

ФГБОУ ВО  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ» »  
Институт радиотехники и электроники  
Направление радиоэлектронные системы и комплексы  
Кафедра радиотехнических систем



**ОТЧЁТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ**  
**курса «Аппаратура потребителей СРНС»**

Выполнил студент:

Муратов Николай Сергеевич  
группа: ЭР-15-17

Проверил:

к.т.н., доцент  
Корогодин Илья Владимирович

Москва, 2021 г.

# Содержание

<b>1 Ошибки позиционирования в городских условиях</b>	<b>3</b>
1.1 Цель работы . . . . .	3
1.2 Задание . . . . .	3
1.3 Основная часть . . . . .	4
1.3.1 Теоретическая часть . . . . .	4
1.3.2 Процесс сбора данных . . . . .	5
1.3.3 Расчет и анализ результатов: . . . . .	9
1.4 Выводы . . . . .	10

# Лабораторная работа 1

## Ошибки позиционирования в городских условиях

### 1.1 Цель работы

Цель данной лабораторной работы – оценка качества радионавигационных систем на основе точности их работы, характеризуемой погрешностью определения местоположения в разных рабочих условиях.

### 1.2 Задание

Студентам предлагается выбрать три места:

- с отличными условиями приема (открытый небосвод, ничто не мешает приему сигналов спутников);
- со средними условиями (те или иные сектора неба закрыты, среднеэтажная застройка);
- сложными условиями приема (небо не видно или почти не видно).

В каждом месте:

- достать телефон, запустить NMEA Tools;
- дождаться запуска приемника, начала выдачи координат;
- сделать скриншот экрана с полученными координатами;
- сделать селфи себя и товарищей в выбранном окружении (так, чтобы было видно условия приема).

Оформить отчет, выгрузить на гитхаб, завести Pull request.

## 1.3 Основная часть

### 1.3.1 Теоретическая часть

Для определения расстояния воспользуемся формулой Хаверсайна. Формула Хаверсайна вычисляет кратчайшее расстояние между двумя точками на сфере, используя их широты и долготы. Гаверсин в тригонометрии обозначается как:

$$\text{haversin}(\theta) = \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right). \quad (1.1)$$

Хаверсайн угла (который равен  $\frac{d}{r}$ ) рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{haversin}\left(\frac{d}{r}\right) = \text{haversin}(\phi_2 - \phi_1) + \cos(\phi_1)\cos(\phi_2)\text{haversin}(\lambda_2 - \lambda_1), \quad (1.2)$$

где  $r$  — радиус Земли (6371 км),  $d$  — расстояние между двумя точками,  $\phi_1, \phi_2$  широта двух точек и  $\lambda_1, \lambda_2$  это долгота двух точек соответственно.

Решим относительно  $d$ :

$$d = 2r \cdot \arcsin\left[\sqrt{\sin^2\left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2}\right) + \cos(\phi_1)\cos(\phi_2)\sin^2\left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2}\right)}\right]. \quad (1.3)$$

Соответственно  $d$  равно расстоянию между точками  $M_1$  и  $M_2$  на Рис. 1.3.1

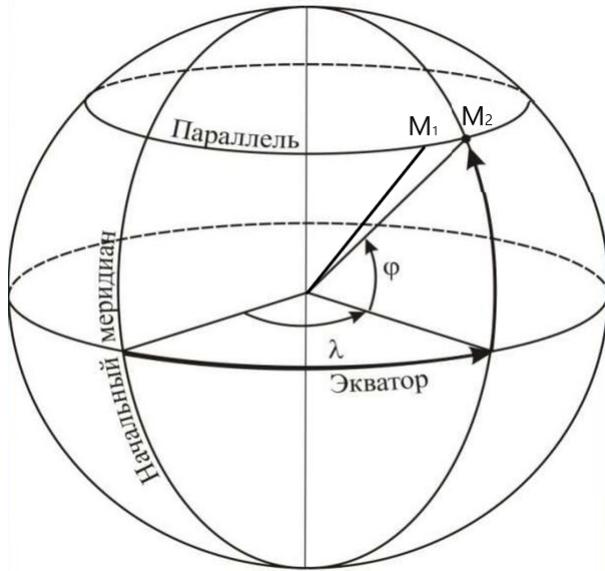


Рисунок 1.3.1 — Сферические координаты двух точек

### 1.3.2 Процесс сбора данных

Посоветовавшись с бригадой были выбраны данные три точки на карте:

