

БЕСПИЛОТНАЯ АВИАЦИЯ - 2025

XII Евразийский международный форум и выставка
25 апреля 2025, Москва



АСТРОНАВИГАЦИЯ В БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ: ОБУЧЕНИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ

Александр Федотовских

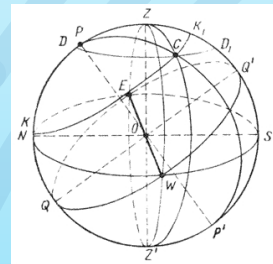
Председатель Комитета по транспорту РСПП Заполярья, преподаватель АУЦ,
член Общественного совета Федерального агентства воздушного транспорта,
д.т.н., член-корреспондент АЭН РФ

АВИАЦИОННАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ НАВИГАЦИЯ

Раздел навигации, рассматривающий принципы построения астронавигационных систем и методы их использования для навигации летательных аппаратов, а также совокупность операций по определению в полёте положения летательного аппарата относительно земной поверхности с помощью астрономических средств и методов



Авиационная астрономия – наука, изучающая теорию использования небесных светил для управления летательным аппаратом, астрономические средства и практику их применения. Летательные аппараты оборудованы сложными навигационными комплексами, где наряду с другими приборами и устройствами применяются астрономические средства

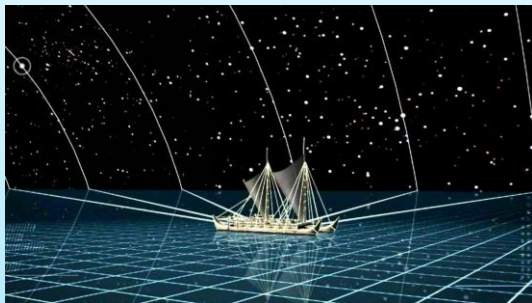


ААН используется в основном при полетах на больших высотах, в высоких широтах, в условиях отсутствия других навигационных средств или в качестве дополнения к основным системам



ИСТОРИЯ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИИ ЛА

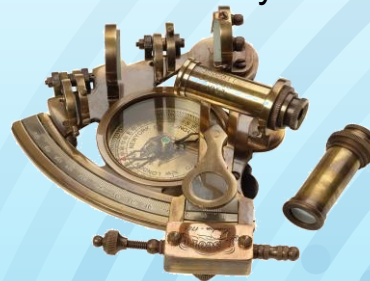
С древних времен звезды служили ориентирами для мореплавателей и путешественников



Астронавигация получила широкое применение в конце XIX - начале XX века при построении Астрономо-геодезических сетей



Авиационная астронавигация появилась в конце XIX века с развитием воздухоплавания, а активное применение получила в 1920 - 1940 гг.



Авиационная астронавигация как отдельное научно - практическое направление сложилось к 1960 - 1970 гг.



АСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СРЕДСТВА (АНС)

К астрономическим навигационным средствам (АНС) управления летательных аппаратов (ЛА) относятся:

1 Астрономические ориентаторы для определения координат местонахождения ЛА

2 Астрономические компасы для определения истинного или ортодромического курсов ЛА

Астрономические навигационные системы

АНС подразделяют на три вида в зависимости от методов астрономической ориентировки, положенных в их основу:

1
Секстанты и астроориентаторы горизонтальной системы координат

2
Астроориентаторы экваториальной системы координат

3
Астроориентаторы гелиоцентрической системы координат

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ АНС

ПРЕИМУЩЕСТВА



1. Практически постоянная и сравнительно высокая точность определения места ЛА и курса независимо от дальности, продолжительности и характера полета.
2. Полная независимость от наземных средств обеспечения вождения ЛА и, как следствие этого, почти абсолютной устойчивостью по отношению к искусственной создаваемым помехам.
3. Сравнительная простота конструкции и высокая степень надежности.

НЕДОСТАТКИ



1. Невозможность использовать АНС при полетах в облаках и под облаками.
2. Применение в дневное время (при видимости только одного светила – Солнца) ограничено.

