

# Обзор существующих решений



RAST (Recovery Assist, Secure and Traverse) - система обеспечения принудительной посадки, фиксации вертолѐта и его буксировки



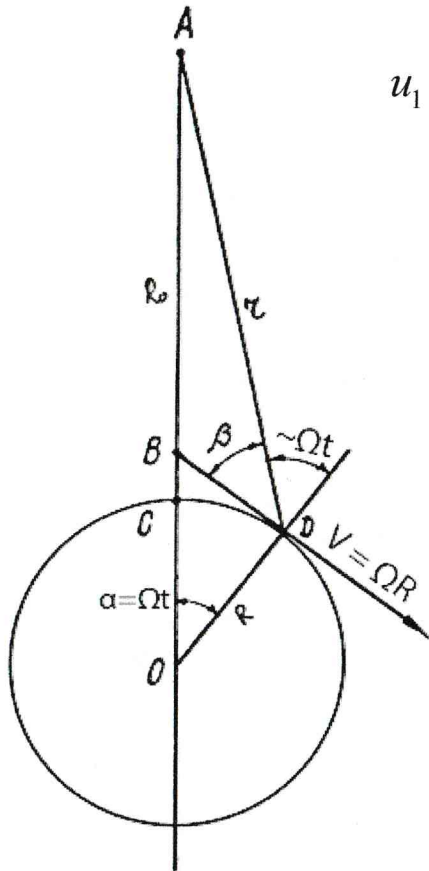
Оптическая система посадки вертолета ОСПВ-20380 создана в ЗАО «Научно-технический центр «Альфа-М» г.Раменское



Спутниковая система посадки вертолета на корабль ССП-К-20380 создана в ОАО «МКБ «Компас» г. Москва

*[Handwritten signature]*

# Принцип работы



Схематическое изображение лопасти вертолета относительно источника излучения

$$u_1(t) = A_1(t - r/c) \cos[\omega(t - r/c) + \psi_1(t) + \varphi_1]$$

$u_1(t)$  – принимаемый сигнал в точке D;  
 $A_1(t)$  – амплитуда излучения;  
 $t$  – текущее время;  
 $\omega$  – угловая частота сигнала источника излучения;  
 $r$  – расстояние до излучателя;  
 $c$  – скорость света;  
 $\varphi_1(t)$  – фаза относительно начала отсчета;  
 $\psi_1(t)$  – фазовый сдвиг за счет доплеровского смещения частоты.

$$\psi_1(t) = \frac{2\pi R}{\lambda} \cos \Phi' \cos(\Omega t - \Theta)$$

$R$  – длина лопасти;  
 $\lambda$  – длина волны сигнала излучателя;  
 $\Phi'$  – угол, определяемый местоположением излучателя относительно плоскости вращения лопастей винта вертолета;  
 $\Omega$  – угловая скорость вращения лопастей;  
 $\Theta$  – угол между центром вращения лопастей относительно положения источника излучателя и направлением движения вертолета.

$$f_d(t) = \frac{dR(t)}{dt} = \frac{R\Omega R_0 \sin(\Omega t)}{\lambda \sqrt{R_0^2 + R^2 - 2R_0 R \cos(\alpha) + h^2}}$$

$R_0$  – расстояние от излучателя до оси вращения лопастей;  $R$  – длина лопасти;  $\Omega$  – угловая частота вращения;  $\alpha = \Omega t$  – текущее положение лопасти винта;  $\lambda$  – длина волны излучателя;  $h$  – положение вертолета относительно площадки.



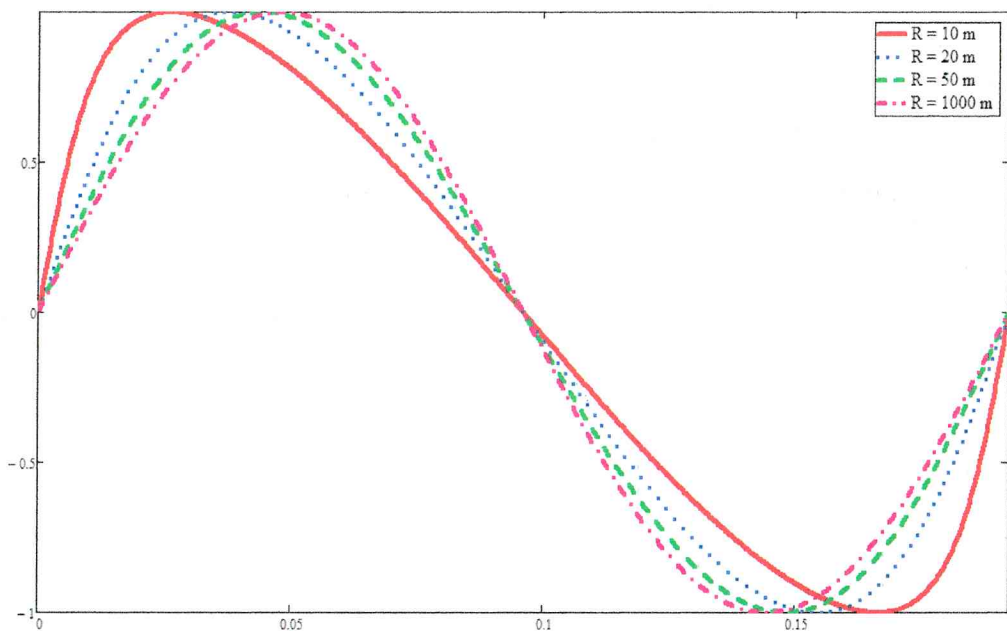
# Определение пеленга

Пассивная система определения направления на источник излучения имеет следующие преимущества:

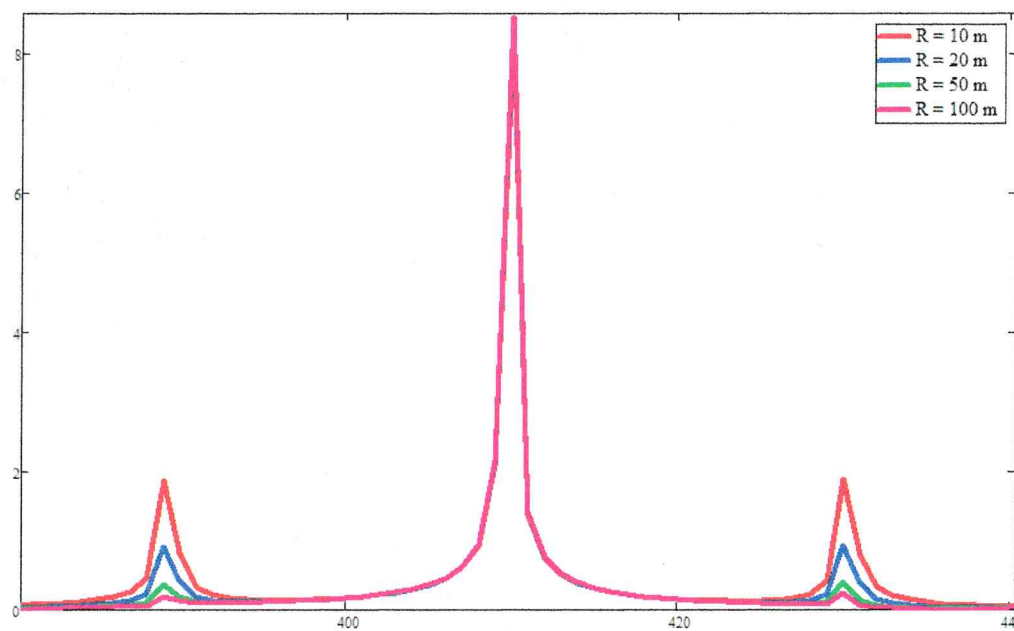
- возможность исключения амплитудно-модулированных шумов, так как информация о направлении содержится в частотно-модулированном сигнале;
- лучшее отношение сигнал-шум в момент определения пеленга, чем в следящих системах;
- высокое время реакции, определяемое периодом одного оборота приемной антенны;
- высокая эффективность с увеличением частоты, так как доплеровский сдвиг увеличивается;
- возможность определения пеленга между движущимися объектами, а также сохранения места в строю ЛА.

Handwritten signature and initials in blue ink, located in the bottom right corner of the page.

# Определение дальности до источника излучения



Функция изменения доплеровского смещения частоты



Спектр принимаемого сигнала

*Handwritten signatures in blue ink.*

# Моделирование

## Неизменяемые параметры системы:

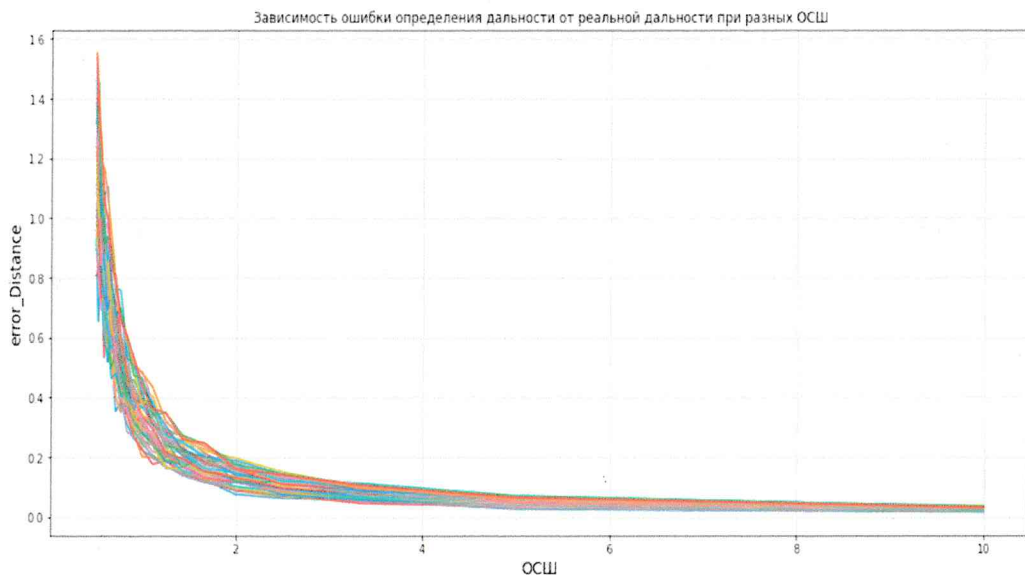
- $L = 6.6$  м – длина лопасти вертолетного винта;
- $\Omega = 5.2$  Гц – частота вращения винта;
- $f_0 = 1$  ГГц – несущая частота;
- $f_d = 10$  кГц – частота дискретизации сигнала.

## Изменяемые параметры системы:

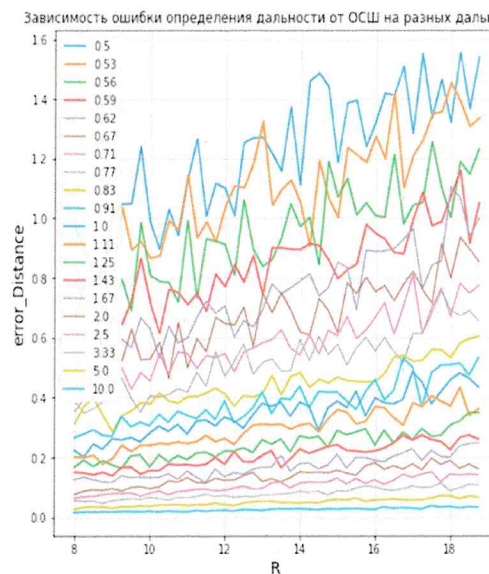
- Дистанция до излучателя изменялась в диапазоне от 8м. до 20м.;
- Коэффициент отношения сигнал-шум изменялся в диапазоне от 0.5 до 20;



