

# Перспективная технология создания многопозиционной когерентной станции постановки активных шумовых помех

Г. Л. Павлов, С. М. Казарян, А. Д. Цисарский

Рассматривается технология создания многопозиционной когерентной станции постановки активных шумовых помех с блуждающим фазовым центром. Проведено моделирование. Получены результаты, отвечающие требованиям реальному изделию.

*Ключевые слова:* когерентность, радиоэлектронная борьба, многопозиционная станция, шумовые помехи.

## 1. Введение

С развитием элементной базы появилась возможность создания многопозиционных когерентных станций постановки активных шумовых помех с блуждающим фазовым центром для радиомаскировки средств. Данный тип станций активных помех (САП) позволяет дезинформировать радиолокационные станции как по дальности, так и по угловым координатам, а также блокировать возможность снятия радиопортрета обороняемых объектов с целью их селекции и распознавания.

## 2. Основная часть

Структурная схема многопозиционной САП показана на рис. 1.

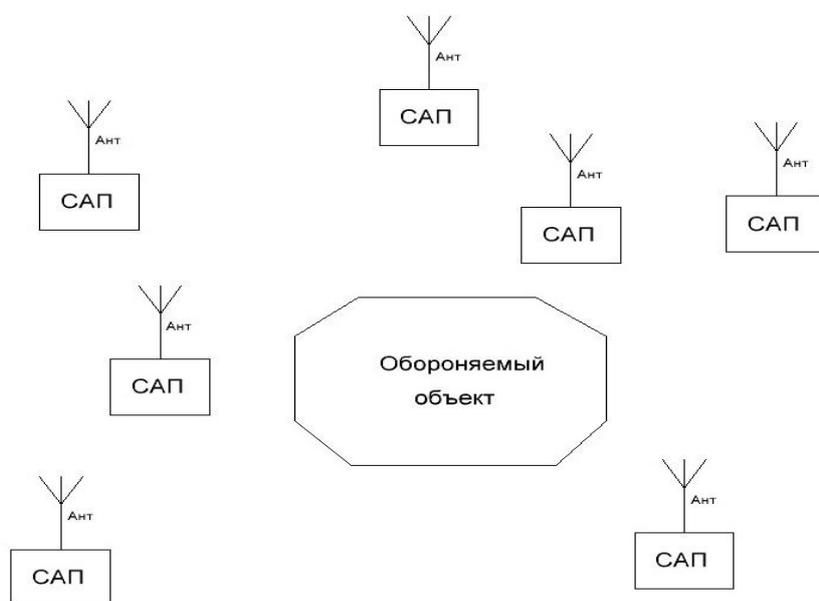


Рис. 1. Структурная схема многопозиционной САП

В точке наблюдения  $O$  результирующая напряженности поля суммарного сигнала  $e_p(t)$  с максимальной амплитудой  $E_p$  и результирующей начальной фазой  $\varphi_p$  может быть записана через напряженности отдельных излучателей  $e_1(t), e_2(t), e_s(t)$  следующим образом:

$$\dot{e}_p(t) = \dot{e}_1(t) + \dot{e}_2(t) + \dot{e}_s(t) = E_p \times \exp[j(\omega t + \varphi_p)],$$

где  $\dot{e}_1(t) = E_1 \times \exp[j(\omega t + \varphi_{01})]$ ;  $\dot{e}_2(t) = E_2 \times \exp[j(\omega t + \varphi_{02})]$ ;  $\dot{e}_s(t) = E_s \times \exp[j(\omega t + \varphi_{0s})]$ ;  $E_1, E_2$  и  $E_s$  – максимальные значения амплитуд напряженностей поля от отдельных излучателей;  $\varphi_{01}, \varphi_{02}, \varphi_{0s}$  и  $\omega$  – их начальные фазы и круговая частота.

