

## АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ВИДОВ ПОГРЕШНОСТЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАДИОКОМПАСА

**Мухаммедов Абдулазиз Улугбекович, магистрант Ташкентского государственного технического университета, Ташкент, Узбекистан**

**Аннотация.** Автоматический радиокompас (АРК) представляет собой следящую систему автоматического управления направленной антенной, которая обеспечивает установку ее конструктивных осей в направлении на пеленгуемую радиостанцию с точностью 2-3°. Чувствительным элементом следящих систем является направленная антенна. Роль антенны в гониометрической систем выполняют две взаимно перпендикулярные, неподвижные рамки, которые жестко закреплены на фюзеляже и ось симметрии одной из них ориентирована по продольной оси воздушного судна. В статье проанализированы основные виды погрешностей автоматического радиокompаса, а также рассмотрены методы борьбы с основными погрешностями.

**Ключевые слова:** радиокompас, погрешность, надежность, точность, направленная антенна

## ANALYSIS OF THE MAIN TYPES OF AUTOMATIC RADIO COMPASS ERRORS

**Mukhammedov Abdulaziz Ulugbekovich, undergraduate student of the Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan**

**Abstract.** Automatic radio compass (ARC) is a tracking system for automatic control of a directional antenna, which ensures the installation of its structural axes in the direction of the direction-finding radio station with an accuracy of 2-3 °. The sensing element of tracking systems is a directional antenna. The role of the antenna in the goniometric systems is performed by two mutually perpendicular, fixed frames, which are rigidly fixed on the fuselage and the symmetry axis of one of them is oriented along the longitudinal axis of the aircraft. The article analyzes the main types of errors in the automatic radio compass, and also considers methods for dealing with the main errors.

**Key words:** radio compass, error, reliability, accuracy, directional antenna

На современном этапе человеческого развития к радионавигационным системам, средствам и приборам предъявляется все больше требований, что обусловлено повышением требований к оперативности обработки информационных сведений, надежности, объему и точности получаемых сведений, а также увеличением интенсивности использования таких технологий. Выделенные обстоятельства усложняют деятельность современных пилотов по обеспечению навигационной безопасности, что

проявляется в достаточно сложных условиях, требующих принятия быстрых и правильных решений. Все существующие радионавигационные приборы и системы вне зависимости от области их использования должны отвечать таким требованиям, как доступность во временном, пространственном и организационном плане; точность определения данных; непрерывность работы; целостность. Именно поэтому требуется определение наиболее эффективных радионавигационных систем и приборов для повышения навигационной безопасности.

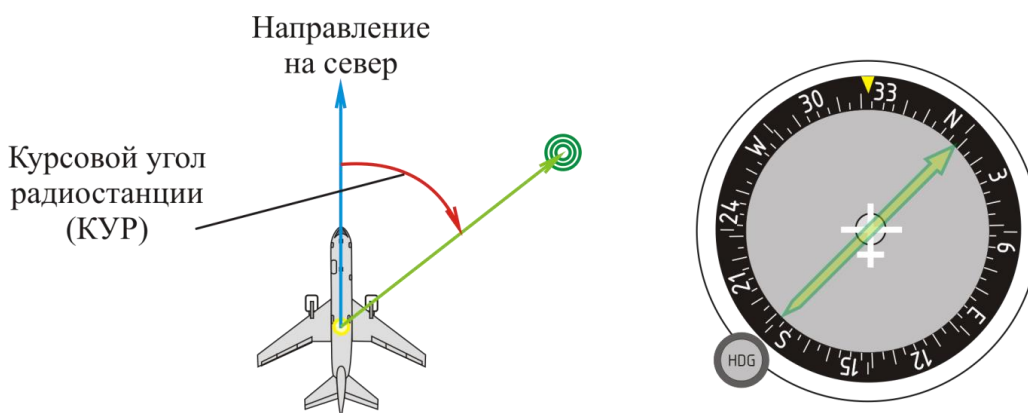
Радионавигационные системы (РНС) являются основными источниками информации о координатах и скорости большинства объектов навигации и широко применяются в контурах управления движением воздушных и морских судов, космических аппаратов, некоторых видов ракет [1].