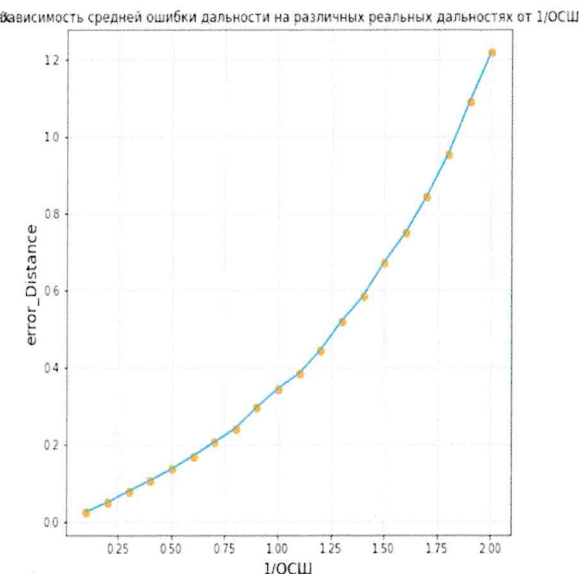
# Ошибка определения дальности



Зависимость ошибки дальности (м) от коэффициента ОСШ при различных дальностях



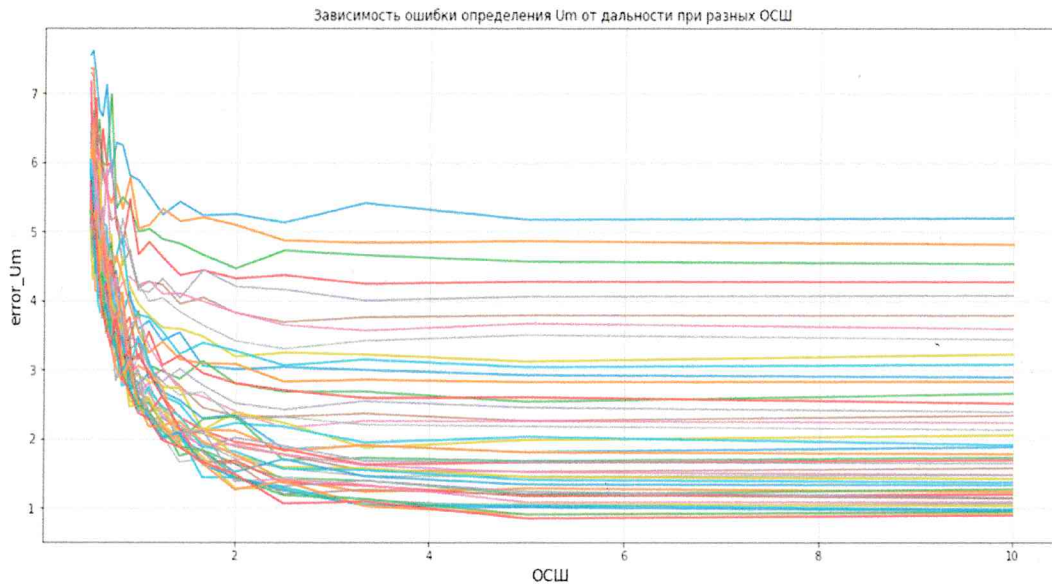
Зависимость ошибки определения дальности (м) от фактической дальности (м) при различных коэффициентах ОСШ



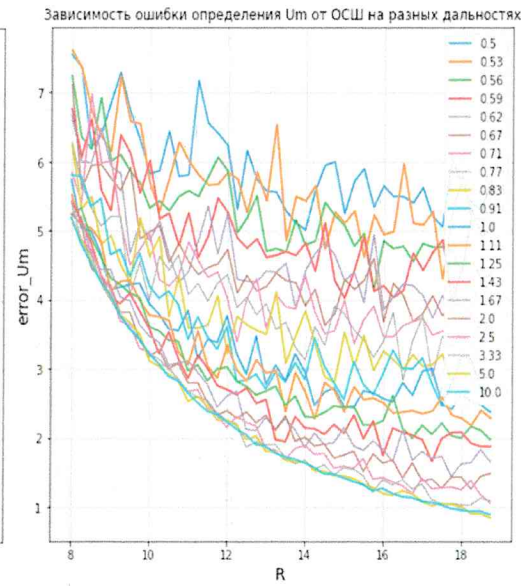
Зависимость средней ошибки всех дальностей (м) от обратного коэффициента ОСШ

*[Handwritten signature]*  
*[Handwritten initials]*

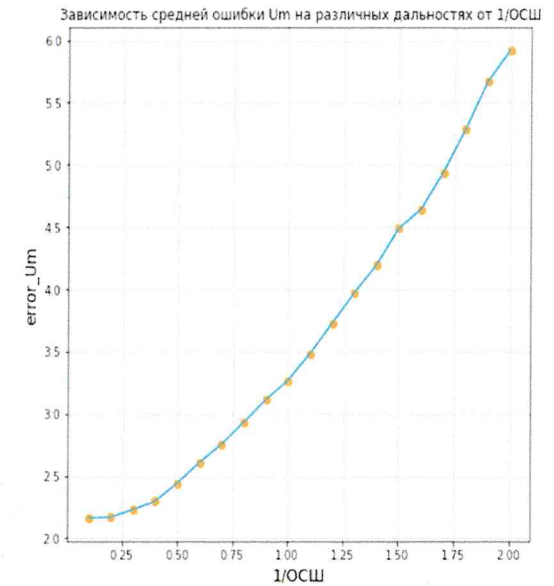
# Ошибка определения угла места



Зависимость ошибки определения угла места в градусах от коэффициента ОСШ при различных дальностях



Зависимость ошибки определения угла места в градусах от фактической дальности (м) при различных коэффициентах ОСШ