Место с отличными условиями приема было пересечением трамвайных путей улиц Авиамоторная и Красноказарменная. Ближайшее здание высотой 5 этажей. Также на расстоянии 100 м стоит 16 этажное здание закрывающее не более 5 процентов обзора. Карта местности представлена на Рис. 1.3.2

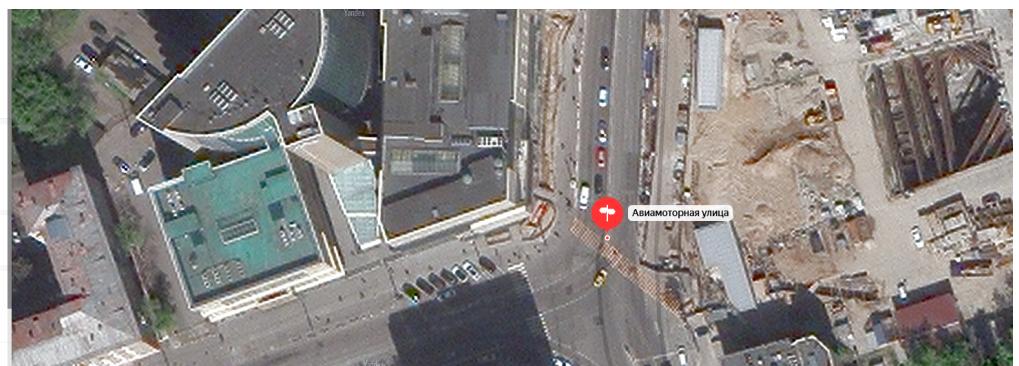


Рисунок 1.3.2 — Карта места №1

Местом со средними условиями приема была лавка у входа Е-корпуса МЭИ. Ближайшее здание высотой 8 этажей на расстоянии 10 м. Также на расстоянии 40 м стоит 7 этажное здание "ВЭИ". Карта местности представлена

на Рис. 1.3.3



Рисунок 1.3.3 — Карта места №2

Местом со сложными условиями приема было крыльцо главного корпуса МЭИ. Весь обзор неба загорожен козырьком крыльца и пятиэтажным корпусом Ж. Карта местности представлена на Рис. 1.3.4

