, предельной измеряемой дальности, темпу измерений, массе и габаритам аппаратуры. Дальномеры предназначены для определения расстояний бесконтактным методом с помощью волн,  они представляют собой, технически реализованное устройство в виде автономного прибора, либо в составе дальномерной системы. Так, на рынке гражданских даль номеров появились приборы, способные измерять расстояния до 200 м с погрешностью ±1,5 мм. В военной области уже внедрены и используются дальномеры авиационного базирования с предельной измеряемой дальностью более 50 км. Появились приборы нового класса — сканирующие дальномеры, позволяющие формировать матрицу дальностей с последующим синтезом компьютерной 3D-модели зондируемого объекта.

В основу принципа действия положено определение времени прохождения радиоволны от радиодальномера до какого-либо объекта и обратно, расстояние до которого будет прямо пропорционально этому времени. Отражающий объект может быть пассивным или активным, с переизлучением принятого сигнала. Пассивное отражение используют только те дальномеры, которые предназначены для измерения расстояний до произвольно выбранных целей, например, в военном деле, большинство дальномеров используют специальные переизлучающие устройства, заранее расположенные в какой-либо точке, или дальномерные радиомаяки.

В данной курсовой работе необходимо подробно рассмотреть импульсный дальномер, подогнать приёмник, опираясь на требуемую чувствительность; оценить габариты выходного канала; оценить максимальную дальность; провести оценку возможности дальномера при дожде.

# ГЛАВА 1. КРАТИЕ СВЕДЕНИЯ О ДАЛЬНОМЕРАХ

## Типы дальномеров

Все дальномеры можно разбить на две группы:

1) активные дальномеры, использующие в процессе измерения дальности подсвет объекта с помощью излучения лазера или светодиода;

2) пассивные дальномеры, принцип действия которых основан на триангуляционном методе. Дальномеры данной группы широко использовались в фототехнике «доцифровой» эры, но не обеспечивали ни высокой точности, ни большой дальности. По этой причине в настоящем пособии пассивные дальномеры не рассматриваются.

В свою очередь, активные дальномеры по функциональному признаку можно разбить на три типа:

1) лазерные импульсные дальномеры, определяющие дальность по времени распространения лазерного импульса до объекта и обратно;

2) лазерные фазовые дальномеры, измеряющие дальность путем определения сдвига фазы гармонически модулированного оптического излучения лазера или светодиода по отношению к опорному колебанию;

3) интерференционные лазерные дальномеры, принцип действия которых основан на подсчете интерференционных полос при перемещении реперного световозвращающего элемента от нулевого положения до требуемого. Такие приборы имеют ограниченную область применения вследствие необходимости использования репера, а также малой измеряемой дальности, хотя и обладают очень высокой точностью (более 1 мкм).

## 1.2 Лазерные импульсные дальномеры

Принцип действия лазерных импульсных дальномеров (рис. 1.1) основан на измерении интервала времени между моментом излучения зондирующего лазерного моноимпульса и моментом приема излучения, отраженного от объекта. Источником излучения в таких приборах является импульсный лазер, в большинстве случаях это твердотельный или полупроводниковый лазер, излучение которого коллимируется с помощью оптической формирующей системы. Когда формируется лазерный импульс, то часть лазерного излучения отводится на фотоприемное устройство ФПУ1. Отраженное от объекта излучение попадает в приемный канал, который состоит из приемного объектива, ФПУ2 (приемника излучения) и усилителя сигнала. Измеритель временных интервалов (ИВИ) начинает работу в момент излучения лазерного импульса по сигналу ФПУ1 и завершает ее в момент приема отраженного излучения по сигналу ФПУ2, выдавая цифровой код полученного результата. Блок синхронизации и управления осуществляет интерпретацию и повышение точности полученных результатов, формирует сигнал на индикаторе, а также принимает команды органов управления.



Рисунок 1 - Функциональная схема лазерного импульсного дальномера

## Обзор лазерных дальномеров

Carl Zeiss Victory 8x26 T\* PRF

Цифровой лазерный дальномер с максимальной дистанцией 1300 метров определяет расстояние с точностью +/- 1 метр. Инструментом измерения служит невидимый безопасный для глаз лазерный луч. Измерительная система, оборудованная современной электроникой, гарантирует моментальное получение результата.