Величина амплитуды результирующего колебания в соответствии с принципом суперпозиции полей будет определяться выражением [1]:

$$E_p = \sqrt{E_{KP}^2 + E_S^2 + 2E_{KP}E_S \cos(\Delta\varphi_p)},$$

где  $\Delta\varphi_p = \varphi_{KP} - \varphi_{0s}$ .

Фаза результирующих колебаний будет определяться выражением  $\varphi_p = \omega t + \varphi_B$ , где

$$\varphi_B = \arctg \left( \frac{E_1 \sin(\varphi_{01} - \pi \frac{L}{\lambda} \sin \theta) + E_2 \sin(\varphi_{02} + \pi \frac{L}{\lambda} \sin \theta) + E_S \sin(\varphi_{0s})}{E_1 \cos(\varphi_{01} - \pi \frac{L}{\lambda} \sin \theta) + E_2 \cos(\varphi_{02} + \pi \frac{L}{\lambda} \sin \theta) + E_S \cos(\varphi_{0s})} \right).$$

Безразмерная ошибка пеленга может быть определена следующим образом.

$$\begin{aligned} \frac{\text{tg} \Delta \psi}{\psi_Y} &= 0.5 \frac{(E_2^2 - E_1^2) + (E_2 E_S \cos(\Delta\varphi_{1s}) - E_1 E_S \cos(\Delta\varphi_{2s}))}{(E_1^2 + E_2^2 + E_S^2) + 2(E_1 E_2 \cos(\Delta\varphi_{12}) + E_1 E_S \cos(\Delta\varphi_{1s}) + E_2 E_S \cos(\Delta\varphi_{2s}))} = \\ &= 0.5 \frac{(E_2^2 - E_1^2) + (E_2 E_S \cos(\Delta\varphi_{1s}) - E_1 E_S \cos(\Delta\varphi_{2s}))}{E_p^2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Из выражения (1) следует, что величина ошибки пеленгации постановщика помех зависит от амплитудно-фазовых соотношений между источниками излучения помехового воздействия.

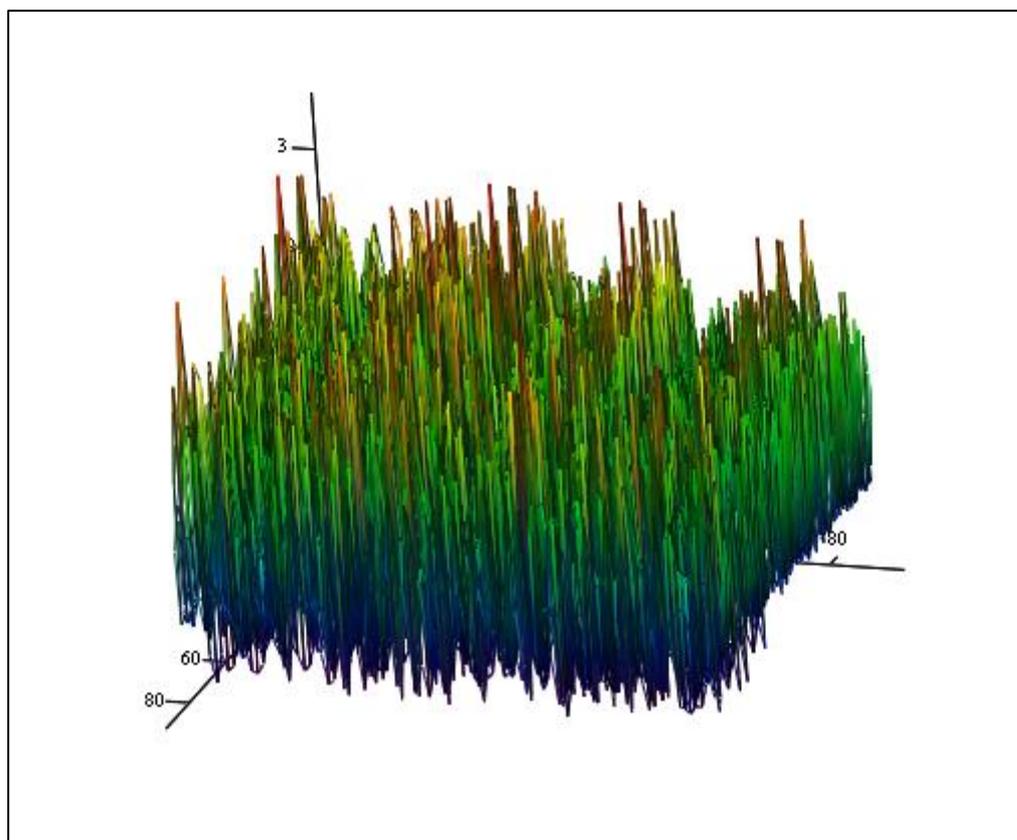
Результаты моделирования показывают:

- величина ошибок пеленгации постановщика когерентных помех зависит от амплитудных и фазовых соотношений между помеховыми сигналами;
- наличие случайной начальной фазы сигналов САП обуславливает в общем случае вероятностный характер изменения величины ошибок пеленгации постановщика когерентных помех.

В соответствии с принятой моделью плотность распределения амплитуды результирующего сигнала будет подчиняться закону Релея с равномерным распределением результирующего сдвига фаз [2]:

$$\begin{aligned} W(E_S) &= \frac{E_S}{\sigma_S^2} \times \exp\left(-\frac{E_S^2}{2\sigma_S^2}\right); \\ W(\Delta\varphi_S) &= \frac{1}{2\pi}, \quad 0 < \Delta\varphi_S < 2\pi. \end{aligned}$$

Величина результирующего сдвига фаз в точке наблюдения может быть найдена как сумма  $S$  случайных величин, равномерно распределенных в соответствующих интервалах [2].



Sum1

Рис. 2. Суммарная диаграмма направленности многопозиционной САП

Для обеспечения когерентности САП все формируемые в передающем модуле частоты используют одну опорную частоту. Эту опорную частоту формирует стабильный квантовый малогабаритный генератор и с заданными фазовыми ошибками подает на делитель сигнала, делитель сигнала распределяет опорный сигнал на  $N$  синтезаторов частот. ВЧ сигнал от синтезатора частот поступает на фазовый модулятор, с помощью которого формируется заданная полоса подавления. Цифровой код, поступающий на фазовый модулятор, одинаков для всех САП и жестко синхронизирован с опорным генератором. После фазового модулятора сигнал поступает на усилительный тракт, затем на антенну и излучается. На рис. 3 показана структурная схема САП.

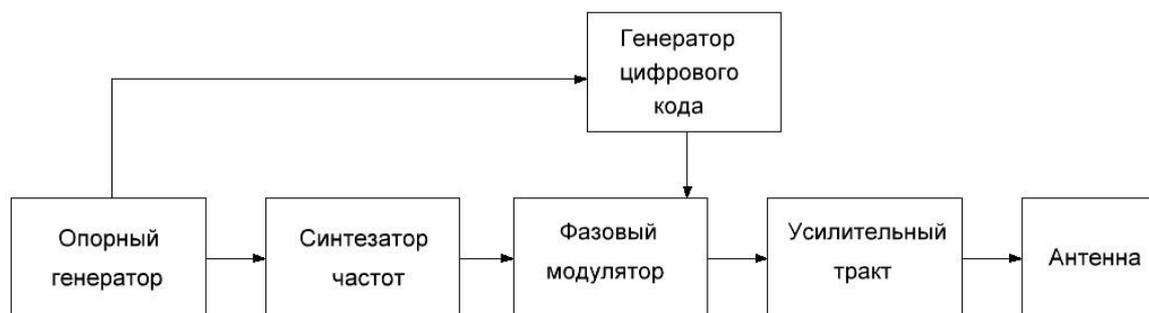


Рис. 3. Структурная схема САП

Применение высокостабильных опорных генераторов позволяет обеспечить когерентность помеховых сигналов. Так как САП распределены в пространстве в хаотическом порядке, соответственно, в направлении РЛС помеховые сигналы будут суммироваться со случайной, но стабильной (относительно времени накопления РЛС) начальной фазой, что

