

Научная статья  
УДК 631.37  
DOI: <https://doi.org/10.18127/j5604128-202405-07>

# Сравнение методов определения угловых координат объектов в грунте с помощью нелинейной радиолокационной станции

Фам Дык Хи<sup>1</sup>, Нгуен Ван Кыонг<sup>2</sup>, А.В. Николаев<sup>3</sup>, А.Ю. Волошин<sup>4</sup>

<sup>1-3</sup> Московский технический университет связи и информатики (Москва, Россия)

<sup>3,4</sup> Институт машиноведения им. А.А. Благоднарова Российской академии наук (Москва, Россия)

<sup>1</sup> d.h.fam@edu.mtuci.ru, <sup>2</sup> v.k.nguyen@edu.mtuci.ru, <sup>3</sup> alarmoren@yandex.ru, <sup>4</sup> vau@smartlightlab.ru

## Аннотация

**Постановка проблемы.** В современном мире террористическая деятельность, основанная на применении электронных взрывных устройств, – серьезная угроза безопасности жизни и деятельности мирного населения. Актуальной задачей в настоящее время является определение угловых координат электронных взрывных устройств, являющихся слабоконтрастными и нелинейными объектами поиска на фоне отражений радиосигнала от поверхности земли.

**Цель.** Проанализировать характеристики местоопределения нелинейных объектов при улавливании сигналов от источников радиоизлучения на второй и третьей гармониках для выработки рекомендаций по проектированию безопасной машины.

**Результаты.** Сравнивая крутизну пеленгационной характеристики, форму освещаемой поверхности и диаграмму направленности антенны, оценивая преимущества и недостатки методов пеленгации сделаны рекомендации по рациональному варианту определения угловых координат в НРЛС разведки для использования в проектных решениях безопасных машин.

**Практическая значимость.** Предложенные методы радиопеленгации могут быть использованы для проектирования безопасной машины с целью повышения точности определения угловых координат нелинейных объектов.

## Ключевые слова

Пеленгации, амплитудный способ, пеленгационная характеристика, метод максимума, метод минимума, метод сравнения, фазовый пеленгатор, нелинейный объект, нелинейная радиолокационная станция разведки

## Для цитирования

Фам Дык Хи, Нгуен Ван Кыонг, Николаев А.В., Волошин А.Ю. Сравнение методов определения угловых координат объектов в грунте с помощью нелинейной радиолокационной станции // Электромагнитные волны и электронные системы. 2024. Т. 29. № 5. С. 47–54. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202405-07>

A brief version in English is given at the end of the article

## Введение

Точное определение координат электронных взрывных устройств (ЭВУ), укрытых слоем грунта, становится все более важной задачей для нелинейной радиолокационной станции (НРЛС) разведки [1]. Это вызвано, в первую очередь, необходимостью поддержания общественной безопасности при оперативном поиске террористической угрозы в местах скопления людей. Нелинейные объекты, такие как самодельные ЭВУ, способны создавать опасность для человека без явного их обнаружения. В связи с этим актуальна разработка и совершенствование методов радиолокационного обнаружения и определения координат таких объектов. В настоящее время существует много методов решения этой задачи. Традиционные методы определения координат источника радиоизлучения – угломерные и дальномерные [2–5]. Технические условия к проектированию радиолокатора безопасных машин могут содержать требования по обнаружению нелинейных объектов на небольшой, но безопасной, дальности действия НРЛС разведки с высокой точностью определения угловых координат. Поэтому дальномерные методы практически не используются в конструктивных проектах безопасных машин. Создание эффективной НРЛС разведки в виде встраиваемой бортовой аппаратуры в безопасную машину с приемными антеннами (спиральными, микрополосковыми, конформными) левого и правого борта, определяющими угловое положение нелинейного объекта угломерными методами, проводится впервые [6]. Приемные антенны, развернутые под углом для определения местоположения источников радиоизлучения на второй и третьей гармониках, позволят реализовать систему измерения угла прихода радиоволны в нелинейном радиолокаторе.

© Фам Дык Хи, Нгуен Ван Кыонг, Николаев А.В., Волошин А.Ю., 2024

Угломерные методы основаны на измерении угла прихода радиоволн, излучённых или отражённых объектом, путем измерения амплитуд или фаз приходящих сигналов [7–9]. В следствии этого классифицируются на методы, использующие амплитудную или фазовую систему измерения угла прихода радиоволны.

Цель работы – путем исследования и оценки преимуществ, недостатков методов радиопеленгации предложить рекомендации по проектированию НРЛС разведки безопасной машины с повышенной точностью определения угловых координат нелинейных объектов, укрытых слоем грунта, т.е. нелинейного радиопеленгатора, который может быть размещен в кузове безопасной машины.

С учетом ряда ограничений, связанных с размерами и формой антенн, расходом электроэнергии, надежности конструкции и скорости обработки локационных данных, рассмотрим различные варианты проектирования некоторых устройств, определяющих угловое положение нелинейного объекта.

### Амплитудный метод определения угловых координат

Рассмотрим принцип построения устройства, основанный на амплитудной пеленгации сигнала при определении углового положения нелинейного объекта. Амплитудная пеленгация сигнала – один из способов определения направления на источник радиоизлучения второй и третьей гармоники отраженного сигнала, основанный на использовании направленных свойств антенн. К ним относятся методы максимума, минимума и сравнения [10] (рис. 1), реализованные посредством разворачивания антенн определенным образом.

