



Некоторые вопросы проверки точностных характеристик аэродромных автоматических радиопеленгаторов

Г.К. Асланов¹, Р.Б. Казибеков², Р. Р. Мусаибов¹, М. М. Мирзабеков¹

¹Дагестанский государственный технический университет, Махачкала

²АО «Дагестанский НИИ “Волна”, Дербент

Аннотация: Статья посвящена вопросам проведения проверки точностных характеристик аэродромных автоматических радиопеленгаторов. Показаны недостатки существующих методов. Даны рекомендации по устранению недостатков, в частности, предложено при летных испытаниях учитывать ортодромические поправки к измеренным значениям пеленгов.

Ключевые слова: радиопеленгатор, летные испытания, ортодромическая поправка, инструментальная погрешность.

Увеличение интенсивности воздушного движения требует повышения качества функционирования аэродромного радиотехнического оборудования.

Одним из средств, обеспечивающих управление воздушным движением, являются аэродромные автоматические радиопеленгаторы (АРП) [1-3].

Важнейшими показателями качества АРП являются инструментальная и среднеквадратические погрешности пеленгования [4-6]. В связи с этим, при проектировании АРП вопросам обеспечения точностных характеристик АРП уделяется первостепенное внимание [7-9].

Для проверки качества функционирования АРП проводятся летные (натурные) [10] и наземные испытания, в процессе которых проверяются:

- инструментальная погрешность,
- дальность пеленгования,
- среднеквадратическая погрешность пеленгования при радиальных полетах,
- среднеквадратическая погрешность пеленгования при полетах по кругу (орбите),

- угол обзора в вертикальной плоскости.

Проверка инструментальной погрешности АРП производится:

- при проведении приемо-сдаточных испытаний,
- при государственных и сертификационных испытаниях вновь разработанных АРП,
- во время периодических испытаний,
- после внесения изменений в конструкторскую документацию, если они приводят к изменению характеристик, установленных требованиями к АРП.
- при вводе АРП в эксплуатацию,
- после ремонта отдельных устройств, которые могут привести к изменению эксплуатационных характеристик АРП.

В разработанных по заказам Министерства обороны АРП, измерение инструментальной погрешности производится по контрольно - испытательному генератору, путем механического вращения головки антенной системы (АС). Так как такой метод является неудобным, в радиопеленгаторах АРП-75, АРП-80К, АРП-85, "Надежда", DF-2000 применено, так называемое, "электрическое вращение" АС .

При "электрическом вращении" АС, вместо механического вращения антенной головки, производится дискретное смещение фазы опорного сигнала относительно выборки разностей фаз между центральными и кольцевыми вибраторами.

Полученные таким путем результаты являются недостоверными, так как это приводит только к проверке инструментальной погрешности пеленгования только по одному из направлений (по направлению, где расположен контрольно испытательный генератор) а для остальных направлений, к этой ошибке прибавляется ошибка формирования сдвига фазы опорного напряжения. Вышесказанное поясняется рисунком 1.

Здесь, ступенчатой кривой 1 соответствует выборка разностей фаз между кольцевыми и центральным вибраторами 16- элементной антенной системы с радиусом 1,6 м, при пеленговании источника радиоизлучения, работающего на частоте 125 МГц, на азимуте и угле места равных 0° . По оси абсцисс отложены номера вибраторов, а по оси ординат разность фаз в градусах.