В последние годы развитие методов и средств радионавигационного обеспечения осуществляется в повышенной интенсивности, усилении требований к надежности, точности и объему сведений, а также оперативности обработки таких сведений [2]. Именно поэтому требуется выбор наиболее эффективных радионавигационных приборов и систем, который возможен благодаря квалиметрическому анализу их характеристик.

С помощью автоматического радиоконпаса, направление на радиостанцию определяется путем пеленгования направления, которого приходит к направленной антенне радиоволна пеленгуемой радиостанции. Следовательно, методические погрешности будут отсутствовать только при условии, что радиоволны в плоскости горизонта распространяются строго прямолинейно.

Ошибки пеленгования вызываются инструментальной погрешностью и особенностями распространения радиоволн. Последние имеют обычно большую величину и вызываются непрямолинейным распространением и наличием переотраженных сигналов. Непрямолинейное распространение появляется из-за пространственных изменений коэффициента преломления

атмосферы (горизонтальная рефракция) и пространственных изменений скорости распространения радиоволн (эффект «береговой рефракции»). Эти ошибки могут достигать до единиц градусов [3].



**Рис.1. Определение курсового угла радиостанции**

Кроме того, для устранения этих погрешностей, необходимо чтобы вблизи направленной антенны отсутствовали какие-либо предметы, отражающие радиоволны, так как в противном случае АРК будут реагировать на эти вторичные радиоволны, направление прихода которых к направленной антенне не совпадает с направлением на пеленгуемую радиостанцию.

В радионавигационных приборах, особенно применяемых, в авиационной технике очень важным показателем является их точность, которая представляет собой ту степень близости итогов измерения к некоторому действительному значению, которая используется для качественного сравнения измерительных операций. А в качестве количественной оценки, как правило, используется погрешность измерений. Причем чем погрешность меньше, тем считается выше точность [4-5]. Рассмотрим некоторые виды погрешностей автоматических радиоконпасов.

**«Ночной эффект».** Эти погрешности, обусловленные особенностями распространения средних волн. Средние волны огибают земную поверхность, т.е. распространяются поверхностными волнами, и одновременно могут отражаться от ионосферы и приниматься как пространственные волны. Но так как ионизация ионосферы обусловлена

воздействием на нее Солнца, то условия распространения поверхностных волн при наличии и отсутствия освещенности нижнего слоя ионосферы различны и резко изменяются в утреннее и вечернее время. Неустойчивость ионосферы особенно заметно проявляется за два часа до захода и в течение двух часов после восхода Солнца. В это время показания АРК становятся неустойчивыми, наблюдаются периодические и хаотические колебания стрелок указателей. Величина погрешности пеленгования может достигать  $\pm 35^\circ$ . Причиной является решающее воздействие пространственных радиоволн. Поэтому в указанные промежутки времени не рекомендуется использовать для пеленгования радиостанции удаление от ВС на расстояниях более 100...150 км.

**«Горный эффект».** Такие погрешности появляются на АРК при полетах на сравнительно малых истинных высотах полета над горами. В этих условиях рамочная антенна АРК наряду с прямым сигналом от пеленгуемой радиостанции принимает многократно преобразованные от неровностей рельефа радиоволны. Погрешности пеленгования, возникающие за счет «горного эффекта», вследствие перемещения воздушного судна над горами, все время изменяется, и стрелки указателей АРК в этом случае хаотически перемещаются по шкалам, делая отсчет курса автоматического радиоконпаса практически не возможным. С увеличением истинной высоты полета воздушного судна это явление быстро затухает. Горный эффект наиболее сильно проявляется на удалении 10...40 км от гор на высотах до 500 м в наиболее высокочастотной части рабочего диапазона.