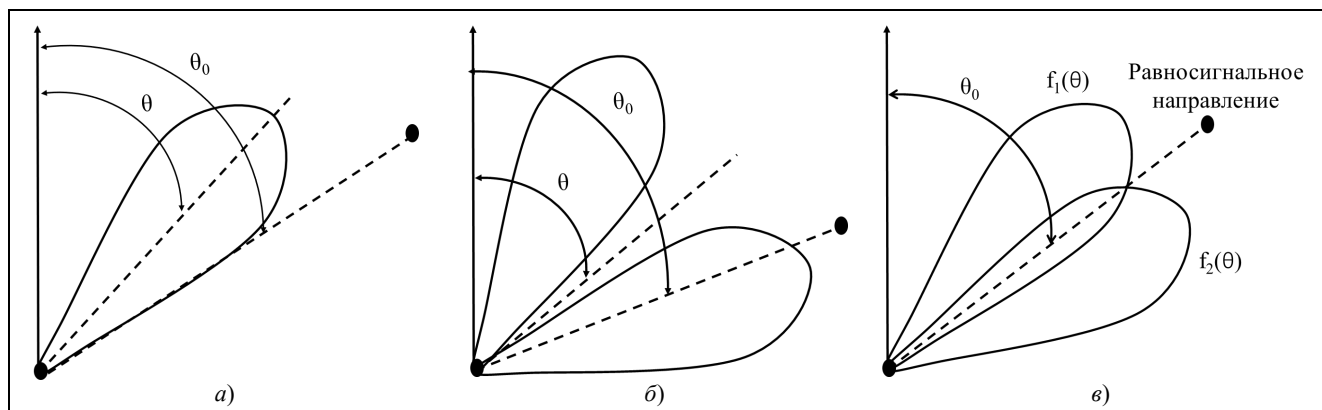


Рис. 1. Амплитудные методы: *a* – метод максимума; *b* – метод минимума; *v* – метод сравнения  
Fig. 1. Amplitude methods: *a* – maximum method; *b* – minimum method; *v* – comparison method

Особенность метода максимума заключается в том, что направление максимума пеленгационной характеристики  $\theta$  совмещается с направлением на пеленгуемый объект  $\theta_0$  в результате плавного вращения диаграммы направленности антенны. Когда напряжение на выходе приёмника достигает максимального значения, производится отсчет угловых координат поисковых объектов. В этом случае нормаль фазового фронта приходящей волны находится параллельно плоскости раскрыва антенны, а направление главного лепестка диаграммы направленности точно совпадает с направлением на источник радиоизлучения второй и третьей гармоник.

В точке приема напряженность поля обычно представляется в комплексной форме в виде:

$$\dot{E}(t) = E_0 e^{i(\omega t - \varphi_0)},$$

где  $\varphi_0$  – начальная фаза;  $\omega$  – циклическая частота источника радиоизлучения, рад/с;  $E_0$  – напряжённость электрического поля источника радиоизлучения, В.

Результирующее напряжение  $U$  на выходе приемной антенны определяется произведением напряженности электрического поля и ее диаграммы направленности:

$$\dot{U}(t, \theta) = \dot{E}(t) F(\theta),$$

где  $F(\theta)$  – амплитудная диаграмма направленности приемной антенны НРЛС.

Точность определения углового положения нелинейного объекта радиопеленгатором определяется пеленгационной (дискриминационной) характеристикой  $G(\theta)$ . Она определяется зависимостью выходного напряжения приемника от угла прихода радиоволн:

$$G(\theta) = \frac{U_{\text{вых}}(\theta)}{U_{\text{max}}},$$

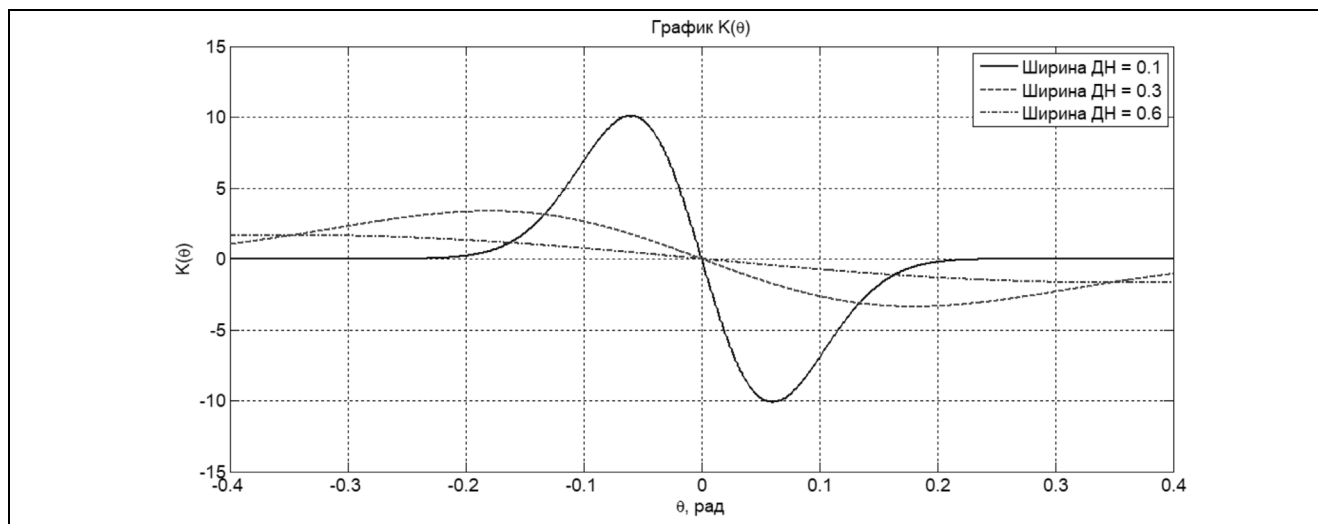
где  $U_{\text{вых}}(\theta)$  – зависимость выходного напряжения приёмника от углового положения нелинейного объекта относительно опорного значения, В;  $U_{\text{max}}$  – максимальное значение выходного напряжения приёмника, В.