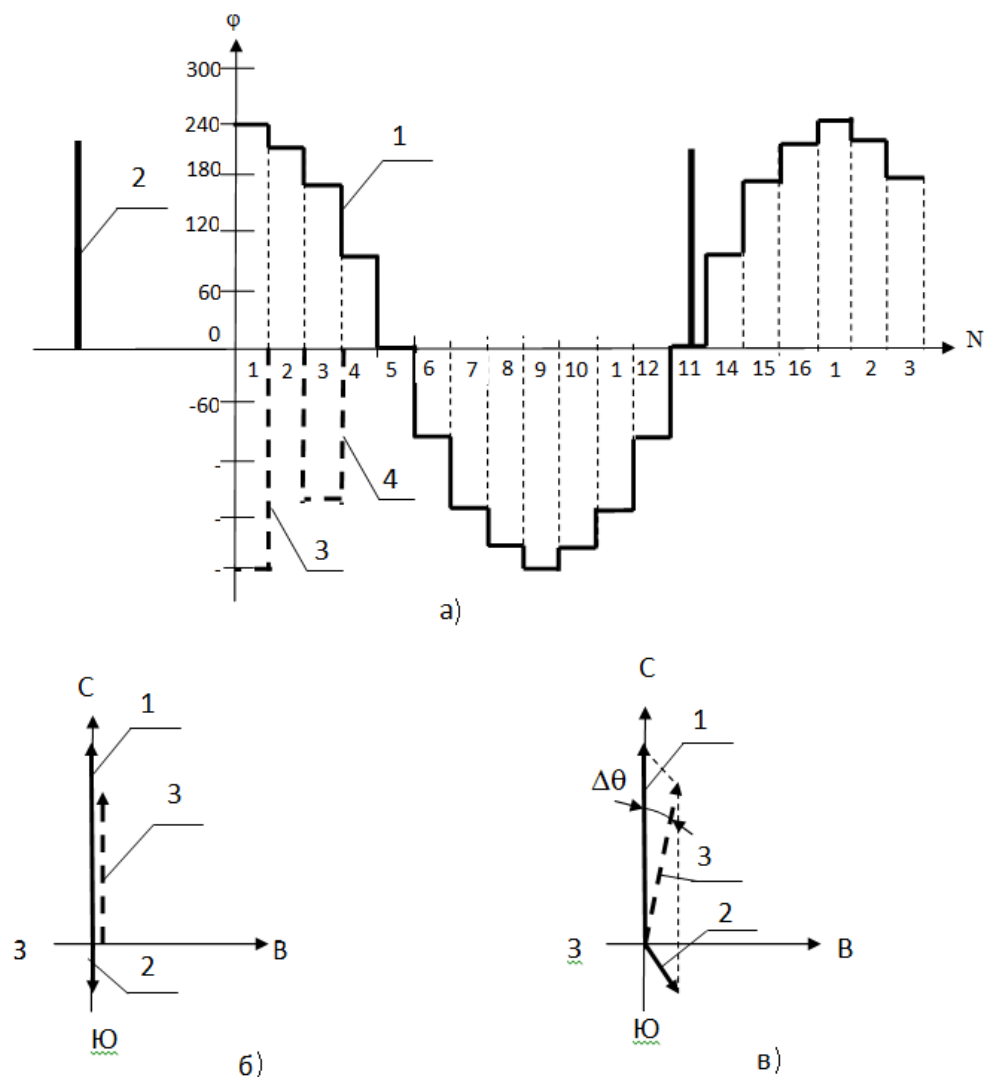


Рис.1. –К пояснению некорректности проверки инструментальной погрешности пеленгования АРП.

Разности фаз определяются выражением [5]:

$$\varphi = \frac{2\pi R}{\lambda} \cos \beta \cos \left[\left(\frac{2\pi(i-1)}{N} \right) - \theta \right] \quad (1)$$

где: R – радиус АС; i – номер вибратора АС; β – угол места на источник излучения; λ – длина волны пеленгуемого сигнала; N – количество элементов (вibrаторов) антенной решетки; θ – пеленг на источник излучения.

Пеленг на источник излучения определяется как разность фаз между первой гармоникой выборки фаз 1 и опорным сигналом 2, который сдвинут на 90° влево, относительно северного направления (относительно первого вибратора)

Пусть в антенной системе неисправным является первый вибратор, т.е. разность фаз между первым и центральным вибратором равен 0° (при исправном вибраторе разность фаз равна 240°), что может быть симитировано добавлением к выборке фаз на месте первого вибратора дополнительного импульса 3, с амплитудой, равной минус 240°

Первым гармоникам выборок фаз 1 и импульса 3 будут соответствовать синусоиды с различными амплитудами и с разностью фаз равной 180° . В связи с этим их сумма даст новую синусоиду, по фазе, совпадающую с огибающей выборки фаз 1, но с меньшей амплитудой. Т.е. выход из строя вибратора, расположенного на линии, проходящей через воздушное судно и центральный вибратор антенной системы, не приводит к появлению ошибки пеленгования.

Сказанное поясняется векторной диаграммой, приведенной на рисунке 1 б). Здесь, векторам 1, и 2, соответствуют амплитуды первых гармоник выборок фаз 1 и импульса 3 (рисунок 1а). Вектор 3 (для лучшего восприятия сдвинут вправо), является суммой векторов 1 и 2.

Рассмотрим случай, когда неисправным является третий вибратор, что может быть симитировано добавлением к выборке фаз на месте третьего вибратора дополнительного импульса 4, с амплитудой, равной минус $169,7^{\circ}$.

В этом случае, первая гармоника импульса 4 будет сдвинута относительно первой гармоники, огибающей выборки фаз сигналов на 135° .