Но недостатки преодолены с применением:

1. Частичных или полностью автоматизированных приборов и систем.
2. Радиоастрономических приборов, использующих радиоизлучение небесных светил.
3. Сочетания астрономических методов определения линии положения ЛА по небесным телам с другими средствами, позволяющими определить вторую линию положения, а значит, и место ЛА.

ПРИНЦИП РАБОТЫ АВИАЦИОННЫХ АНС

Все методы АН основаны на получении поверхностей положения.

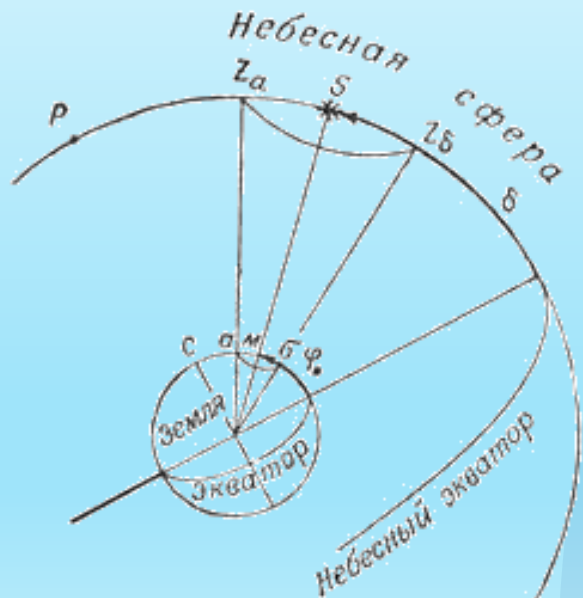
Измеренную координату небесного тела используют как поверхность положения.

Количество поверхностей положения, используемых одновременно для навигации, должно быть не менее числа определяемых координат местонахождения.

В ААН ограничиваются определением только двух координат местонахождения (широты и долготы), используя для этого две астрономические поверхности положения.

Пересечения этих поверхностей положения с земной поверхностью образуют две линии положения. Точка пересечения этих линий определяет искомые местонахождения.

Для определения третьей координаты – высоты полета – могут быть использованы барометрические, радиотехнические, радиолокационные, инерциальные, ультразвуковые и другие высотомеры.



СПИСОК НАВИГАЦИОННЫХ ЗВЁЗД

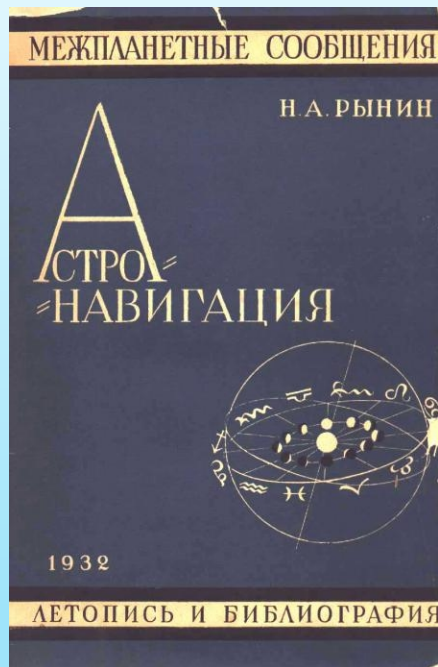
58 звёзд имеют особый статус в области астрономической навигации

В **России** используются **13** звёзд:
Полярная; Арктур; Вега; Капелла;
Поллукс; Альтаир; Регул; Альдебаран;
Денеб; Бетельгейзе; Процион;
Альферац; Алиот.

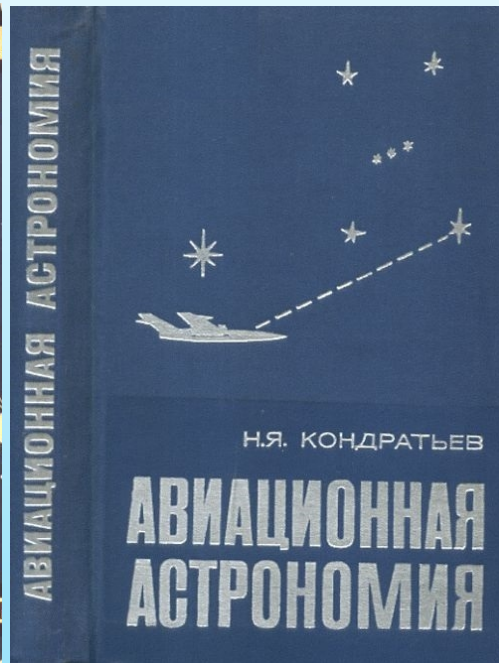
К этим звёздам добавляются ещё
5 звезд южного полушария неба:
Сириус, Ригель, Антарес, Спика,
Фомальгаут.