Для оценки точности радиопеленгатора используется крутизна пеленгационной характеристики  $K$ :

$$K = \frac{dG(\theta)}{d\theta} = \frac{dU_{\text{вых}}(\theta)}{U_{\text{max}}d\theta}. \quad (1)$$

Как видно, при фиксированном выходном напряжении приемника согласно (1), чем больше крутизна пеленгационной характеристики  $K$ , тем меньше погрешность измерения угла и выше точность определения угловых координат объекта НРЛС разведки.

На рис. 2 представлена зависимость крутизны пеленгационной характеристики  $K$  от угла положения источника радиоизлучения второй или третьей гармоник отраженного сигнала  $\theta$  при разной ширине диаграммы направленности антенны по методу максимума.

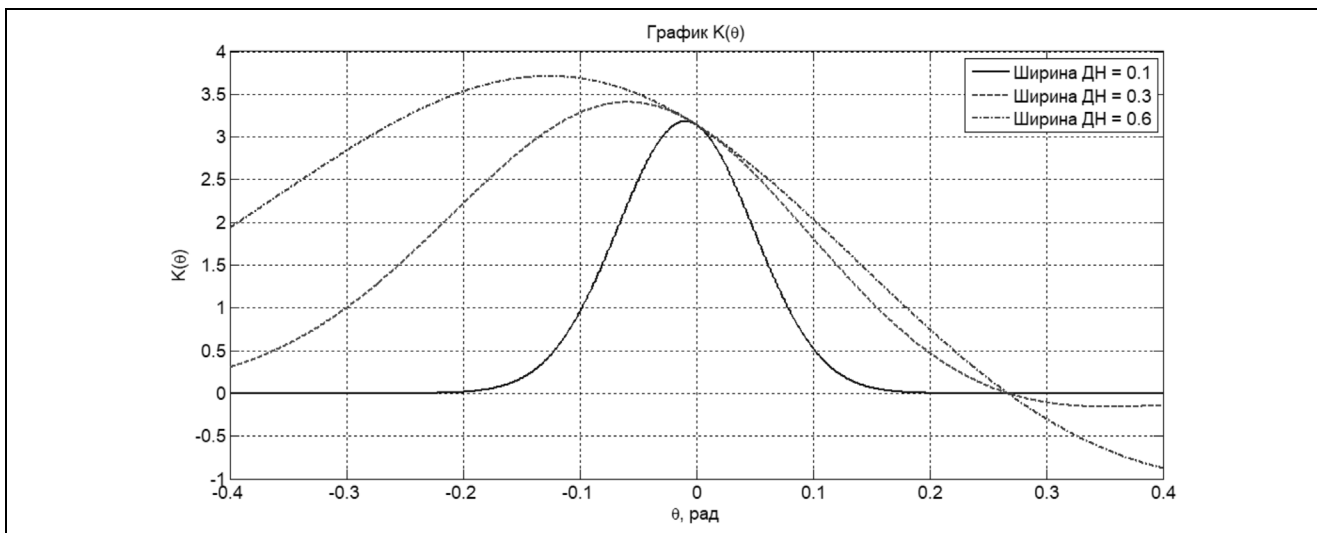


**Рис. 2.** Зависимость крутизны пеленгационной характеристики нелинейного радара от углового положения радионисточника второй или третьей гармоник (по методу максимума)

**Fig. 2.** Dependence of the steepness of the direction-finding characteristic of a nonlinear radar on the angular position of a radio source of the second or third harmonics (according to the maximum method)

Анализируя формы пеленгационных характеристик различных антенн, можно сделать вывод о недостаточной точности метода максимума при определении углового положения нелинейного объекта с помощью НРЛС. Это обусловлено тем, что при малых углах положения нелинейного объекта, крутизна графика стремится к нулю, т.е. погрешность измерения угла прихода радиоволны высока. Однако достоинством метода является легкая и недорогая реализация пеленгатора. Таким образом, метод максимума может применяться при проектировании безопасных машин в режиме обзора, т.е. где не требуется высокая точность определения местоположения на источник радиоизлучения второй и третьей гармоник.

Пеленгация методом минимума осуществляется аналогично, как и при применении метода максимума. Отличие будет заключаться в том, что отсчет угловых координат нелинейных объектов производится тогда, когда напряжение на выходе приёмника достигает наименьшего значения. Из-за маленького значения выходного напряжения затрудняется изменение дальности до объекта. На рис. 3 представлена зависимость крутизны пеленгационной характеристики  $K$  от угла положения источника радиоизлучения второй или третьей гармоник отраженного сигнала  $\theta$  при разной ширине диаграммы направленности антенны по методу минимума.