Сказанное поясняется векторной диаграммой, приведенной на рисунке 1 в).

Здесь, векторам 1, и 2, соответствуют амплитуды первых гармоник выборок фаз 1 и импульса 4 (рисунок 1а). Вектор 3 является суммой векторов 1 и 4. Как видно из рисунка, выход из строя третьего вибратора приводит к появлению дополнительной ошибки в определении пеленга, равном $\Delta\theta$.

При механическом вращении антенной головки АРП, при его повороте на 45° вибратор 1 займет положение вибратора 3, что приведет к появлению ошибки пеленгования, т.е. механическое вращение антенной головки адекватно перемещению источника сигнала в пространстве.

При «электрическом» же вращении антенны, положение неисправного вибратора 1 не меняется, и пеленгатор все время будет показывать один и тот же пеленг, т.е. «электрическое» вращение антенной головки не имитирует перемещение источника сигнала в пространстве.

Как известно, в навигации используются карты Меркаторской проекции, которые относятся к разряду цилиндрических проекций и обладает следующими свойствами [2, 3].

- проекция является локсодромической, при этом траектория полета самолета при неизменном курсе на карте изображается прямой линией;

- проекция передает углы без искажений, т.е. является равноугольной.

В то же время, электромагнитная волна между двумя точками распространяются по кратчайшему пути, т.е. по дуге большого круга - ортодромии.

Следовательно, истинный пеленг представляет собой угол между ортодромией, проходящей через точку расположения АРП и пеленгуемый источник излучения, и истинным меридианом.

При использовании в задачах триангуляции значений пеленгов, полученных от радиопеленгаторов АРП1 и АРП2 (рис. 2), в определении местоположения источника радиоизлучения появится методическая ошибка, связанная с неучетом ортодромической поправки, т. е. местоположение пеленгуемого источника будет определяться не точкой пересечения дуг большого круга (точка А), а пересечением локсодромий – точкой Б.

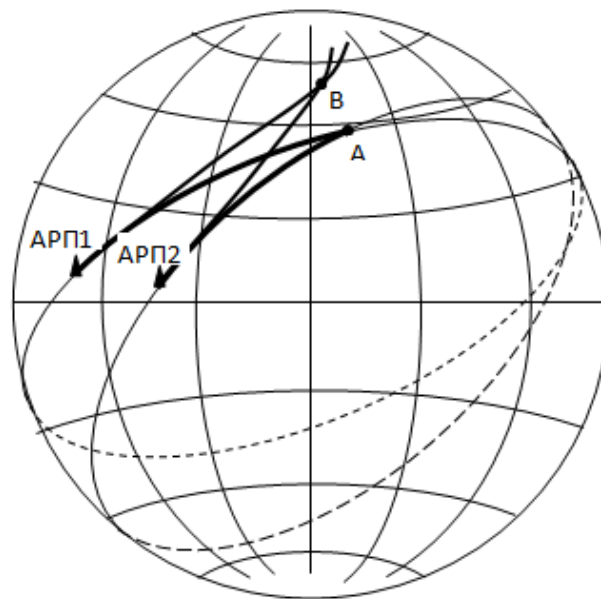


Рис. 2. – К возникновению ошибки пеленгования из-за кривизны земной поверхности.

Если при проведении летных испытаний, в качестве эталонного устройства используется АДРМ, то оператор воздушного судна (ВС), для сравнения, в качестве истинного пеленга АРП передает на землю значение обратного пеленга $\theta_{\text{АДРМ}}$, (рис. 3).

На рисунке по осям координат отложены стороны света. Точки О и А, соответственно, точки нахождения АРП и ВС.

$\theta_{\text{АРП}}$ – пеленг на ВС – угол между направлением на север и линией ОВ – касательной к дуге большого круга ОА, в точке О, где расположен АРП.

$\theta_{\text{АДРМ}}$ – обратный пеленг ВС – угол между направлением на север и линией АД – касательной к дуге большого круга ОА, в точке А, где расположено ВС.