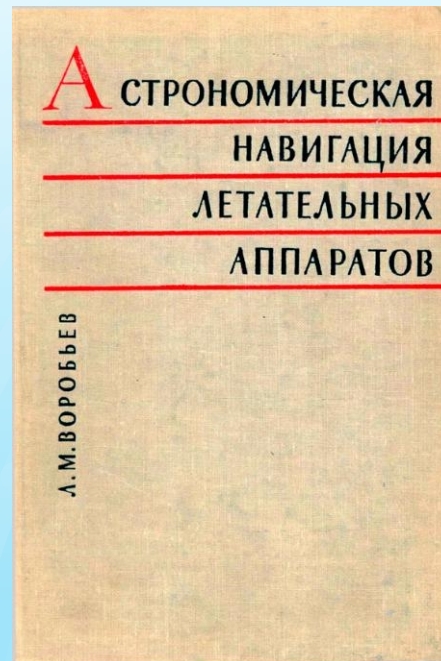
УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ И КНИГИ



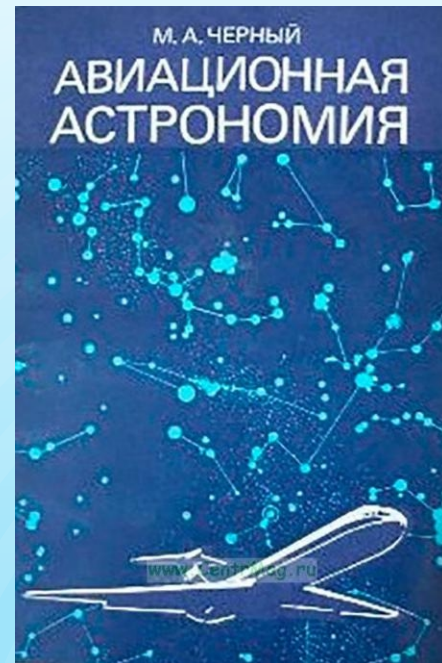
Издательство
Академии наук СССР,
Ленинград, 1932



Издательство
Минобороны СССР,
Москва, 1952, 1959, 1969



Издательство
«Машиностроение»
Москва, 1968



Издательство
«Транспорт»,
Москва, 1978

ААН В АВИАЦИИ АРКТИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

На самолетах Ан-2, Ан-24 (26, 32), Ан-72, Ан-74, эксплуатируемых в полярных районах за 70-й широтой, используются переносные приборы астрокомпас АК-59 и астросекстант АС-2, которые входят в экипировку штурмана