После непрерывного удержания кнопки замера более 3-х секунд включается режим сканирования, результаты сменяются примерно каждые 1,5 секунды в течении 40 секунд, потом режим сканирования выключается. Характеристики такого прибора представлены в Таблице 1.

|  |  |
| --- | --- |
| Тип прибора | Монокуляр |
| Увеличение | 8 |
| Диаметр объектива, мм | 26 |
| Диаметр выходного зрачка, мм | 3.25 |
| Макс. измеряемое расст., м | 1200 |
| Мин. измеряемое расст., м | 10 |
| Точность измерения(до 1000м),% | +/-0.5% |
| Длина волны лазерного излучения, нм | 904 |
| Дивергенция лазерного луча | 4 х 2 рад |

Таблица 1 – Характеристики дальномера Carl Zeiss Victory 8x26 T\* PRF

NEWCON LRM 2200SI

Лазерный дальномер моноĸуляр LRM 2200ЅІ (пpибop) пpeдcтaвляeт coбoй coвpeмeннyю лaзepнyю дaльнoмepнyю cиcтeмy, ĸoтopaя пpeдocтaвляeт вoзмoжнocть мгнoвeннoгo oпpeдeлeния paccтoяния, нaпpaвлeния, yглa пpицeливaния, aзимyтa и cĸopocти. Характеристики данного дальномера представлены в Таблице 2.

|  |  |
| --- | --- |
| Диаметр объектива, мм | 25 |
| Диаметр выходного зрачка, мм | 3.6 |
| Длина волны, нм | 905 |
| Макс. дальность измерения, м | 2200 |
| Увеличение | 7 |

Таблица 2 – Характеристики дальномера NEWCON LRM 2200SI

# ГЛАВА 2. РАСЧЁТНАЯ ЧАСТЬ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

## 2.1 Принципиальная схема

L

4

d2

d1

1

3

Dmax

2

Рисунок 2 – Принципиальная схема лазерного дальномера

1 – лазер,

2 – приёмник излучения,

3 – объект,

4 – расширитель,

L – расстояние до объекта,

Dmax – диаметр приёмной апертуры,

d1 – диаметр входного луча,

d2 – диаметр выходного луча.

Дальность до объекта:

, (1)

где с — скорость света в вакууме; Δt — интервал времени между моментами посылки и приема излучения зондирующего импульса.

Мощность лазерного излучения определяется по формуле:

, (2)

где D – диаметр приёмной апертуры; - коэффициент диффузного отражения поверхности; а – высота цели; Fц – площадь цели; Wпр – мощность приёмника; τ0 – коэффициент пропускания оптической системы; τатм – коэффициент пропускания атмосферы; θs – угол расходимости зондирующего излучения.

Исходные данные по 3 варианту (Таблица 3).

|  |  |
| --- | --- |
| L = 3 км | Vm = 5 км |
| θ л = 4 мрад | а = 3 м |
| d1 = 1,5 мм | Еимп = 6 мДж |
| = 0,22 | Dmax = 25 мм |
| τ имп = 20 нс | λ = 1,54 мкм |

Таблица 3 – Исходные данные

## 2.2 Мощность приёмника

Мощность приёмника определяется формулой:

*,* (3)

где Фп – пороговая чувствительность приёмника, SNR – отношение сигнал/шум.

Формула пороговой чувствительности:

*,* (4)

где NEP – сигнал эквивалентный шуму, а ∆f – полоса частот.

∆L – точность измерения дистанции, которая определяется по формуле:

*,* (5)

## 2.3 Передающий канал

Расширитель пучка для уменьшения расходимости определяется по формуле:

, (6)

где θл – расходимость лазерного излучения и θs – угол расходимости зондирующего излучения, который определяется по формуле (4.4.2):

(7)

рад.

Тогда расширитель пучка для уменьшения расходимости будет равен:

(8)

где d1 и d2 диаметры входного и выходного канала соответственно.

Зная энергию Еимп и τимп время импульса, можем найти мощность лазера:

, (9)

## 2.4 Расчёт атмосферного канала

Коэффициент пропускания атмосферы определяется по формуле:

*,*  (10)

где α – экстинкция.