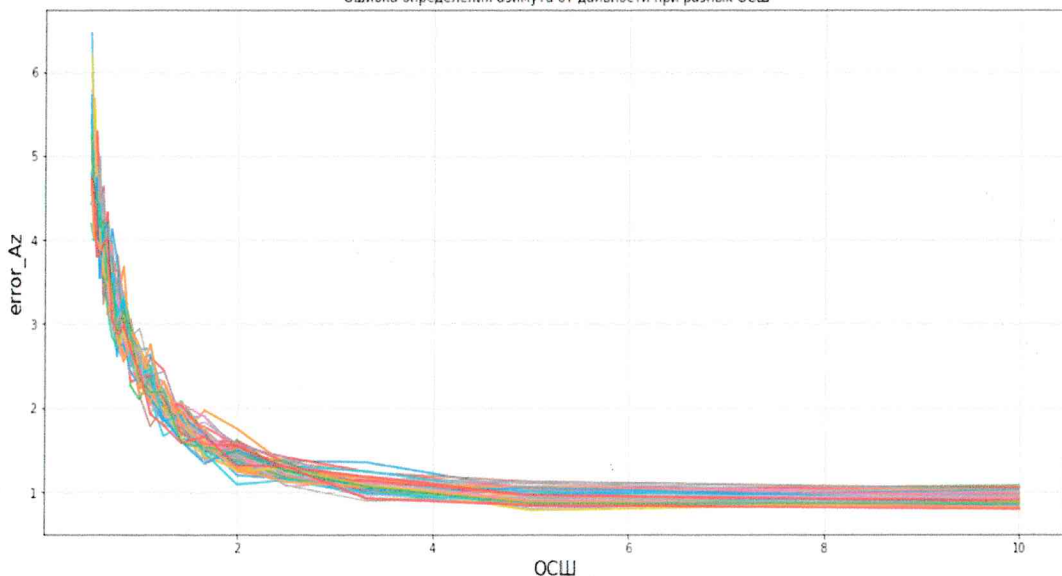


Зависимость средней ошибки среди всех положений угла места в градусах от обратного коэффициента ОСШ



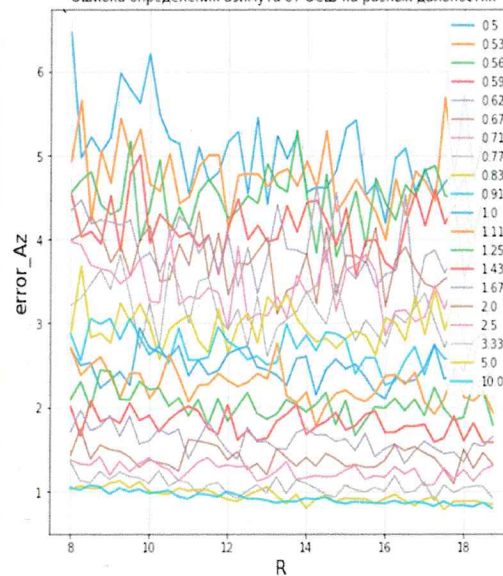
# Ошибка определения угла азимута

Ошибка определения азимута от дальности при разных ОСШ



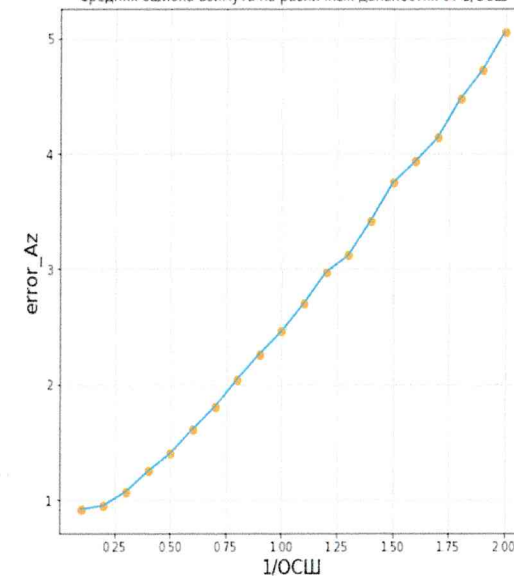
Зависимость ошибки определения азимута в градусах от коэффициента ОСШ при различных дальностях

Ошибка определения азимута от ОСШ на разных дальностях



Зависимость ошибки определения азимута в градусах от фактической дальности (м) при различных коэффициентах ОСШ