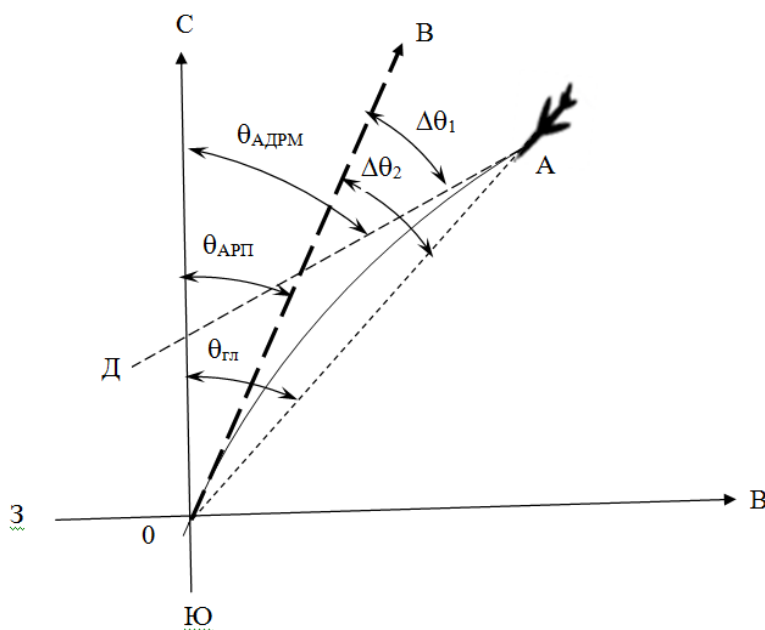


Рисунок 3. –К пояснению необходимости введения поправок к пеленгам при проведении летных испытаний.

Из рисунка видно, что пеленг по АРП $\theta_{\text{АРП}}$ отличается от $\theta_{\text{АДРМ}}$ на величину $\Delta\theta_1$, которая может быть приближенно вычислена по формуле (2):

$$\Delta\theta_1 = \frac{\Delta\lambda}{2} \sin\varphi_{\text{ср}} \quad (2)$$

где: $\Delta\lambda$ -разность долгот между точками нахождения АРП и ВС; $\varphi_{\text{ср}}$ – средняя широта.

Проведение летных испытаний регламентируется распоряжением министерства транспорта Российской Федерации от 24 августа 2005 года N

ИЛ-79-р) (Методические рекомендации по летным проверкам наземных средств радиотехнического обеспечения полетов, авиационной электросвязи и систем светосигнального оборудования аэродромов гражданской авиации). Но этим документом не предусматривается учет ортодромической поправки, которая может достигать значительных величин.

В таблице 1 приведены значения ортодромических поправок для различных регионов и на различных удалениях, которые нужно учитывать при проведении летных испытаний.

При использовании в качестве эталонного устройства приемоиндикатора ГЛОНАСС, будет возникать ошибка $\Delta\theta_2$, которую приближенно можно определить по формуле (3):

$$\Delta\theta_2 = \arctg \frac{y_{вс} - y_{арп}}{x_{вс} - x_{арп}} \quad (3)$$

где: $x_{вс}$ и $x_{арп}$ – соответственно, абсциссы точек расположения ВС и АРП; $y_{вс}$ и $y_{арп}$ – соответственно, ординаты точек расположения ВС и АРП.

Таблица 1

Значения ортодромических поправок

Район (средняя широта между ВС и АРП в градусах)	Поправки к пеленгу в градусах, при расстоянии между ВС и пеленгатором, км.	
	111	333
Махачкала (43)	0,34	1
Москва (56)	0,41	1,24
Мурманск (69)	0,47	1,4

Таким образом, в работе показано, что результаты проверки инструментальной погрешности АРП методом «электрического» вращения антенной головки неадекватны истинным, кроме того при летных



испытаниях, необходимо учитывать ортодромические поправки, которые могут достигать значительных величин.

Литература

1. Никольский В.И., Сирота А.А. Алгоритмы восстановления пространственно-частотного распределения систематической ошибки радиопеленгования в ходе натурных испытаний // Издательство "Радиотехника" (Москва) Номер: 4 (143) Год: 2009. Стр. 4-10
2. Кукес И.С., Старик М.Е. Основы радиопеленгации. М., "Сов. радиорадио", 1964г. Стр. 640-651.
3. Саидов А.С., Тагилаев А.Р., Алиев Н.М., Асланов Г.К. Проектирование фазовых автоматических радиопеленгаторов. Москва, Радио и связь, 1997 г. Стр. 160-169.
4. Асланов Г.К., Гасанов О.И. Анализ причин возникновения аномальных ошибок в квазидоплеровских автоматических радиопеленгаторах // Научно-технические ведомости СПбГПУ, серия Информатика Телекоммуникации Управление, №2. СПб: 2009. Стр. 87-94.
5. Асланов Г.К., Мамедов Л.К., Магомедов К.М. Математические модели процесса вычисления пеленга в аэродромных квазидоплеровских автоматических радиопеленгаторах. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. ISSN 1994-2354. Санкт-Петербург, 2008. Стр.267-278.
6. Гасанов О.И. Классификация аномальных ошибок аэродромных квазидоплеровских автоматических радиопеленгаторов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2008. - №11.- Стр.107-111.
7. Морозов Р.О., Дебит Д.В. Методы обработки навигационной информации в целях повышения точности // Инженерный вестник Дона, 2018, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/5027/.

