

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.12.8>

УДК: 53.084

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ПОВОРОТА БЕСПИЛОТНОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА ПО ДАННЫМ РАДИОУГЛОМЕРА

А. Т. Макридин, Р. Р. Латыпов, И. В. Скворцов, О. Н. Шерстюков

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18

Статья поступила в редакцию 18 декабря 2021 г.

**Аннотация.** В данной статье представлено устройство определения углов положения БВС на основе малогабаритной радио угломерной системы с наземным передатчиком. Для этого использована антенная система с тремя взаимно ортогональными антеннами и многоканальный цифровой приемник прямого преобразования. Подобные системы также могут использоваться для определения источников радиосигналов.

**Ключевые слова:** радиоугломер, углы Эйлера, беспилотное воздушное судно.

**Abstract.** In this paper a device for determining the angles of the UAV position based on a small-sized radio goniometric system with a ground transmitter are presented. We use an antenna system with three mutually orthogonal antennas and a multichannel direct conversion digital receiver. Similar systems can also be used in radio inclinometry.

**Key words:** radiogoniometr, Euler angles, UAV.

### Введение.

Для определения местоположения объектов, являющихся носителями источника радиоизлучения, в радиолокации используются методы, основанные на измерении разностей расстояний, разностей доплеровских сдвигов частот, углов прихода. Обзор этих методов приведен в статье [1]. При использовании

метода, основанном на измерении углов прихода, требуется найти пространственные углы наклона объекта относительно выбранной системы координат при известных координатах источника излучения. На объекте расположено малогабаритное антенное устройство. Подобные подходы в случае подвижных объектов реализованы в работах [2, 3].

### 1. Малогабаритное антенное устройство.

Применение малогабаритного антенного устройства с тремя взаимно перпендикулярными антеннами позволяет геометрически разложить вектор направления электромагнитной волны на три ортогональные компоненты. Зафиксировав значения амплитуд компонент в один и тот же момент времени, становится возможным восстановить полный вектор электромагнитного (ЭМ) поля. На рис. 1 схематично изображены две системы координат, одна из которых связана с точкой на земле (которая имеет свои координаты и ось  $x$  ориентирована на север), вторая вращающаяся с известными координатами, но неизвестными углами поворота относительно первой. Измеряя вектор  $r$  непосредственно во второй системе и учитывая, что вектор  $r$  является продолжением вектора  $R$  (который нам известен) можно получить необходимые углы поворота одной системы относительно другой. Указанные углы поворота и будут углами ориентации беспилотного воздушного судна (БВС), т.к. вторая система непосредственно связана с корпусом БВС.

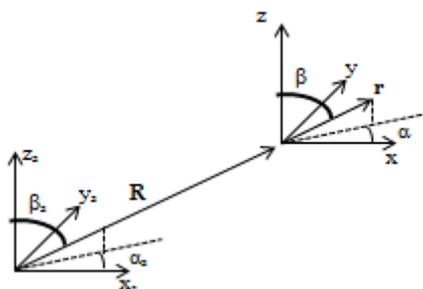


Рис. 1. Определение угла поворота БВС.

Блок-схема системы определяющего углы прихода радиоволны представлена на рис. 2.

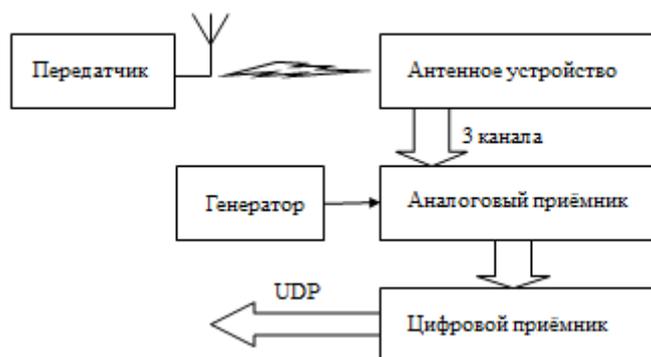


Рис. 2. Блок-схема устройства системы определения углов поворота БВС.

Система состоит из двух частей, первая, установлена на земле в точке с известными координатами, антенное устройство имеет круговую диаграмму направленности; вторая, установлена на БВС и содержит антенное устройство из трех независимых взаимно перпендикулярных антенн, аналоговый приемник диапазона 868 МГц, переносящий частоту и цифровой приемник с вычислителем, выход которого через UDP подключается к системам БВС.

На рис. 3 представлена блок-схема передающего тракта. Микросхема ADF4350 представляет собой генератор с системой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Управлением микроконтроллером STM32F103 осуществляется настройка генерации синусоидального сигнала на частоте 868 МГц. Сигнал с ADF4350 фильтруется с использованием (поверхностных акустических волн) ПАВ фильтра. В дальнейшем сигнал усиливается и передается в среду через передающую антенну.