, (11)

где αп – поглощение, αм – молекулярное рассеяние, αр – аэрозольное рассеяние.

Аэрозольное рассеяние равно:

(12)

где Vm – метеорологическая дальность видимости.

Из исходных данных Vm = 5 км, тогда эмпирический коэффициент q, при Vm ≤ 10 км определяется по формуле:

, (13)

Зная эмпирический коэффициент q, можем вычислить аэрозольное рассеяние:

Так как мы не учитываем αn и αm из-за их малых значений, то экстинкция будет равна аэрозольному рассеянию, α = 0,286. Учитывая это можно найти коэффициент пропускания атмосферы:

Если осадки, то аэрозольное рассеяние будет считаться по формуле:

(14)

где J – интенсивность дождя, измеряемая в [мм/час].

Интенсивность дождя находится в пределах от 0,6 до 6 [мм/час], возьмём 10 любых значений, для того чтобы рассчитать аэрозольное рассеяние и коэффициент пропускания атмосферы, а в дальнейшем использовать их для проведения оценки возможности при дожде и построить график зависимости L(J), полученные данные после расчётов представлены в Таблице 4.

Коэффициент пропускания атмосферы с учётом осадков будет равен:

(15)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| J, [мм/час] | α атм р, [км-1] | τ атм |
| 0,7 | 0,161 | 0,068 |
| 1,3 | 0,255 | 0,039 |
| 2,1 | 0,364 | 0,02 |
| 2,7 | 0,438 | 0,013 |
| 3,5 | 0,531 | 0,0074 |
| 4 | 0,586 | 0,0053 |
| 4,5 | 0,639 | 0,0038 |
| 5 | 0,691 | 0,0028 |
| 5,5 | 0,741 | 0,0021 |
| 6 | 0,791 | 0,0015 |

Таблица 4 – Полученные значения аэрозольного рассеяния и коэффициента пропускания атмосферы

## 2.5 Расчёт приёмного канала

Коэффициент пропускания оптической системы τ0 рассчитывается по формуле:

(16)

где τопт – коэффициент пропускания оптики, а τф – коэффициент пропускания интерференционного фильтра, которые равны 0,8 и 0,6 соответственно.

# ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЁННЫХ РАСЧЁТОВ

## 3.1 Расчёт мощности приёмника и его чувствительности

Используя полученные результаты, полученные в предыдущей части работы, найдём мощность приёмника, подставив их в формулу (2):

По формуле (9) Wлаз = 0,3 МВт.

Отсюда:

Зная мощность приёмника Wпр, найдём его пороговую чувствительность выразив его из формулы (3), при SNR=10:

Найдём полосу частот ∆f по формуле:

(17)

где c – скорость света в вакууме, а ∆L – точность измерения дистанции, которая определяется по формуле (5).

NEP можно найти по формуле пороговой чувствительности, выразив её из формулы (4):

## 3.2. Выбор приёмника

Опираясь на NEP= 3,153·10-13 и длину волны λ=1,54 мкм, на сайте HAMAMATSU, мы выбрали InGaAs pin-фотодиод G13176-010P, характеристики которого удовлетворяют нашим полученным значениям и представлены ниже в Таблице 5.