8. Crampton C., Whipple R.T.P., Mugridge A.H. The errors in bearings of a high-frequency direction-finder caused by reradiation from a nearby vertical mast // Journal of the Institution of Electrical Engineers - Part IIIA: Radiocommunication (Volume: 94 , Issue: 15 , March-April 1947) Page(s): 815 – 822 DOI: 10.1049/ji-3a-2.1947.0101.

9. James G. H. An Analysis of Errors in Long Range Radio Direction Finder Systems. Proceedings of the IRE (Volume: 41, Issue: 12, Dec. 1953) Pp: 1747 – 1749 DOI: 10.1109/JRPROC.1953.274360 Print ISSN: 0096-8390 Electronic ISSN: 2162-6634.

10. Белявский, Л. С., Чуткий И.П. К вопросу об оценке влияния отражений от местных предметов на точность радиопеленгования // Радиотехническое оборудование аэропортов и воздушных трасс. Межвуз. сб. науч. тр. – Киев: КИИГА, 1981. Стр. 347-360.

References

1. Nikol'skij V.I., Sirota A.A. Algoritmy` vosstanovleniya prostranstvenno-chastotnogo raspredeleniya sistematocheskoj oshibki radiopelengovaniya v xode naturny`x ispy`tanij [Algorithms for the spatial frequency distribution restoring of the systematic error of radio direction finding during the field tests]. Izdatel'stvo "Radiotexnika" (Moskva) Nomer: 4 (143) God: 2009. pp. 4-10.

2. Kukes I.S., Starik M.E. Osnovy` radiopelengacii [Fundamentals of radio direction finding.]. M., "Sov. radio", 1964. pp. 640-651.

3. Saidov A.S., Tagilaev A.R., Aliev N.M., Aslanov G.K. Proektirovanie fazovy`x avtomaticheskix radiopeln`gatorov [Design of phase automatic radio direction finders]. Moskva, Radio i svyaz`, 1997. pp. 160-169.

4. Aslanov G.K., Gasanov O.I. Analiz prichin vzniknoveniya anomal`ny`x oshibok v kvazidoplerovskix avtomaticheskix radiopelengatorax [Analysis of the causes of anomalous errors in quasi-Doppler automatic radio direction finders].

Nauchno-texnicheskie vedomosti SPbGPU, seriya Informatika Telekommunikacii Upravlenie, №2. SPb: 2009. pp. 87-94.

5. Aslanov G.K., Mamedov L.K., Magomedov K.M. Matematicheskie modeli processa vy`chisleniya pelenga v ae`rodromny`x kvazidoplerovskix avtomaticheskix radiopelengatorax [Mathematical models of the bearing calculation process in aerodrome quasi-Doppler automatic radio direction finders]. Nauchno-texnicheskie vedomosti SPbGPU. ISSN 1994-2354. Sankt-Peterburg, 2008. pp. 267-278.

6. Gasanov O.I. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. Texnicheskie nauki. 2008. №11. pp.107-111.

7. Morozov R.O., Devit D.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/5027/.

8. Crampton C., Whipple R.T.P., Mugridge A.H. The errors in bearings of a high-frequency direction-finder caused by reradiation from a nearby vertical mast. Journal of the Institution of Electrical Engineers - Part IIIA: Radiocommunication (Volume: 94, Issue: 15, March-April 1947). Page(s): 815 – 822 DOI: 10.1049/ji-3a-2.1947.0101.

9. James G. H. An Analysis of Errors in Long Range Radio Direction Finder Systems. Proceedings of the IRE (Volume: 41, Issue: 12, Dec. 1953) Pp: 1747 – 1749 DOI: 10.1109/JRPROC.1953.274360 Print ISSN: 0096-8390 Electronic ISSN: 2162-6634.

10. Belyavskij, L. S., Chutkij I.P. K voprosu ob ocenke vliyaniya otrazhenij ot mestny`x predmetov na tochnost` radiopelengovaniya [On the issue of assessing the impact of reflections from local objects on the accuracy of radio direction finding]. Radiotexnicheskoe oborudovanie ae`roportov i vozdushny`x trass. Mezhvuz. sb. nauch. tr. Kiev: KIIGA, 1981. pp. 347-360.