**«Береговой эффект».** Во время осуществления полета вблизи береговой черты возникают погрешности пеленгования, которые обусловлены изменением направления распространения радиоволн при их прохождении через границу раздела сред с различными электрическими свойствами. При этом радиоволна, переходящая береговую черту, преломляется и приходит на ВС с направления, отличного от истинного направления пеленгуемой радиостанции, вследствие чего в показаниях АРК

появляется устойчивая погрешность, значения которой могут достигать  $5^\circ$ . Величина погрешности будет тем больше, чем меньше угол, под которым радиоволна пересекает береговую черту. Когда этот угол равен  $90^\circ$ , радиоволна не преломляется и погрешность пеленгования отсутствует. Расчеты показывают, что практически погрешности, вызванные этим эффектом, следует учитывать только когда угол между усредненной береговой чертой и направлением распространения радиоволны составляет  $20^\circ$ . Кроме того, с удалением от берега, а также с увеличением высоты полета или рабочей частоты эти погрешности уменьшаются.

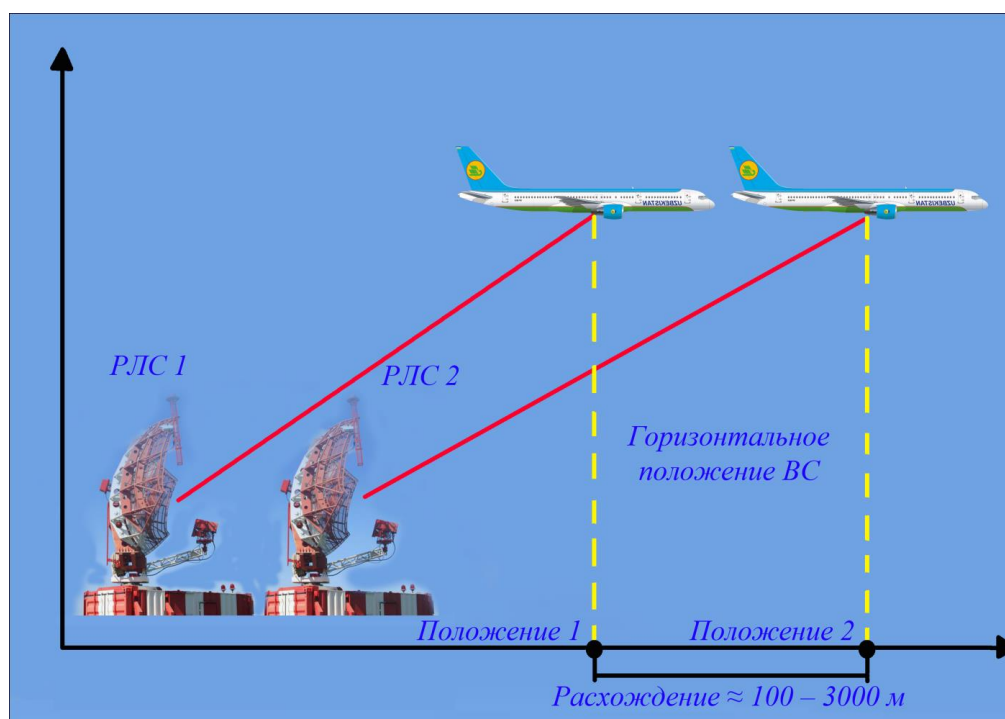
**«Ошибка отметки пролета радиостанции».** Известно, что при малых расстояниях между ВС и радиостанцией ухудшается эффективность приема ее сигналов направленной антенной, вследствие чего показания АРК становятся неустойчивыми. В режиме автоматического пеленгования, в момент пролета над радиостанцией показания радиоконуса изменятся на  $180^\circ$ . Но область неустойчивых показаний имеет вид пространственного конуса с вершиной в точке расположения антенны пеленгуемой радиостанции. Радиус основания этого конуса зависит от высоты полета, а также от типа и места расположения на воздушного судна, ненаправленной антенны и от точности регулировки некоторых цепей самого АРК, так что длина этого радиуса может быть равна двум - трем высотам полета. В зависимости от указанных факторов отметка момента пролета (изменение КУР на  $180^\circ$ ) может быть зафиксирована до или после самого момента пролета радиостанции. Изменение показаний АРК при полете над радиостанцией с опережением или запаздыванием для разных воздушных судов одного типа является почти одинаковым, поэтому оно определяется опытным путем и при необходимости может быть учтено [6].