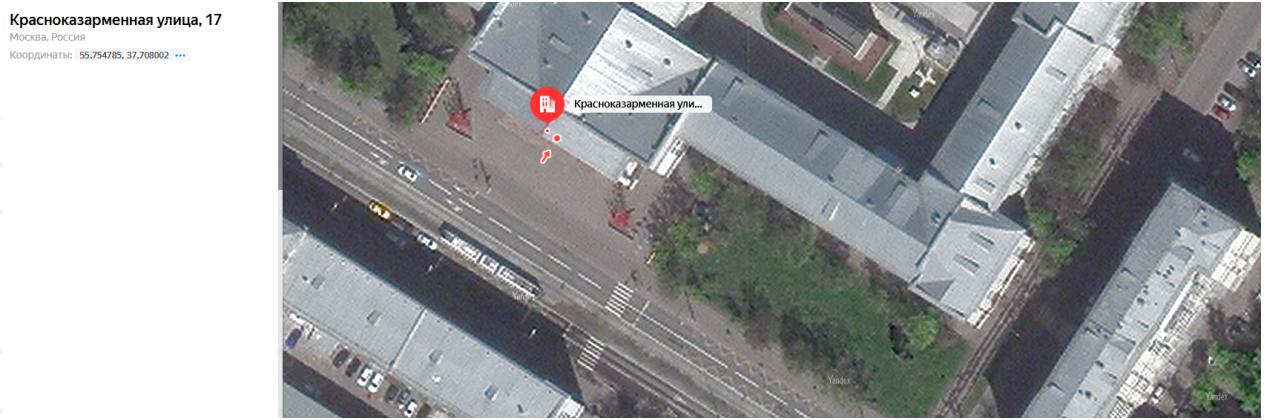


Рисунок 1.3.4 — Карта места №3

Сгруппируем в таблицу (см. табл. 1.1) координаты, которые будем считать искомыми для каждой точки.

Таблица 1.1 — Искомые координаты

Номер	$\phi_1$	$\lambda_1$
1	55.754785	37.708002
2	55.756380	37.703362
3	55.753967	37.715783

Далее наступил этап получения реальных координат, соответствующих приемнику телефона, в заданных точках пространства.

На месте с отличными условиями приема были получены следующие данные:

$$\phi_{2,2} = 55.754494, \lambda_{2,2} = 37.707691$$

На месте со средними условиями приема были получены следующие данные:

$$\phi_{2,1} = 55.756241, \lambda_{2,1} = 37.703495$$

На месте со сложными условиями приема были получены следующие данные:

$$\phi_{2,3} = 55.753906, \lambda_{2,3} = 37.715866$$

Подтверждение присутствия всех членов бригады можно проверить по селфи Рис. 1.3.5



Рисунок 1.3.5 — Фото бригады на трех точках

### 1.3.3 Расчет и анализ результатов:

Была написана микропрограмма на языке Python для расчета расстояний между искомыми координатами и их навигационной оценкой по формуле Хависайна. Ниже представлен листинг 1.1.

Листинг 1.1 – Программа расчета ошибки определения местоположения

```
1 from math import radians, cos, sin, asin, sqrt
2
3 def haversine(phi1, phi2, lam1, lam2):
4
5     # Перевод в радианы
6     phi1, lam1, phi2, lam2 = map(radians, [phi1, lam1, phi2, lam2])
7
8     # Формула Хаверсайна
9     delta_phi = phi2 - phi1
10    delta_lam = lam2 - lam1
11    a = sin(delta_phi/2)**2 + cos(phi1) * cos(phi2) * sin(delta_lam
12        /2)**2
13    c = 2 * asin(sqrt(a))
14    r = 6371 # Radius of earth in kilometers. Use 3956 for miles
15    return c * r
16
17 print(haversine(55.753906, 55.753967, 37.715866, 37.715783))
18 print(haversine(55.756241, 55.756380, 37.703495, 37.703362))
19
20
21
22 # Результат:
23
24 0.03775882893871361
25 0.017554072033429968
26 0.008542959503705894
```

Программа возвращает расстояния в километрах, занесем результат в таблицу 1.1

Таблица 1.1 — Результаты

Номер	$d$
1	8.5 м
2	17.6 м
3	37.8 м

## 1.4 Выводы

В процессе лабораторной работы были получены данные о местоположении навигационного приемника в трех точках с разными условиями приема. Было рассчитано отклонение полученных на месте координат от истинных. Получено экспериментальное подтверждение того, что ошибка увеличивается с ухудшением приема. Это связенно с задержкой прохождения сигнала через среды с отличными от воздуха свойствами.

## **Литература**

- [1] Перов, А. И. Методы и алгоритмы оптимального приема сигналов в аппаратуре потребителей спутниковых радионавигационных систем : учебное пособие для вузов по направлению 210601 "Радиоэлектронные системы и комплексы" / А. И. Перов . – М. : Радиотехника, 2012 . – 240 с. - ISBN 978-5-88070-031-8 .;