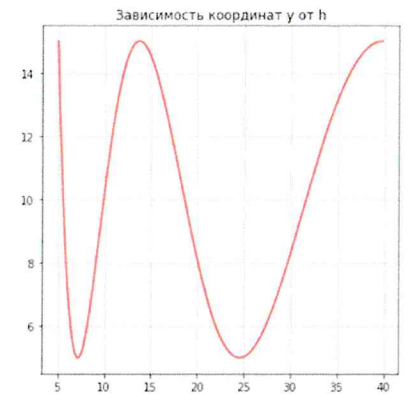
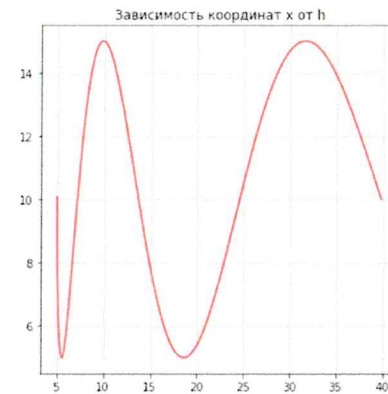
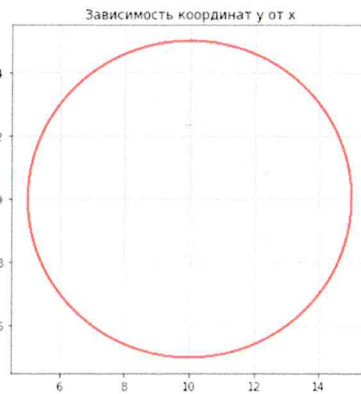
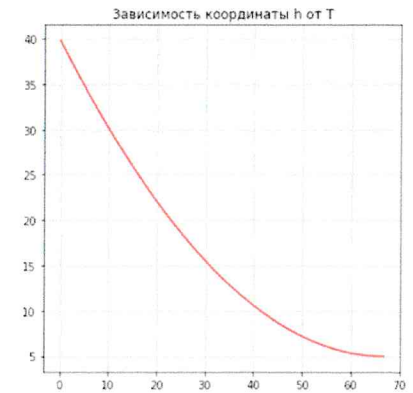
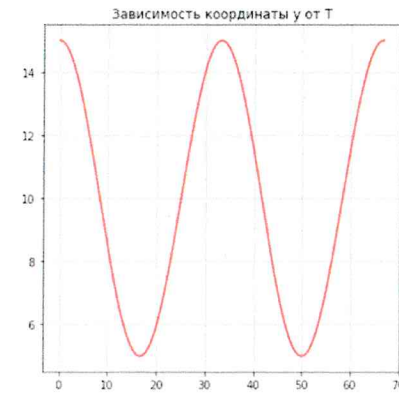
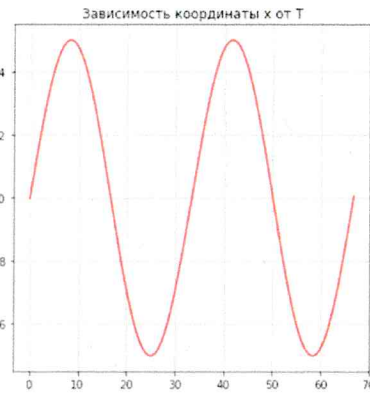
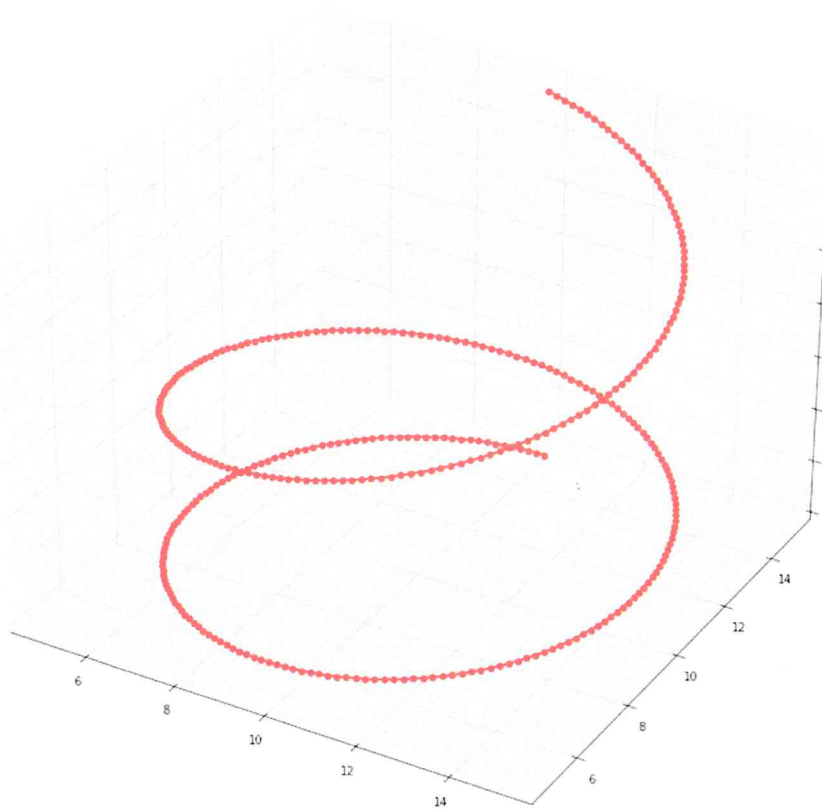
Средняя ошибка азимута на различных дальностях от 1/ОСШ



Зависимость средней ошибки среди всех положений угла азимута в градусах от обратного коэффициента ОСШ



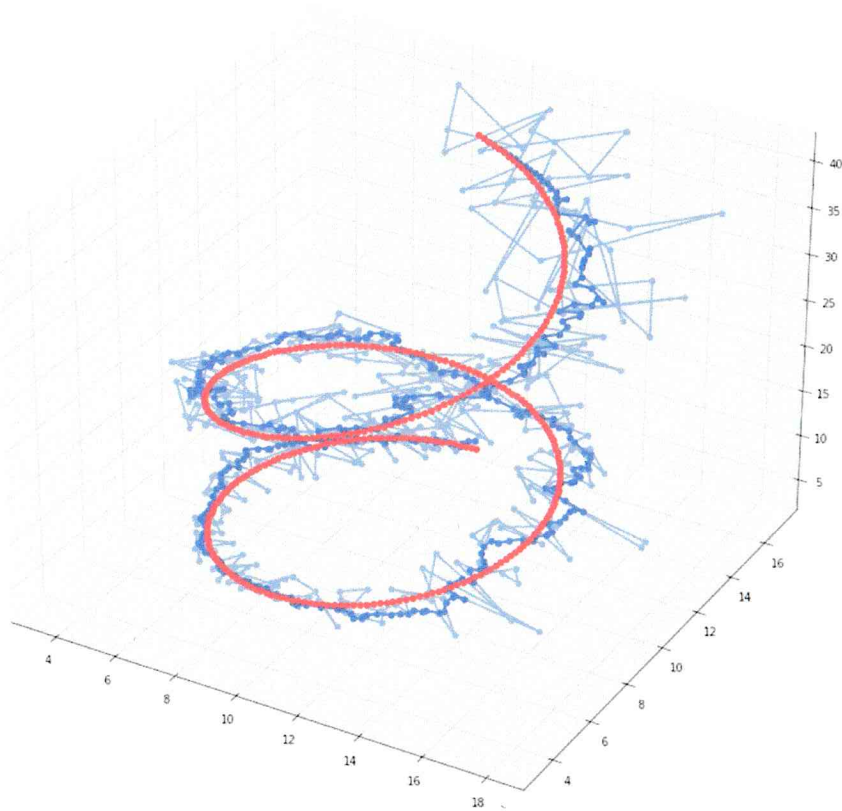
# Генерация траектории движения вертолета



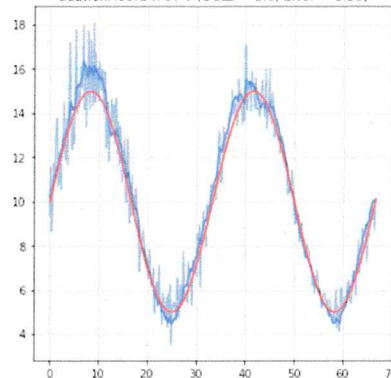
Handwritten signature in blue ink, consisting of stylized letters.