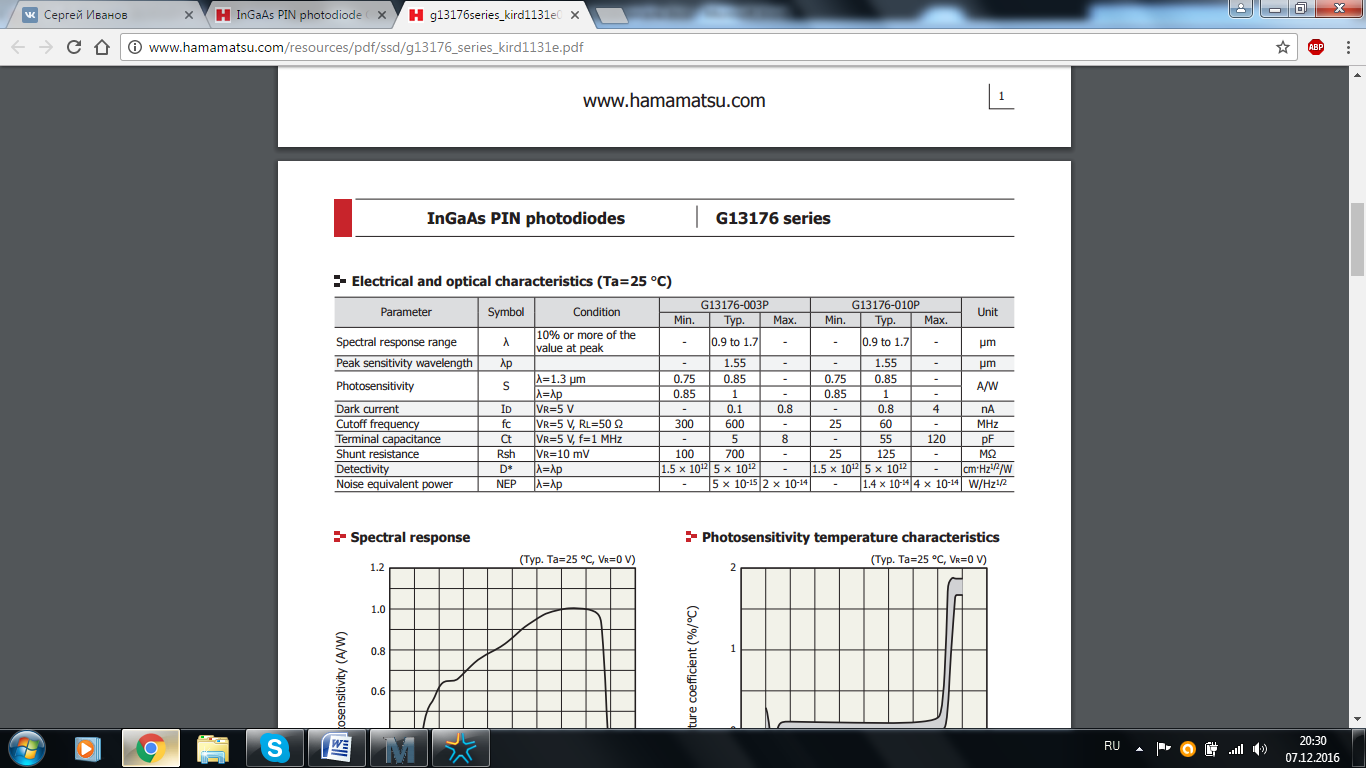
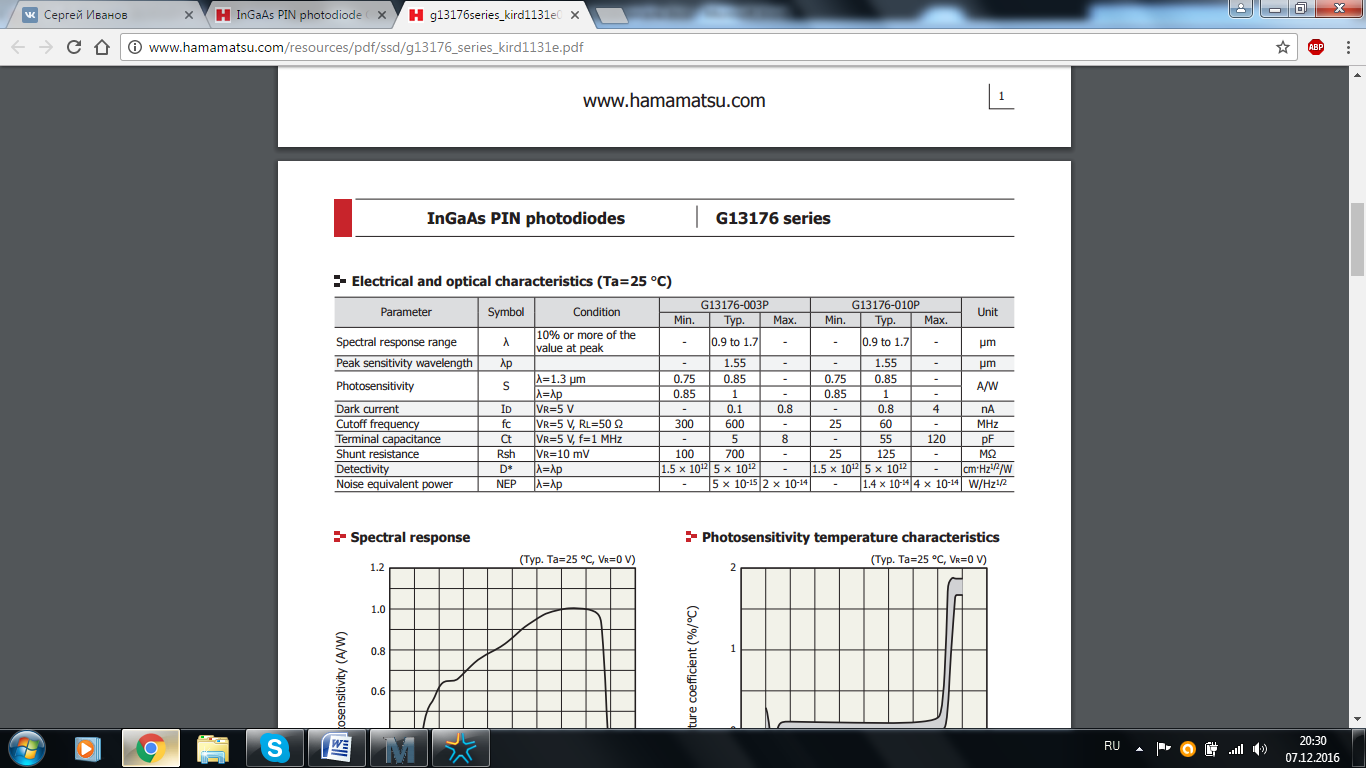
****