ААН В АВИАЦИИ АРКТИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

На самолетах Ан-22, Ту-134Ш используется астроориентатор БЦ-63А

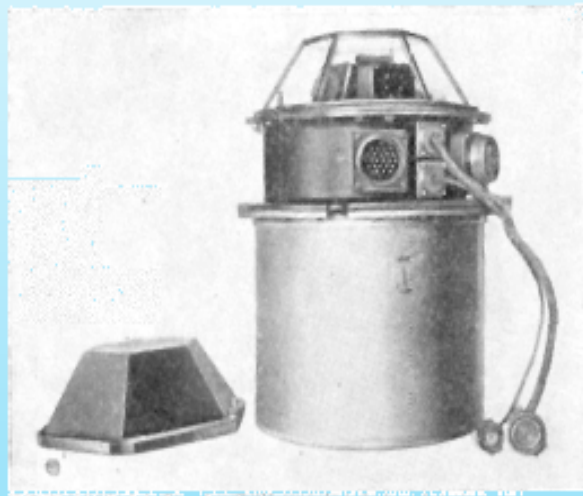


Рис. 8.6. Автоматический секстант астроориентатора БЦ-63А

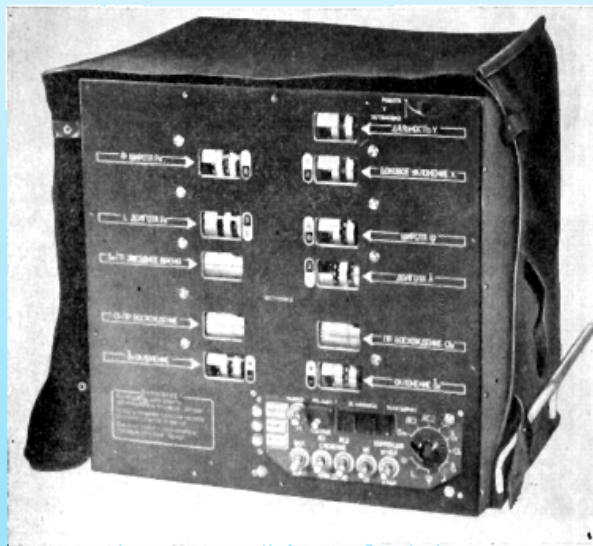


Рис. 8.5. Вычислитель астроориентатора БЦ-63А

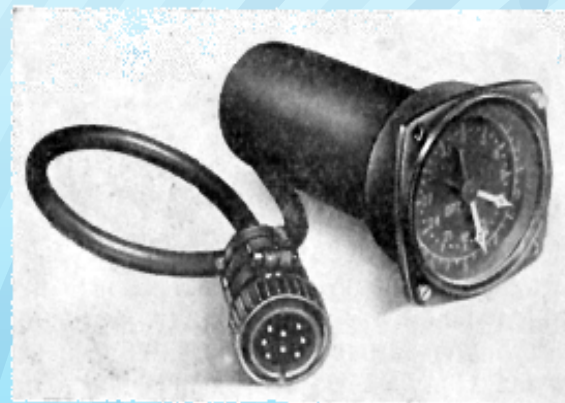
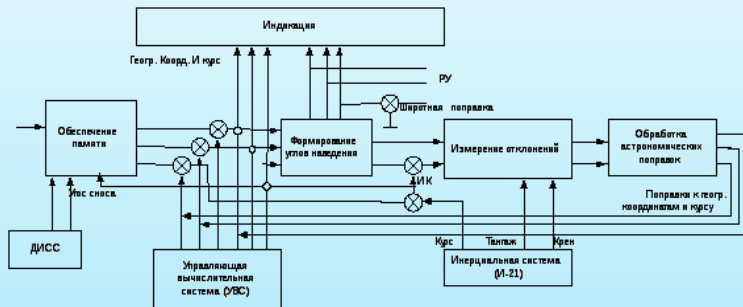


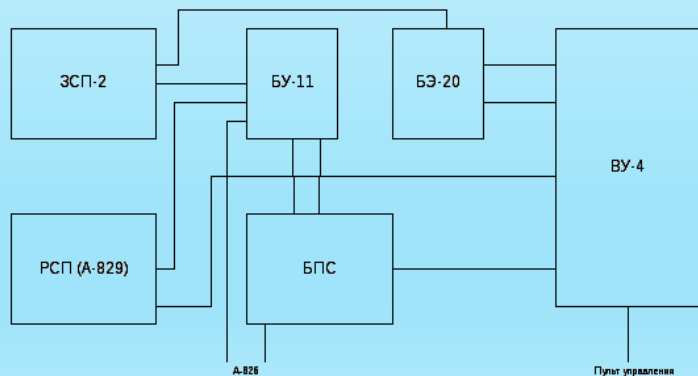
Рис. 8.7. Указатель курса астроориентатора БЦ-63 63А)

ААН В АВИАЦИИ АРКТИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

На самолете Ан-124 используется астронавигационная система (АНС-3) А-829



Структурная схема, объясняющая принцип действия АНС



Структурная схема АНС А-829

ЗСП - звездно-солнечный пеленгатор, РСП - радиосолнечный пеленгатор, БУ-11 - блок управления, БЗ-20 - блок электроники, БПС - блок преобразования сигналов, ВУ-4 - вычислительное устройство.



ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ АВИАЦИОННОЙ АН

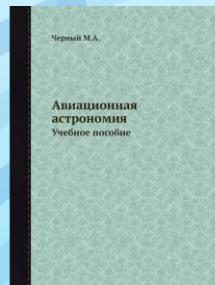
1

Нехватка новых разработок и новых приборов, основанных на современных информационных технологиях и радиоастрономии



2

Отсутствие новых книг и учебных пособий. Обучение происходит на репринтах изданий 1960 - 1970 гг.



3

Авиационная астронавигация не используется в беспилотной гражданской авиации



ОСОБЕННОСТИ НАВИГАЦИИ БВС

Сложности (особенности) навигации и управления беспилотными ВС в Арктике и на Крайнем Севере



- Экстремальные климатические условия (сложными метеоусловиями в течение 8-9 месяцев)
- Отсутствие стационарной наземной инфраструктуры
- Нехватка естественных и искусственных ориентиров
- Долгая продолжительность полярной ночи
- Неустойчивость работы магнитных компасов и средств связи, в т.ч. спутниковой системы навигации GPS/ГЛОНАСС
- Дрейф ледяного покрова и его состоянием
- Другие особенности полярных широт

ТРЕБОВАНИЯ К БАС ДЛЯ СЕВЕРА И АРКТИКИ



1 Производство и эксплуатация на основе доступных технологий / стоимость



2 Расширение пределов климатической эксплуатации



3 Увеличение энерговооруженности, дальности и скорости полета



4 Увеличение грузоподъемности



5 Точность навигации и безопасное пилотирование



6 Создание многоцелевых и модульных БВС



7 Автономность / использование технологий искусственного интеллекта

Сдерживающий фактор - отсутствие у возможных конечных эксплуатантов техники практического опыта эксплуатации БАС, отсутствие теоретически обоснованных рекомендаций по выбору беспилотной техники и аппаратуры с определенными параметрами для выполнения необходимых задач.

НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ «ПОЛЯРНЫХ» БВС

ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ

Входные параметры

воздушная и путевая скорость
высота полета (давление)
ориентация планера в пространстве (курс, крен)
заряд батареи (напряжение и сила тока)
степень обледенения (температура наружного воздуха, влажность воздуха)
качество сигнала с камеры
движение (датчик движения круговой)
количество топлива в баке (ДВС)
иной сигнал 1
иной сигнал 2

Нейронные сети



Выходные сигналы

увеличение или уменьшение скорости
снижение или набор высоты
изменение курса или крена в градусах
изменение энергопараметров (уменьшение тяги двигателей, отключение источников и т.д.)
команда на снижение или посадку, изменение оборотов двигателей
команда на снижение или посадку
изменение крена или курса
поиск возможностей для дозаправки или смена курса
иной сигнал 1
иной сигнал 2

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

```
0 []: df = pd.read_csv('train_uav_dataset.csv')
x_train=df[['uav current speed','pressure change','wind speed']] #считывание данных для обучения
y_train=df['gust speed']
ddf = pd.read_csv('test_uav_dataset.csv')
x_test=ddf[['uav current speed','pressure change','wind speed']] #считывание данных для проверки качества модели

0 []: normalized_xtrain = preprocessing.normalize(x_train)
standardized_xtrain = preprocessing.scale(x_train) #стандартизация данных
normalized_xtest = preprocessing.normalize(x_test)
standardized_xtest = preprocessing.scale(x_test)

0 []: model = Sequential() #создание модели сети
model.add(Dense(15, activation='linear', input_shape=(standardized_xtrain.shape[1],)))
model.add(Dense(25, activation='linear'))
model.add(Dense(20, activation='linear'))
model.add(Dense(1, activation='linear'))

0 []: opt=optimizers.Adam(learning_rate=0.01, beta_1=0.9, beta_2=0.999, amsgrad=False)
model.compile(optimizer=opt, loss='mse', metrics=['RootMeanSquaredError']) #обучение модели

0 []: prediction_gustspeed = model.predict(standardized_xtest) #предсказание для порыва ветра
```