# Результаты работы алгоритма при ОСШ = 1

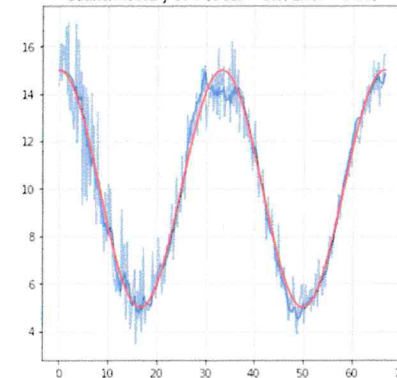
Траектория движения вертолета (ОСШ = 1.0, Error = 0.95)



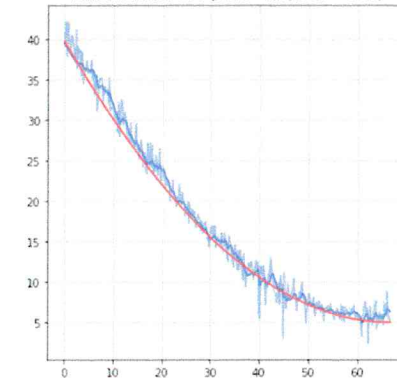
Зависимость x от T (ОСШ = 1.0, Error = 0.39)



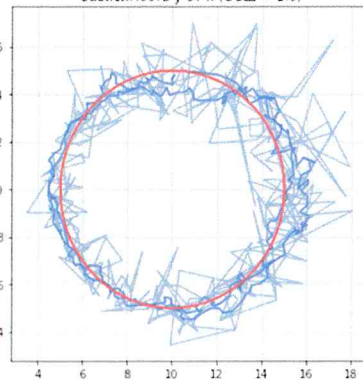
Зависимость y от T (ОСШ = 1.0, Error = 0.29)



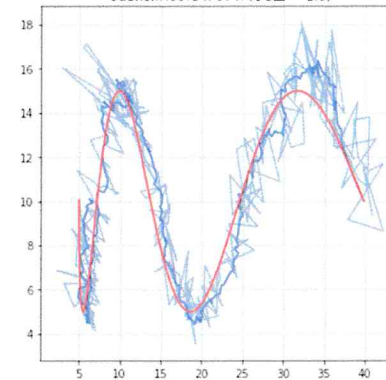
Зависимость h от T (ОСШ = 1.0, Error = 0.72)



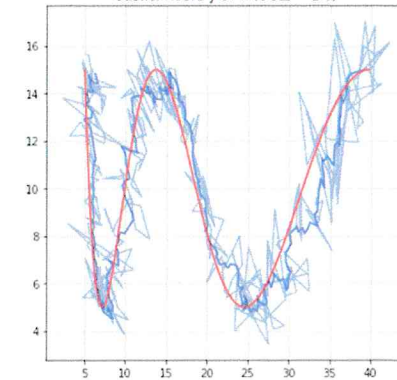
Зависимость y от x (ОСШ = 1.0)



Зависимость x от h (ОСШ = 1.0)



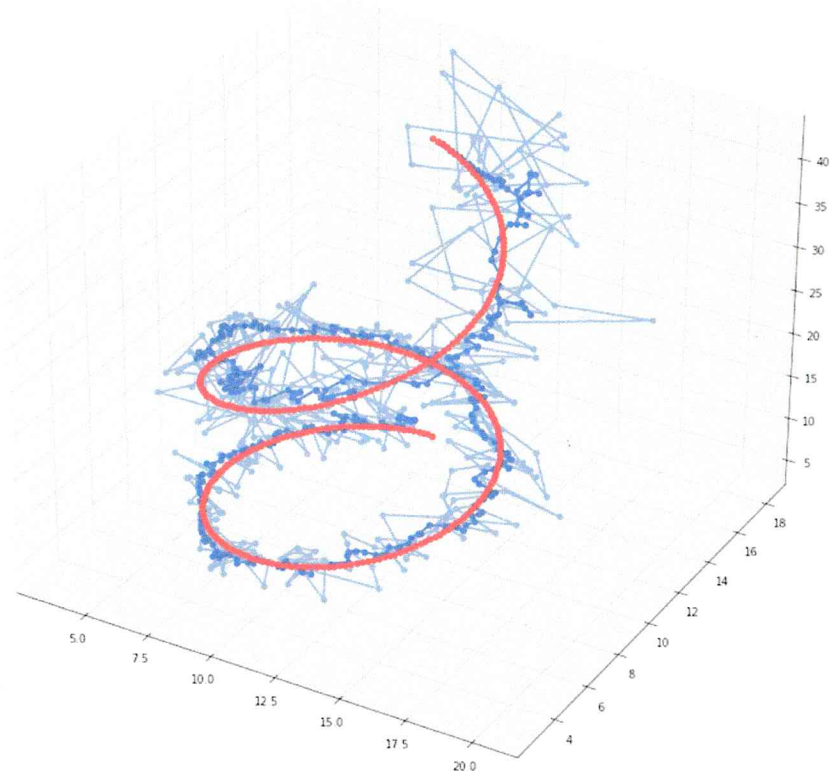
Зависимость y от h (ОСШ = 1.0)



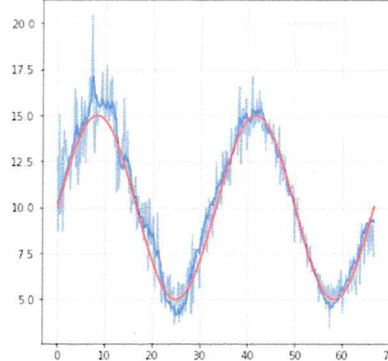
Handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'U' shape above a cursive 'G'.