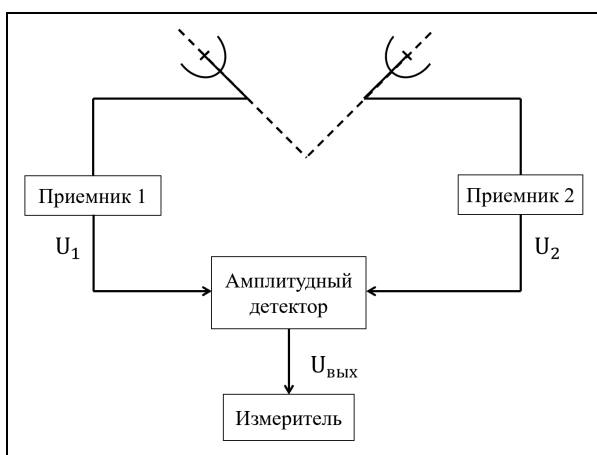


**Рис. 3.** Зависимость крутизны пеленгационной характеристики нелинейного радара от углового положения радиосточника второй или третьей гармоник (по методу минимума)

**Fig. 3.** Dependence of the steepness of the direction finding characteristic of a nonlinear radar on the angular position of the radio source of the second or third harmonics (using the minimum method)

Из рис. 3 видно, что крутизна пеленгационной характеристики метода минимума выше, чем у метода максимума в области нулевого значения угла положения нелинейного объекта. Следовательно, выше точность определения угловых координат объектов по сравнению с методом максимума. При проектировании безопасных машин с использованием метода минимума пеленгации рекомендуем применять пару приемных антенн с узкой диаграммой направленности. Замечено, что этот метод только используется для пеленгации источников мощного собственного излучения. Поэтому при использовании метода минимума для пеленгации нелинейных объектов достаточно увеличить излучающую мощность передатчика до требуемого значения, чтобы получить достаточный уровень отраженного сигнала от нелинейного объекта и обеспечить небольшую, но безопасную дальность действия НРЛС разведки.

При применении метода сравнения угловые координаты определяются за счет сравнения уровней принимаемых сигналов в пространственных каналах как минимум от двух пересекающихся диаграмм направленности антенн. На рис. 4 представлена схема пеленгатора с моноимпульсным методом сравнения.



**Рис. 4.** Схема нелинейного радиопеленгатора НРЛС разведки с моноимпульсным методом сравнения  
**Fig. 4.** The scheme of a nonlinear radio direction finder of NLR reconnaissance station with a monopulse comparison method

Выходное напряжение может быть определено отношением выходных напряжений двух приемных антенн:

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_1}{U_2},$$

где  $U_1$  – напряжение на выходе 1-го канала, В;  $U_2$  – напряжение на выходе 2-го канала, В.

Когда  $U_1 = U_2$  метод сравнения приходит к равносигнальному методу пеленгации. При этом равносигнальное направление совпадает с направлением на нелинейный объект. На рис. 5 представлена зависимость крутизны пеленгационной характеристики  $K$  от угла положения источника радиоизлучения второй или третьей гармоник отраженного сигнала  $\theta$  при разной ширине диаграммы направленности антенны по методу минимума.

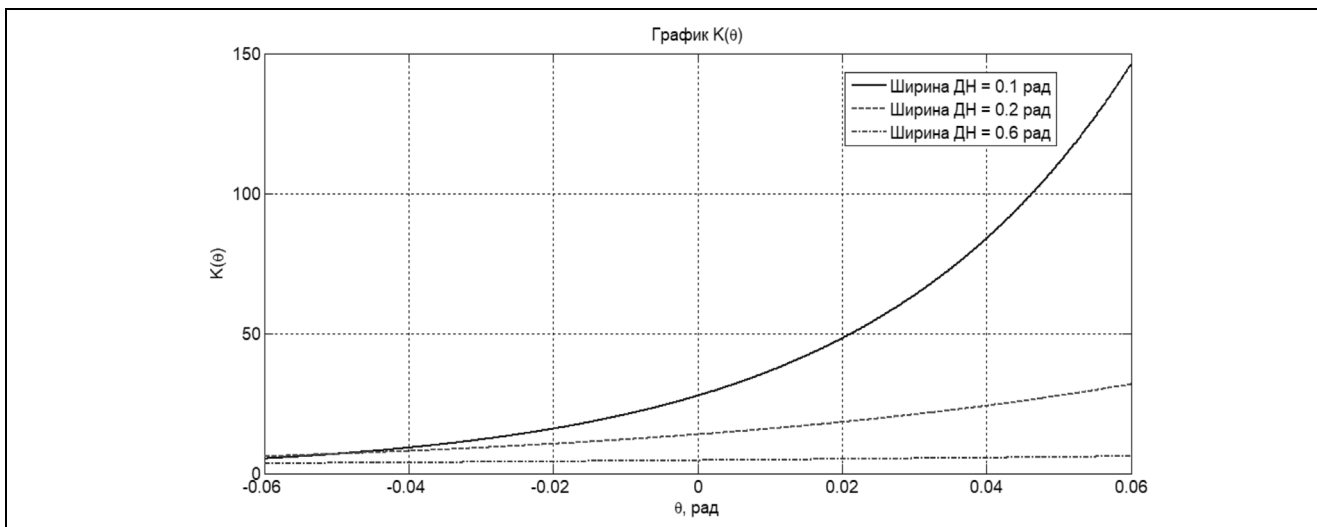


Рис. 5. Зависимость крутизны пеленгационной характеристики нелинейного радара от углового положения радиоисточника второй или третьей гармоник (по методу сравнения)