Снос ветра

```
df = pd.read_csv('train_uav_dataset.csv')
x_train=df[['temperature','humidity','wind speed']] #считывание данных для обучения
y_train=df['icing intensity']
ddf = pd.read_csv('test_uav_dataset.csv')
x_test=ddf[['temperature','humidity','wind speed']] #считывание данных для проверки качества модели
normalized_xtrain = preprocessing.normalize(x_train)
standardized_xtrain = preprocessing.scale(x_train) #стандартизация данных
normalized_xtest = preprocessing.normalize(x_test)
standardized_xtest = preprocessing.scale(x_test)

model = Sequential() #создание модели сети
model.add(Dense(25, activation='relu', input_shape=(standardized_xtrain.shape[1],)))
model.add(Dense(35, activation='relu'))
model.add(Dense(45, activation='relu'))
model.add(Dense(20, activation='relu'))
model.add(Dense(1, activation='relu'))

opt=optimizers.Adam(learning_rate=0.001, beta_1=0.9, beta_2=0.999, amsgrad=False)
model.compile(optimizer=opt, loss='mse', metrics=['RootMeanSquaredError']) #обучение модели
prediction_icing_intensivity = model.predict(standardized_xtest) #вывод предсказания для искомого параметра
```

Обледенение

```
def SensorRemainingTimeMalFunction:
    prediction_RemainingFlightTime = model.predict(standardized_xtest) #предсказание для оставшегося времени полета
    SensorValue_RemainingFlightTime = ReturnSensorValue() #получаем значение оставшегося времени полета с датчика
    a = prediction_RemainingFlightTime/SensorValue_RemainingFlightTime*100
    if (85<a<115): #если значения с датчика и предсказанное значение отличаются больше чем на 15%,
        return (a-100) #то функция возвращает это значение в процентах
```

Состояние аккумуляторов / запас дальности

АСТРОНАВИГАЦИЯ В БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ

Алгоритм работы авиационной АНС

1 Наличие на борту БВС гиростабилизированной влагонепроницаемой камеры кругового обзора или вертикальной направленности с многократным зумом и высокой четкостью (4K, 8K)



2 Для тестовых полетов, в случае возможности передачи изображения онлайн, идентификация звёзд вручную, поиск перебором звёздных паттернов в астрономических каталогах



АСТРОНАВИГАЦИЯ В БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ

Алгоритм работы авиационной АНС

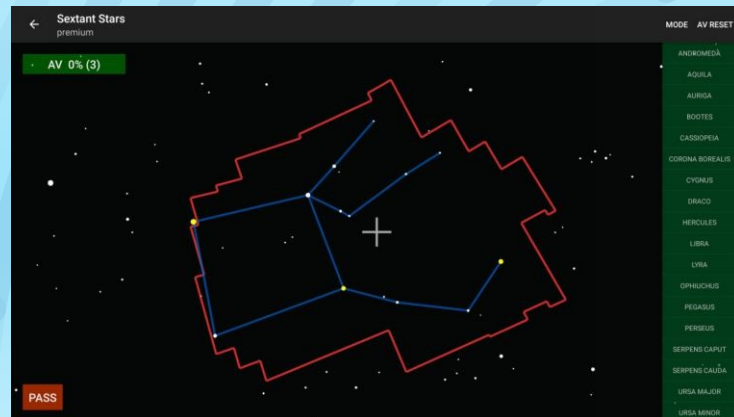
3

Использование технологий машинного (компьютерного) зрения и глубинного обучения (например, выделение наиболее ярких объектов)



4.1

Для определения углов наведения на объект в вычислитель (искусственная нейронная сеть) навигационного комплекса поступают координаты летательного аппарата от эмулятора секстанта (ПО), или же они вычисляются по данным датчиков скорости и курса (классическая АНС)