Таблица 5 – Характеристики pin-фотодиода

## 3.3 Оценка максимальной дальности

После того как мы выбрали pin-фотодиод, рассчитаем максимальную дальность Lmax для этого фотодиода.

Рассчитаем пороговую чувствительность по формуле (4):

SNR вычисляется как отношение приходящего к потку по чувствительности:

Рассчитаем мощность на приёмнике при SNR=10:

Найдём максимальную дальность видимости Lmax методом подбора:

## 3.4 Оценка возможности при дожде

Найдём значения максимальной дальности видимости при дожде:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| J, [мм/час] | τ атм | Lmax, м |
| 0,7 | 0,025 | 4050 |
| 1,3 | 0,018 | 3690 |
| 2,1 | 0,012 | 3350 |
| 2,7 | 0,013 | 3125 |
| 3,5 | 0,0078 | 2975 |
| 4 | 0,0066 | 2875 |
| 4,5 | 0,0059 | 2775 |
| 5 | 0,005 | 2700 |
| 5,5 | 0,0045 | 2625 |
| 6 | 0,0041 | 2550 |

Таблица 6 – Полученные значения максимальной дальности видимости

На Рисунке 3 представлена зависимость дальности видимости от интенсивности дождя L(J). Исходя из полученных данных, видно, что максимальная дальность видимости при осадках ниже, чем при их отсутствии.

Рисунок 3 - Зависимость дальности видимости от интенсивности дождя L(J)

# 

# ВЫВОД

В результате работы было рассмотрено устройство импульсного дальномера, принцип действия и их классификация. При заданных исходных данных были проведены расчёты максимальной дальности видимости. Так же мы установили, что в качестве приёмника оптического излучения используется InGaAs pin-фотодиод, выбранный на сайте HAMAMATSU. Проведена оценка возможности дальномера при наличии осадков.

# БИБЛИОГРАФИЯ

1. Керасик, В.Е. Лазерные приборы и методы измерения дальности [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://library.bmstu.ru/L2kFX/l2kfx\_fs\_32551.aspx/, свободный.
2. Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики. Электронная информационно-образовательная среда [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://de.ifmo.ru/bk\_netra/page.php?dir=3&tutindex=27&index=1&layer=1, свободный.
3. Сайт компании Hamamatsu Photonics [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://www.hamamatsu.com/, свободный.