Fig. 5. Dependence of the steepness of the direction finding characteristic of a nonlinear radar on the angular position of the radio source of the second or third harmonics (by the comparison method)

Из рис. 5 следует, что чем уже ширина диаграммы направленности антенны, тем больше крутизна пеленгационной характеристики и тем больше точность определения угловых координат на источник радиоизлучения второй или третьей гармоники. По сравнению с методом максимума метод сравнения имеет высокую точность определения местоположения объекта.

В простейшем случае метод сравнения может использоваться в безопасных машинах следующем образом. Пусть система антенн состоит из двух одинаковых спиральных антенн, расположенных на левом и правом борту безопасной машины относительно друг друга на угол  $2\theta_0$ . Сигналы, отраженные от пеленгуемого нелинейного объекта, поступают сначала на одну антенну, а затем на другую. Для переключения антенн используется специальный входной переключатель, работающей синхронно с входным. Антенная система поворачивается до тех пор, пока выходные напряжения двух принимаемых антенн не будут равны. Угловые координат целей отсчитываются угловым положением антенной системы.

### Фазовый метод определения угловых координат

Рассмотрим принцип построения простейшего фазового пеленгатора, для его использования в нелинейной радиолокации. Схема фазового пеленгатора представлена на рис. 6 [11].

Простейший (двухканальный) фазовый пеленгатор состоит из двух отдельных антенных элементов, разнесенных в пространстве на расстояние  $d$  и образующих два приемных канала. В одном из каналов используется фазовращатель на  $\pi/2$ . Благодаря смещению фазы сигнала пеленгационная характеристика становится нечетной функцией (рис. 7), т.е. можно определить направление объекта, который находится перпендикулярно к базе [12]. Если объект находится на расстоянии много больше базы пеленгатора, то фронт проходящей волны считается плоским.

Разность фаз принимаемых колебаний:

$$\Delta\varphi = 2\pi d \frac{\sin(\theta)}{\lambda}, \tag{2}$$

где  $\lambda$  – длина волны электромагнитных колебаний на второй и третьей гармониках, м.

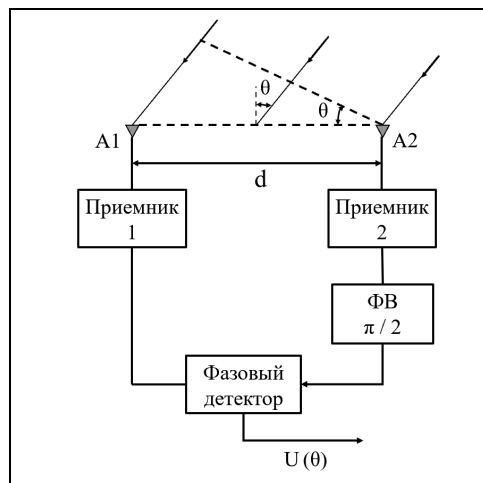
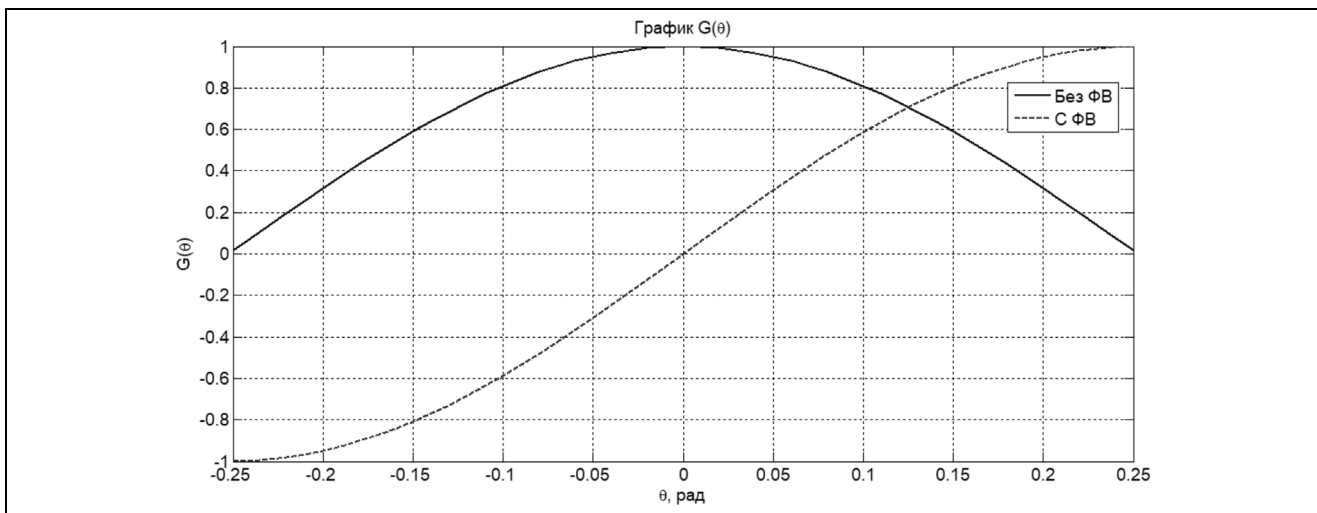