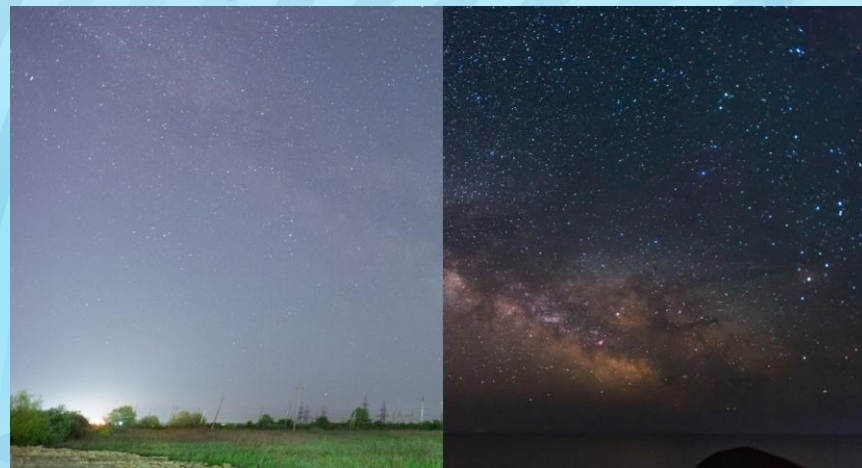
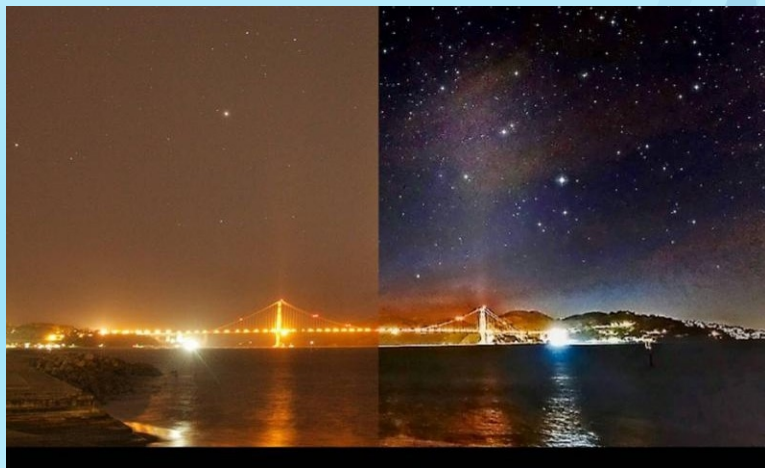


АСТРОНАВИГАЦИЯ В БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ

Алгоритм работы авиационной АНС

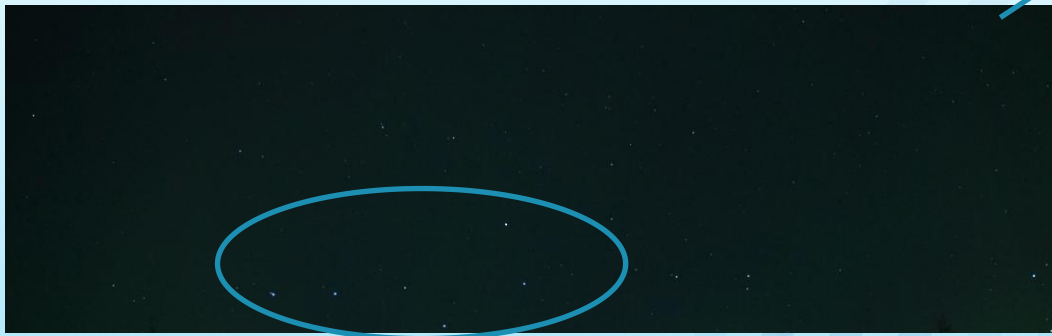
4.2

Определение координат по «сырым», необработанным изображениям звёздного неба на основе сравнения и анализа предварительно сделанных фотографий (карт) звёздного неба и фотографий с камеры в данный момент времени в данной точке пространства (АНС на основе машинного обучения) по 2-3 из 13 навигационных звезд