# Результаты работы алгоритма при ОСШ = 0.8

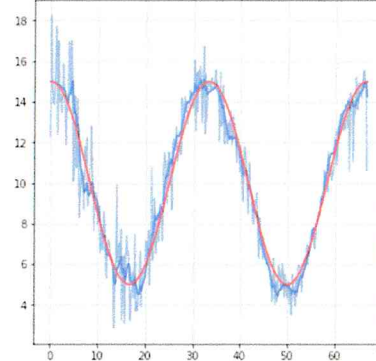
Траектория движения вертолета (ОСШ = 0.8, Error = 1.31)



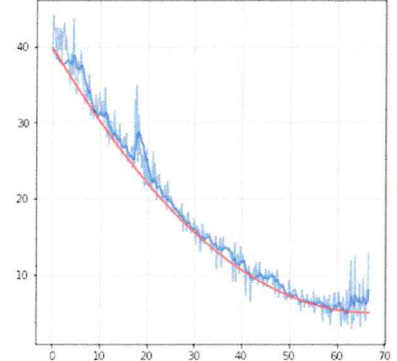
Зависимость x от T (ОСШ = 0.8, Error = 0.46)



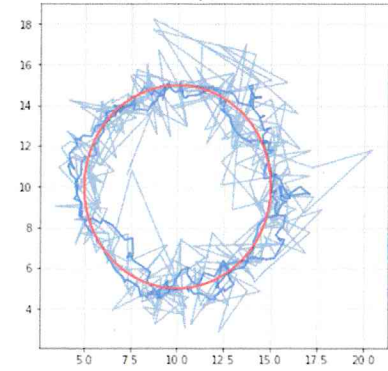
Зависимость y от T (ОСШ = 0.8, Error = 0.42)



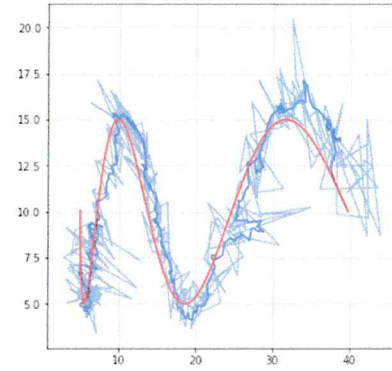
Зависимость h от T (ОСШ = 0.8, Error = 1.02)



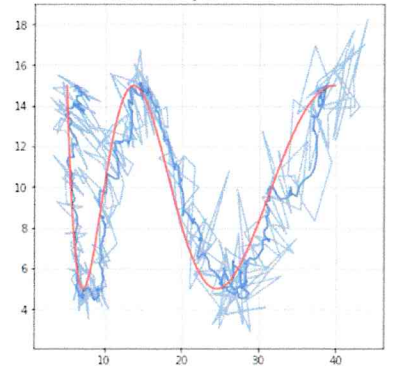
Зависимость y от x (ОСШ = 0.8)



Зависимость x от h (ОСШ = 0.8)



Зависимость y от h (ОСШ = 0.8)

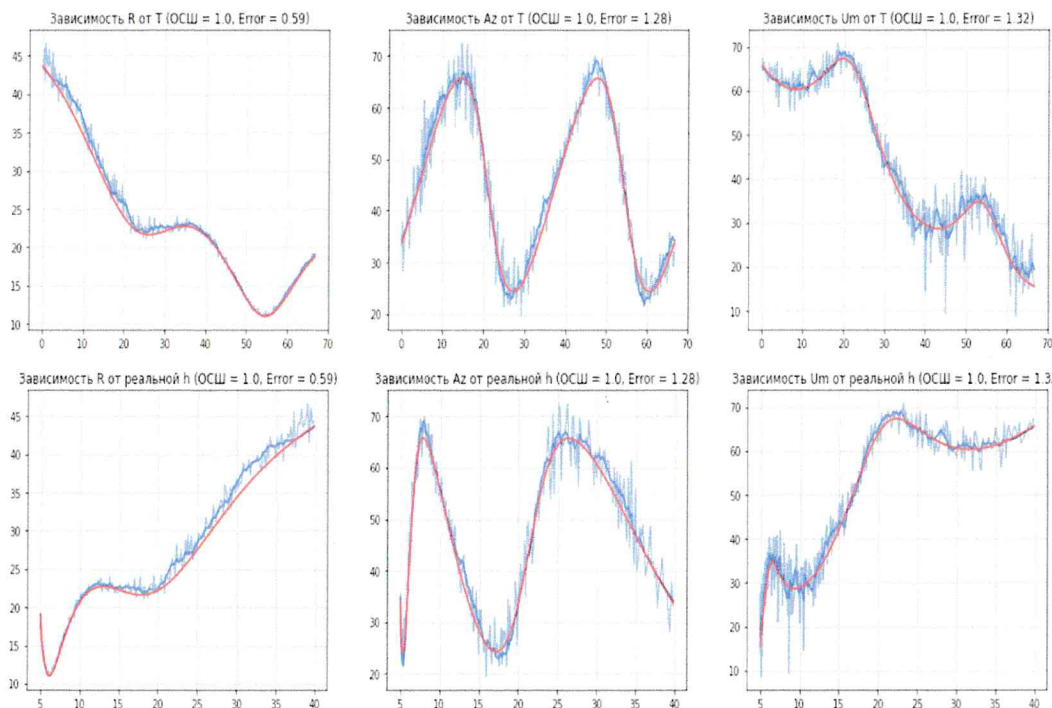


Handwritten signature and initials in blue ink, located in the bottom right corner of the page.