Рис. 6. Схема простейшего фазового пеленгатора

Fig. 6. The diagram of a simple phase direction finder



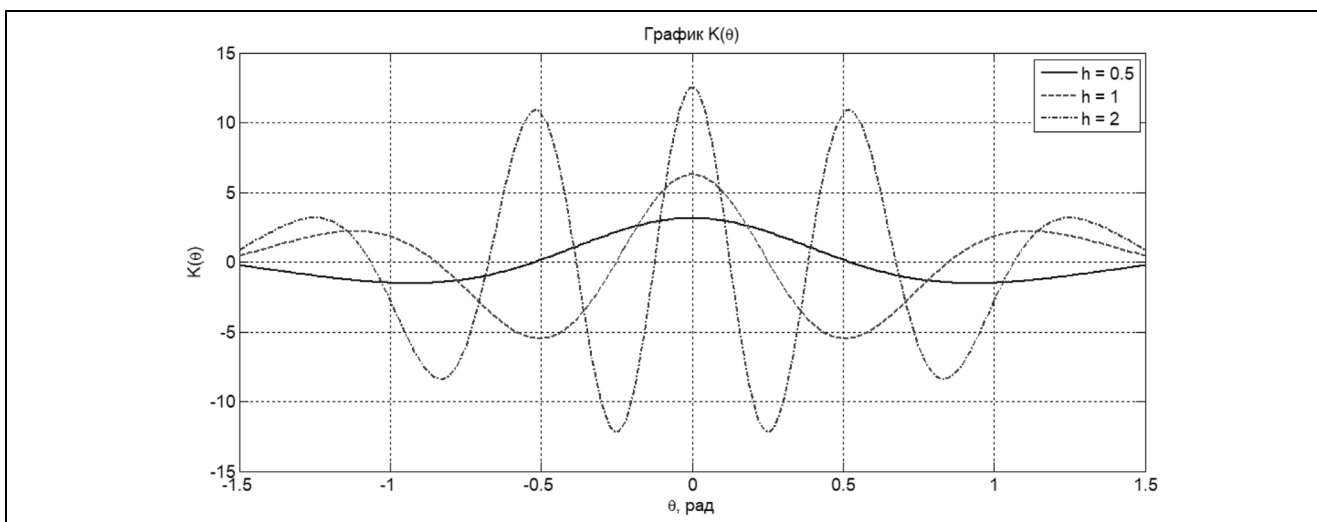
**Рис. 7.** Пеленгационная характеристика фазового метода без фазовращателя и с фазовращателем  
**Fig. 7.** The direction-finding characteristic of the phase method without a phase shifter and with a phase shifter

Из (2) можно определить угловое положение нелинейных объектов  $\theta$ :

$$\theta_{2f_0} = \arcsin\left(\frac{\Delta\varphi\lambda}{4\pi d}\right), \theta_{3f_0} = \arcsin\left(\frac{\Delta\varphi\lambda}{6\pi d}\right). \tag{3}$$

Из (3) видно, что один из недостатков фазового метода - угловая координата нелинейных объектов зависит от длины волны электромагнитных колебаний на второй и третьей гармониках и расстояния между приемными антеннами (базе), в связи с этим точность углового положения для 2 и 3 гармоник будут разными [6]. Это связано с отношением длины волны отраженных сигналов от нелинейных объектов к базе между антеннами, которое не имеет фиксированного значения (например, 2, 3 и т.д. для гармоник), а длину базы пеленгатора невозможно изменить при анализе амплитуды той или иной гармоники. С физической точки зрения это связано со сферичностью фронта радиоволны в ближней зоне приемной антенны радиодетектора безопасной машины и несимметричностью площади, освещаемой передающей антенной поверхностью грунта.

Результат расчета крутизны пеленгационной характеристики фазового метода при различных соотношениях базы и длины волны  $h = d/\lambda$  представлен на рис. 8.



**Рис. 8.** Зависимость крутизны пеленгационной характеристики нелинейного радара при различных соотношениях баз и длин волн (фазовый метод)  
**Fig. 8.** Dependence of the steepness of the direction-finding characteristic of a nonlinear radar at different ratios of bases and wavelengths (phase method)

Из рисунка видно, что крутизна пеленгационной характеристики увеличивается с ростом соотношения базы и волны электромагнитных колебаний на второй и третьей гармониках. Однако следует заметить, что при этом появляется неоднозначность диапазона измерения угла  $\Delta\theta$ . Для ее исключения и обеспечения высокой точности необходимо применить многоканальный фазовый пеленгатор с достаточно узкими диаграммами направленности.

Таким образом, при проектировании системы радиодетектора машины для безопасной машины нужно программным способом учитывать различия в сферичности отраженной волны и другие аспекты механического управления положением группой бортовых антенн. Кроме того, возникнут трудности по определению однозначного положения нелинейных объектов в окружающем пространстве. Для решения данных и других проблем можно принять специальные меры, но они усложняют антенную конструкцию, возникнут вопросы пространственного размещения множества антенн на корпусе машины, что скажется на сложности и стоимости всей бортовой радиосистемы безопасной машины.