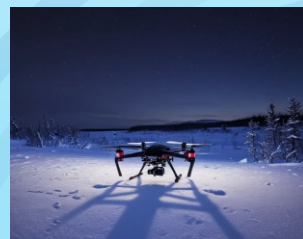
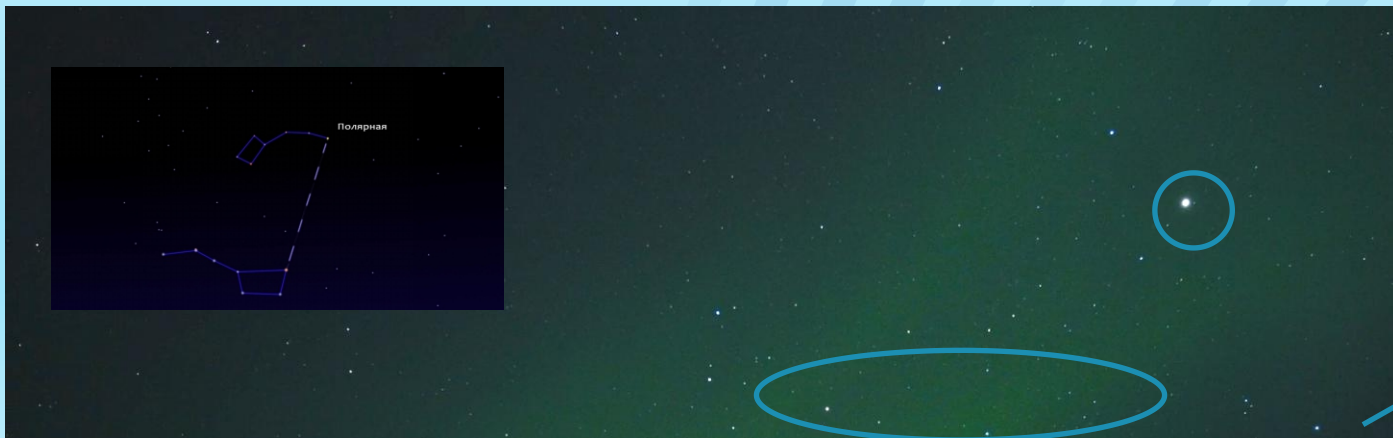
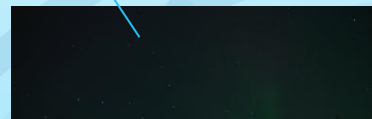
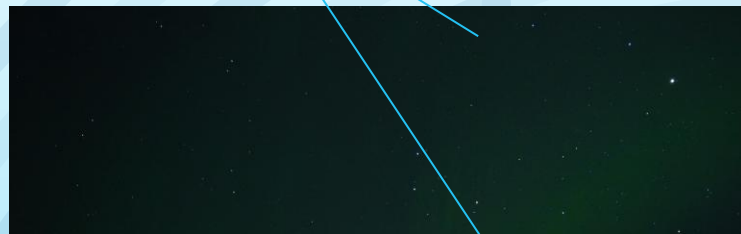


АСТРОНАВИГАЦИЯ В БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ

Примеры определения звезд с БВС



Реальное фото
небосвода в
полярную ночь



Обработанное
фото

ИТОГИ И ВОЗМОЖНОСТИ АСТРОНАВИГАЦИИ ДЛЯ БАС

- 1** Проведены тестовые полеты в условиях Крайнего Севера с искусственной нейронной сетью на борту БВС на основе компьютера NVIDIA Jetson.
- 2** Работа бортовых астронавигационных систем нестабильна в связи с неподходящими метеоусловиями и недостаточным дата-сетом для сравнения. Точность определения координат невысокая.
- 3** Определение координат в пространстве возможно только при использовании нескольких навигационных систем (спутниковые, инерциальные, магнитные).
- 4** Необходимо использование компьютерной астронавигации и симуляции полетов с астронавигацией совместно с разработкой специального софта.
- 5** Астронавигация по-прежнему является важным компонентом авиационной навигации, особенно в дальних полетах и в экстремальных условиях, однако, для беспилотных авиационных систем требует новых технологий, основанных на системах искусственного интеллекта и распознавания объектов звездного неба.

ДОБРО ПОЖАЛОВАТЬ В АРКТИКУ!

www.rspp-arctic.ru
fav@rspp-arctic.ru