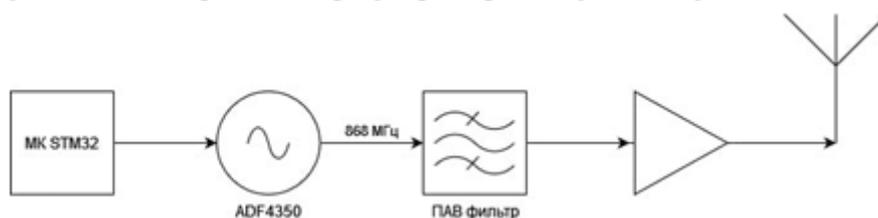


Рис. 3. Блок-схема передатчика.

На рис. 4 представлена блок-схема аналогового приемника. Он состоит из входного фильтра несущей частоты на 868 МГц, мало шумящего усилителя, смесителя, ФАПЧ, микроконтроллера STM32, усилителя промежуточной частоты, фильтра промежуточной частоты 20 Гц. Входной фильтр, ФАПЧ и микроконтроллер (МК) работает аналогично передающему тракту.

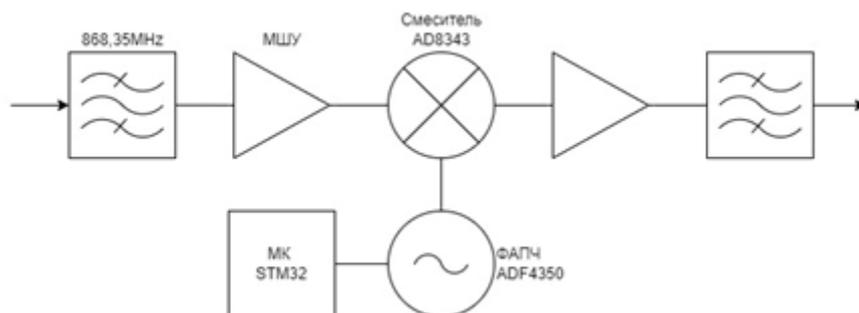


Рис. 4. Блок-схема аналогового приемника.

## 2. Цифровой приемник.

В работе используется 24-битный (аналого-цифровой преобразователь) АЦП от Analog Devices для реализации трехканального цифрового приемника (рис. 5). Преобразованные 24-битные данные выводятся в формате дополнительного кода с использованием 16-битного двунаправленного параллельного интерфейса. Чтобы настроить АЦП используется 16-битная двунаправленная шина, которая позволяет настраивать преобразователи для определенных функций или операций через регистры управления, предусмотренных внутри АЦП [4]. Это позволяет настроить тактирование микросхемы, режим сигнала и прочее. Формат слова включает 32 бита, поэтому для программирования регистра требуется две операции записи. Первая запись содержит адрес регистра, вторая запись содержит сами данные. В это время линия RD/WR должна находиться в уровне логической единицы. В качестве дифференциального преобразователя используется драйвер AD8138 [4]. AD7760 имеет встроенный дифференциальный усилитель.

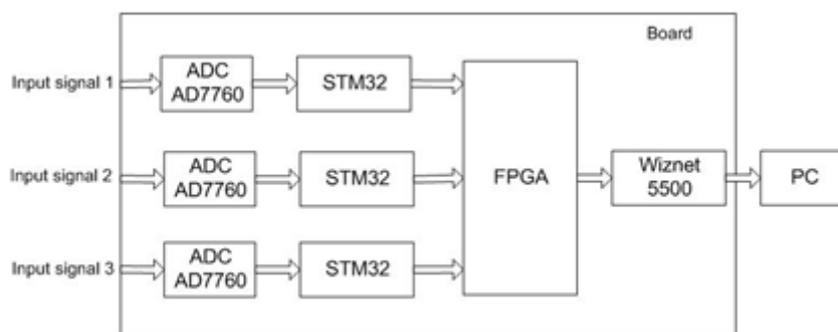


Рис. 5. Блок-схема устройства

## Заключение.

Представленная в статье система позволяет за счет непосредственной связи антенной системы с корпусом БВС определить углы Эйлера при знании координат БВС. Использование многоканального приемника с независимыми АЦП позволяет обеспечить синхронность фиксации амплитуд радиосигнала на лучах антенны и высокую точность определения углов. Подобные системы также могут использоваться для определения источников радиосигналов.

## Финансирование.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение от 26.11.2019 г. №075-11-2019-038 «Разработка многофункционального аппаратно-программного комплекса на основе беспилотных воздушных судов для планирования и сопровождения сейсморазведочных работ»).

## Литература

1. Покатаев Д. Обзор способов точного позиционирования персонала на основе современных методов определения координат. *Вестник электроники*. 2019. №1(65). С.56-63.
2. Давыденко А.С., Макаров С.Б. Применение метода эталонной разности фаз для определения пространственной ориентации объекта. *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. 2013. №2(169). С.39-46.

3. Паршин Ю.Н., Льюнг Ч.В. Разработка гиперболического алгоритма определения координат источника радиоизлучения. *Вестник РГРТУ*. 2013. №1(43). С.32-66.

4. *Analog-to-digital converter AD7760 datasheet*. Analog Devices. 2006. 23 p.

**Для цитирования:**

Макридин А.Т., Латыпов Р.Р., Скворцов И.В., Шерстюков О.Н. Определение угла поворота беспилотного воздушного судна по данным радиогломера. *Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]*. 2021. №12. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.12.8>