### Заключение

Сравнительный анализ точности определения местоположения источников излучения на второй и третьей гармониках радиолокационным приемником, построенным по одной из схем пеленгования, показал, что в конструктивных решениях можно найти компромисс между точностью, дальностью действия и сложностью антенны бортовой радиосистемы для безопасной машины. В статье показано, что амплитудный и фазовый методы имеют свои преимущества и недостатки. В зависимости от требований к точности определения местоположения ЭВУ необходимо выбрать одну из вышеперечисленных схем или несколько схем пеленгации. Сравняя зависимость крутизны пеленгационных характеристик, следует отметить, что метод сравнения и фазовый метод обладают высокой точностью определения угловых координат нелинейных объектов. Эти методы могут быть применены при проектировании безопасной машины путем размещения излучателя зондирующего радиосигнала на верхней балке машины.

### Список источников

1. Фам Д.Х., Нгуен В.К., Николаев А.В. Радиозлектронные средства военно-инженерной службы вьетнамской народной армии и перспектива их развития // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2023. № 1. С. 74–79.
2. Гринь И.В., Еришов Р.А., Морозов О.А., Фидельман В.Р. Оценка координат источника радиоизлучения на основе решения линеаризованной системы уравнений разностно-дальномерного метода // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2014. № 4 (32). С. 71–81.
3. Ворошилин Е.П., Миронов М.В., Громов В.А. Определение координат источников радиоизлучения разностно-дальномерным методом с использованием группировки низкоорбитальных малых космических аппаратов // Доклады ТУСУРа. 2010. № 1 (21). Ч. 2. С. 23–28.
4. Гришин Ю.П., Казаринов Ю.М., Ипатов П.В. Радиотехнические системы. М.: Высшая школа. 1990. 496 с.
5. Гусейнов М.Я., Лепехина Т.А., Николаев В.И. Улучшение разрешающей способности по дальности дозорной РЛС в режимах РСА методом межпериодного расширения спектра // Успехи современной радиоэлектроники. 2015. № 5. С. 6–12.
6. Нгуен В.К., Фам Д.Х., Николаев А.В. Радиодетектирование сигнала, рассеянного нелинейным объектом, для безопасных машин / XXXV Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС – 2023): сб. тр. конф. Москва, 13–14 ноября 2023 г. М.: Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. 2023. С. 363–370.
7. Зырянов Ю.Т., Белоусов О.А., Федюнин П.А. Основы радиотехнических систем: учебное пособие. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ». 2011. 144 с.
8. Золотарёв И.Д., Березовский В.А. Фазовые пеленгаторы в условиях радиоэлектронной борьбы // Омский научный вестник. 2009. № 3 (83). С. 264–268.
9. Дятлов А.П., Кульбикаян Б.Х. Амплитудный пеленгатор с повышенной помехозащищенностью // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Сер.: Технические науки. 2004. № 2. С. 46–49.
10. Козлов С.В. Пеленгационные антенные системы с пространственной компенсацией помех: учеб.-метод. пособие. Минск: БГУИР. 2019. 158 с.
11. Денисов В.П., Дубинин Д.В. Фазовые радиопеленгаторы. Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. 2002. 251 с.
12. Бессонова Е.В., Ирхин В.И. Метод обработки сигнала РЛС планового обзора, обеспечивающий повышенную разрешающую способность по азимуту // Журнал Радиоэлектроники. 2016. № 4.

### Информация об авторах

**Дык Хи Фам** – аспирант

SPIN-код: 1910-4007

**Ван Кыонг Нгуен** – аспирант

SPIN-код: 4276-3116

**Алексей Владимирович Николаев** – д.т.н., доцент

SPIN-код: 9043-3335

**Андрей Юрьевич Волошин** – аспирант

SPIN-код: 1608-3084

Статья поступила в редакцию 02.09.2024

Одобрена после рецензирования 10.09.2024

Принята к публикации 20.09.2024

Original article

# Comparison of methods for determining the angular coordinates of objects in the ground using a nonlinear radar station

Pham Duc Huy<sup>1</sup>, Nguyen Van Cuong<sup>2</sup>, A.V. Nikolaev<sup>3</sup>, A.Yu. Voloshin<sup>4</sup><sup>1-3</sup> Moscow Technical University of Communications and Informatics (Moscow, Russia)<sup>3,4</sup> Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences<sup>1</sup> d.h.fam@edu.mtuci.ru, <sup>2</sup> v.k.nguen@edu.mtuci.ru, <sup>3</sup> alarmoren@yandex.ru, <sup>4</sup> vau@smartlightlab.ru

## Abstract

In contemporary society, the usage of electronic explosive devices in acts of terrorism presents a significant peril to the well-being and employment of the civilian populace. Electronic explosive devices are improvised constructions made from readily accessible materials and explosives, which may be remotely ignited using radio equipment and cellphones. This technology enables terrorists to selectively target civilian objects and vital infrastructure, resulting in widespread fear, devastation, and loss of human life. Some instances of such attacks include detonations at transportation hubs, retail complexes, and athletic competitions. To address this danger, a comprehensive set of actions is necessary, such as enhancing technologies for identifying and rendering electronic explosive devices ineffective, enforcing stricter laws and broadening police operations, and bolstering global collaboration in the realm of counterterrorism. Nevertheless, the ongoing advancement of electronic technology and the emergence of new terrorist strategies underscore the importance of enhancing technologies to combat terrorist activities. A current urgent objective is to ascertain the angular coordinates of electronic explosive devices, which are objects with low contrast and non-linear search characteristics, in the presence of radio signal reflections off the Earth's surface. An approach used to ascertain the coordinates of objects is the radio direction finding method. An important aim of this work is to analyze and contrast radio direction finding techniques for detecting the angular location of a nonlinear search object. This will be achieved by utilizing a nonlinear reconnaissance radar station that is mounted in a secure vehicle.