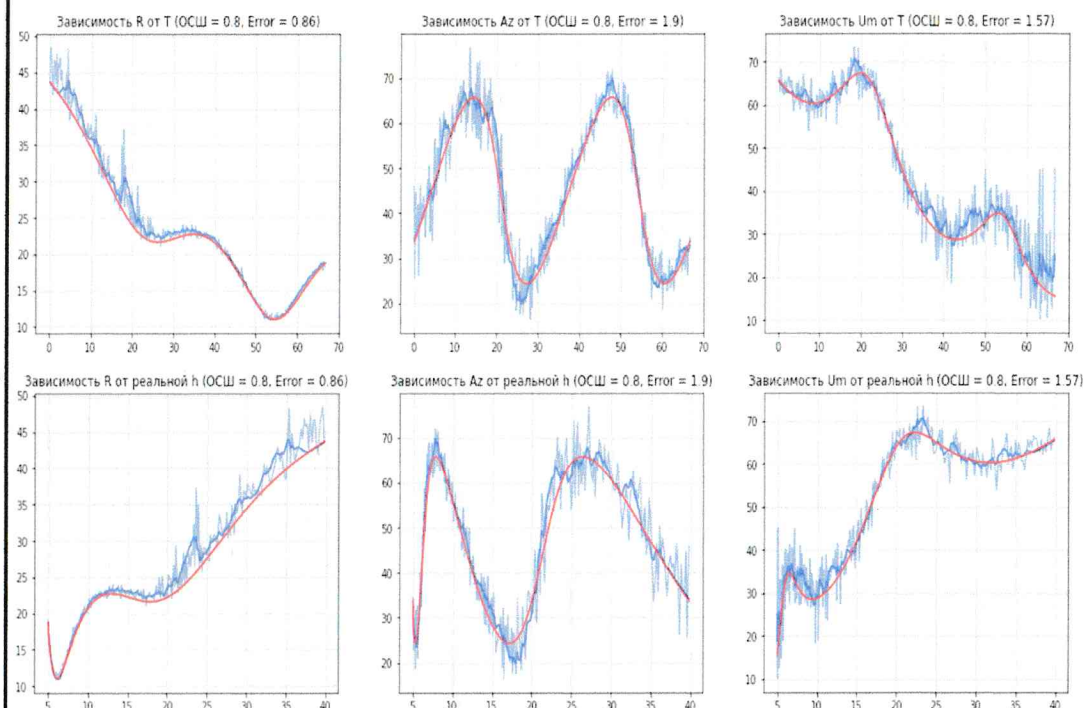


# Результаты работы алгоритма. Определение дальности, азимута и угла места

ОСШ = 1



ОСШ = 0.8



Изменение дальности, угла азимута и угла места от времени и высоты. Результаты применения алгоритма с использованием фильтра Калмана и без него

*[Handwritten signature]*  
*[Handwritten initials]*

## Выводы

- Рассмотрена система антенн, расположенных на лопастях вертолетного винта.
- Представлен алгоритм, позволяющий с помощью такой системы антенн определять координаты источника излучения радиосигнала с высокой точностью.
- Система может быть использована для обеспечения навигации и посадки в сложных метеоусловиях, а также в поисково-спасательных операциях.

## Публикации по работе

- Сборник тезисов 19-ой Международной конференции «Авиация и космонавтика» 23-27 ноября 2020 года, Москва, МАИ  
<https://aik.mai.ru/files/abstracts2020.pdf>
- 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. Publisher: IEEE. 7 May 2021. Moscow, Russia.  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9416058>

## Список использованных источников

14

1. A. S. Gribanov, Radio-electronic surveillance equipment placed on a helicopter, Foreign radio electronics. No. 12, pp. 15-33, 1991.
2. А.Ф. Котов, В.Б. Гребенников, А.Н. Королев, Радиотехнические системы координатометрии: Учеб, пособие / Моек, ин-т радиотехники, электроники и автоматики. -М., 1992. -79 с.
3. A.S. Gribanov, Yu.P. Panarin, E.V. Sveshnicov. Possible determinations of the coordinates of a source of radiation on the ground from a helicopter. Radio and Communications Technology. Vol. 1, No. 5, 1996, pp. 97-103.
4. A.S. Gribanov. "Automatic Landing of a Helicopter", 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), 2019
5. Е.А. Володин, А.С. Грибанов, А.С. Коренков, Ю.В. Невзоров, Система автоматической посадки беспилотного летательного аппарата. Успехи современной радиоэлектроники / №2 за 2014 г. / с. 38-42.
6. А.С. Грибанов, А.Г. Ефимов, И.В. Нелин, ПОСАДКА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ ОТСУТСТВИИ ВИДИМОСТИ/ Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 2. С. 64-68.
7. К.Ю. Буланов, Д.А. Охотников, А.С. Грибанов, Алгоритм определения координат источника радиосигнала с помощью антенн, расположенных на лопастях вертолетного винта. 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 23-27 ноября 2020 года. Москва. Тезисы. – М.: Издательство «Перо», 2020, 451– 452 с.
8. Ю.А. Тяпченко, Л.В. Гаршин, Средства и методы обеспечения визуальной посадки вертолетов на палубы морских судов// Материалы II межрегиональной научно-практической конференции «Прикладная психология как ресурс социально-экономического развития России в условиях преодоления глобального кризиса» книга 2, стр. 100-103. Изд. МГУ. 2010 г.
9. М.С. Виноградов, Система автоматической посадки вертолета в различных метеорологических условиях, МАТЕРИАЛЫ XIII МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКЕ И МЕХАНИКЕ В АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ (АММА'2020) Москва, 2020, Издательство: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (Москва)
10. E.V. Chebakov, A.V. Nenarokomov, I.V. Krainova, D.L. Reviznikov, Attitude control system of a microsatellite based on the inverse problems technique and the Kalman filter (2020) Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC, 2020-October.
11. К.А. Кузьмин, И.В. Нелин, В.А. Скуратов, Механизмы использования нейросетевых технологий для фильтрации радиосигналов, Научно-технический вестник Поволжья. 2017. № 4. С. 72-74.
12. Б.Г. Татарский, Д.А. Ясенцев, Влияние траекторных нестабильностей на характеристики РЛС с синтезирование апертуры антенны за счет вращения фазового центра реальной антенны, Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Т. 10. № 1. С. 3-9.
13. Б.Г. Татарский, Е.В. Майстренко, Д.А. Ясенцев, Селекция движущихся наземных целей в режиме синтезирования апертуры антенны при комбинированной поступательно-вращательной траектории движения фазового центра, Информационно-измерительные и управляющие системы. 2016. Т. 14. № 1. С. 21-29.
14. Д.А. Ясенцев, А.В. Сергеев, Исследование особенностей траекторного сигнала при вращении фазового центра реальной антенны и наблюдении наземных движущихся целей, Успехи современной радиоэлектроники. 2018. № 10. С. 60-66.