Из-за симметричности конструкции воздушного судна ошибка радиодевиации при изменении направления прихода радиоволны в пределах от 0 до  $360$  градусов периодически увеличивается и уменьшается, при этом четырежды становится равной нулю. Угловое и временное положение

ошибок девиации практически не изменяется, что позволяет измерять их и использовать в качестве поправок к измеренным значениям пеленга. В некоторых радиоконпасах внесение поправок или компенсация ошибок предусматривается в схеме и конструкции устройства.

Помимо, вышеуказанных погрешностей отмечаются «скачки» в местоположении воздушного судна при переключении с одних приемоответчиков дальномерного оборудования (DME) на другие, расположенные в различных государствах.

И вновь указанные погрешности можно было отнести только на счет несовместимости координат наземных средств. Если координаты наземного радиолокационного навигационного средства определяются с использованием двух или более различных опорных геодезических основ, то при установлении горизонтального местоположения воздушного судна будут получены два или более различных совокупностей значений широты и долготы.



**Рис.2. Отслеживание линии пути двумя радиолокаторами**

Расхождение в местоположении воздушного судна может составить в метрических единицах несколько сот метров при одновременном

определении его местоположения и отслеживании линии пути двумя радиолокаторами: радиолокатором 1 и радиолокатором 2, привязанными к двум различным геодезическим основам (рис.2) [7].

Современные электронные компоненты радионавигационных приборов позволяют реализовать фазовый метод определения координат, используя несколько неподвижных антенн. При этом многоканальный радиоприемник автоматического радиоконпаса, обеспечивает идентичности фазовых характеристик между отдельными каналами, сохраняя высокую чувствительность. Для повышения точности пеленгования сигналов, вычисление курсового угла следует проводить в цифровом виде с использованием современных цифровых микросхем.

В заключении, определив минимальные характеристики цифровых микросхем (число вентиляей и тактовую частоту программируемых логических интегральных микросхем, параметры микроконтроллеров, оперативной и flash памяти), можно сделать вывод, что микросхемы синтезаторов DDS (Direct Digital Synthesizer – прямой цифровой синтез) выпускаемых фирмой Analog Devices вполне возможно для применения в радиоприемных устройствах автоматического радиоконпаса. Имеющиеся на сегодняшний день синтезаторы DDS позволяют синтезировать сигнал частотой до 500 МГц, (например, рабочая частота одного из радионавигационных приборов лежит в диапазоне частот  $118 \div 130$  МГц, что в три раза ниже 500 МГц). Управление синтезатором можно осуществлять по последовательному интерфейсу от микроконтроллера.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Карцан И. Н., Ефремова С. В.** Основные качественные показатели радионавигационных систем // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2020. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnyye-kachestvennyye-pokazateli-radionavigatsionnyh-sistem> (дата обращения: 17.04.2022).

2. **Затучный Д.А., Сладь Ж.В.** Использование информации об уровне наземного обеспечения полетов ВС для планирования воздушного движения // Научный Вестник МГТУ ГА. 2016. Т. 19, № 05. С. 104-110.

3. **Аникин Алексей Сергеевич, Денисов Вадим Прокопьевич.** Ошибки пеленгования источников радиочастоты малогабаритными антеннами в условиях отражений от местности // Доклады ТУСУР. 2012. №2-1 (26). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/oshibki-pelengovaniya-istochnikov-radioizlucheniya-malogabaritnymi-antennami-v-usloviyah-otrazheniy-ot-mestnosti> (дата обращения: 17.04.2022).

4. ЭБС «Znanium.com» Аристов А. И. Метрология, стандартизация, сертификация: Учебное пособие / А.И. Аристов, В.М. Приходько и др. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 256 с. - Режим доступа: <http://znanium.com/>

5. ЭБС «Znanium.com» Боларев Б. П. Стандартизация, метрология, подтверждение соответствия: Учебное пособие / Б.П. Боларев. - М.: НИЦ Инфра-М, 2013. - 254 с. - Режим доступа: <http://znanium.com/>

6. Радиооборудование. Часть 2. Средства радионавигации: Учебное пособие / Хафизов А.В. – Кировоград: КЛА НАУ, 2014. – 212 с.

7. Эшмурадов Д. Э. "Зональная навигация в Республике Узбекистан." Монография. Т.: ТГТУ (2016).