## Keywords

Direction finding, amplitude method, direction finding characteristic, maximum method, minimum method, comparison method, phase direction finder, nonlinear object, nonlinear reconnaissance radar station

## For citation

Pham Duc Huy, Nguyen Van Cuong, Nikolaev A.V., Voloshin A.Yu. Comparison of methods for determining the angular coordinates of objects in the ground using a nonlinear radar station. *Electromagnetic waves and electronic systems*. 2024. V. 29. № 5. P. 47–54. DOI: <https://doi.org/10.18127/j15604128-202405-07> (in Russian)

## References

1. Fam D.X., Nguen V.K., Nikolaev A.V. Radioe`lektronny`e sredstva voenno-inzhenernoj sluzhby` v` etnamskoj narodnoj armii i perspektiva ix razvitiya. *Trudy` Severo-Kavkazskogo filiala Moskovskogo texnicheskogo universiteta svyazi i informatiki*. 2023. № 1. S. 74–79.
2. Grin` I.V., Ershov R.A., Morozov O.A., Fidel`man V.R. Ocenka koordinat istochnika ra-dioizlucheniya na osnove resheniya linearizovannoj sistemy` uravnenij raznostno-dal`nomernogo metoda. *Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Povolzhskij region. Texnicheskie nauki*. 2014. № 4 (32). S. 71–81.
3. Voroshilin E.P., Mironov M.V., Gromov V.A. Opredelenie koordinat istochnikov radio-izlucheniya raznostno-dal`nomerny`m metodom s ispol`zovaniem grupirovki nizkoorbital`ny`x малы`x kosmicheskix apparatov. *Doklady` TUSURa*. 2010. № 1 (21). Ch. 2. S. 23–28.
4. Grishin Yu.P., Kazarinov Yu.M., Ipatov P.V. Radiotexnicheskie sistemy`. M.: Vy`sshaya shkola. 1990. 496 s.
5. Gusejnov M.Ya., Lepexina T.A., Nikolaev V.I. Uluchshenie razreshayushhej sposobnosti po dal`nosti dozornoj RLS v rezhimax RSA metodom mezhpriodnogo rasshireniya spectra. *Uspexi sovremennoj radioe`lektroniki*. 2015. № 5. S. 6–12.
6. Nguen V.K., Fam D.X., Nikolaev A.V. Radiodetekirovanie signala, rasseyanogo nelinejny`m ob`ektom, dlya bezopasny`x mashin / XXXV Mezhdunarodnaya innovacionnaya konferenciya molody`x ucheny`x i studentov (MIKMUS – 2023): sb. tr. konf. Moskva, 13–14 noyabrya 2023 g. M.: Institut mashinovedeniya im. A.A. Blagonravova RAN. 2023. S. 363–370.
7. Zy`ryanov Yu.T., Belousov O.A., Fedyunin P.A. Osnovy` radiotexnicheskix sistem: uchebnoe posobie. Tambov: Izd-vo FGBOU VPO «TGTU». 2011. 144 s.
8. Zolotaryov I.D., Berezovskij V.A. Fazovy`e pelengatory` v usloviyax radioe`lektronnoj bor`by`. *Omskij nauchny`j vestnik*. 2009. № 3 (83). S. 264–268.
9. Dyatlov A.P., Kul`bikayan B.X. Amplitudny`j pelengator s povy`shennoj pomexozashhishhennost`yu. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region. Ser.: Texnicheskie nauki*. 2004. № 2. S. 46–49.
10. Kozlov S.V. Pelengacionny`e anteny`e sistemy` s prostranstvennoj kompensaciej pomex: ucheb.metod. posobie. Minsk: BGUIR. 2019. 158 s.
11. Denisov V.P., Dubinin D.V. Fazovy`e radiopelengatory`. Tomsk: Tomskij gosudarstvenny`j universitet sistem upravleniya i radioe`lektroniki. 2002. 251 s.
12. Bessonova E.V., Irxin V.I. Metod obrabotki signala RLS planovogo obzora, obespechiva-yushhij povy`shennuyu razreshayushhuyu sposobnost` po azimutu. *Zhurnal Radioe`lektroniki*. 2016. № 4.

## Information about the authors

Duc Huy Pham – Post-graduate Student

Van Cuong Nguyen – Post-graduate Student

Aleksey V. Nikolaev – Dr.Sc. (Eng.), Associate Professor

Andrey Yu. Voloshin – Post-graduate Student

The article was submitted 02.09.2024

Approved after reviewing 10.09.2024

Accepted for publication 20.09.2024