относительно обработки РЛС будет представлять собой протяженный объект с блуждающим фазовым центром. Результаты моделирования работы РЛС по такому объекту показали, что ошибка сопровождения по углам многопозиционной САП с помощью РЛС с суммарно-разностной обработкой зависит от дистанции разведения САП и дистанции между многопозиционной САП и РЛС. Также применение данного многопозиционного САП позволяет блокировать распознавание и селекцию обороняемого объекта с помощью РЛС со сверхразрешением.

Рассмотрим суммарно-разностную моноимпульсную систему. Данный тип систем менее требователен к идентичности характеристик приемных каналов и поэтому более широко используется в современных активных радиолокационных головках самонаведения (АРГСН). В таких системах принятые от цели сигналы с выхода антенны поступают в суммарно-разностный преобразователь (волноводный мост), где они суммируются и вычитаются. С выходов волноводного моста суммарный и разностный высокочастотные сигналы поступают в суммарный и разностный приемные каналы, где преобразуются в сигналы промежуточной частоты и усиливаются до необходимой величины. Амплитуда разностного сигнала определяет величину угловой ошибки, а разность фаз между суммарным и разностным сигналом – знак угловой ошибки, т.е. направление отклонения цели от равносигнального направления.

Блок-схема амплитудной суммарно-разностной моноимпульсной системы для пеленгации приведена на рис. 4. Сигналы на выходе антенны первого и второго каналов при малых отклонениях цели от равносигнального направления определяются выражениями:

$$\dot{E}_1(t, \theta) = E_m F_1(\theta) \exp(j\omega t) = E_m F(\theta - \theta_0) \exp(j\omega t) = E_m F(\theta_0)(1 + \mu\theta) \exp(j\omega t),$$

$$\dot{E}_2(t, \theta) = E_m F_2(\theta) \exp(j\omega t) = E_m F(\theta + \theta_0) \exp(j\omega t) = E_m F(\theta_0)(1 - \mu\theta) \exp(j\omega t),$$

где  $F(\theta)$  – характеристика направленности антенны,  $\mu$  – пеленгационная чувствительность.

Суммарный и разностный сигналы на выходе волноводного моста с учетом баланса мощностей примут вид:

$$\dot{E}_c(t, \theta) = \frac{1}{\sqrt{2}} [\dot{E}_1(t, \theta) + \dot{E}_2(t, \theta)] = \sqrt{2} E_m F(\theta_0) \exp(j\omega t),$$

$$\dot{E}_p(t, \theta) = \frac{1}{\sqrt{2}} [\dot{E}_1(t, \theta) - \dot{E}_2(t, \theta)] = \sqrt{2} E_m F(\theta_0) \mu \theta \exp(j\omega t).$$

После преобразования по частоте и усиления на входе квадратурного демодулятора суммарный и разностный сигналы могут быть представлены выражениями:

$$\dot{i}_c(t, \theta) = \exp(j(\omega_{np}t + \varphi_1)),$$

$$\dot{i}_p(t, \theta) = \mu \times \exp(j(\omega_{np}t + \varphi_1)).$$

Фаза разностного сигнала меняется в зависимости от направления отклонения цели относительно равносигнального направления и может совпадать с фазой суммарного сигнала либо быть с ним в противофазе. При отсутствии рассогласования, когда направление на цель совпадает с равносигнальным направлением антенной системы, отраженные от цели сигналы на входе приёмных каналов имеют равные амплитуды. Вследствие этого разностный сигнал равен нулю.

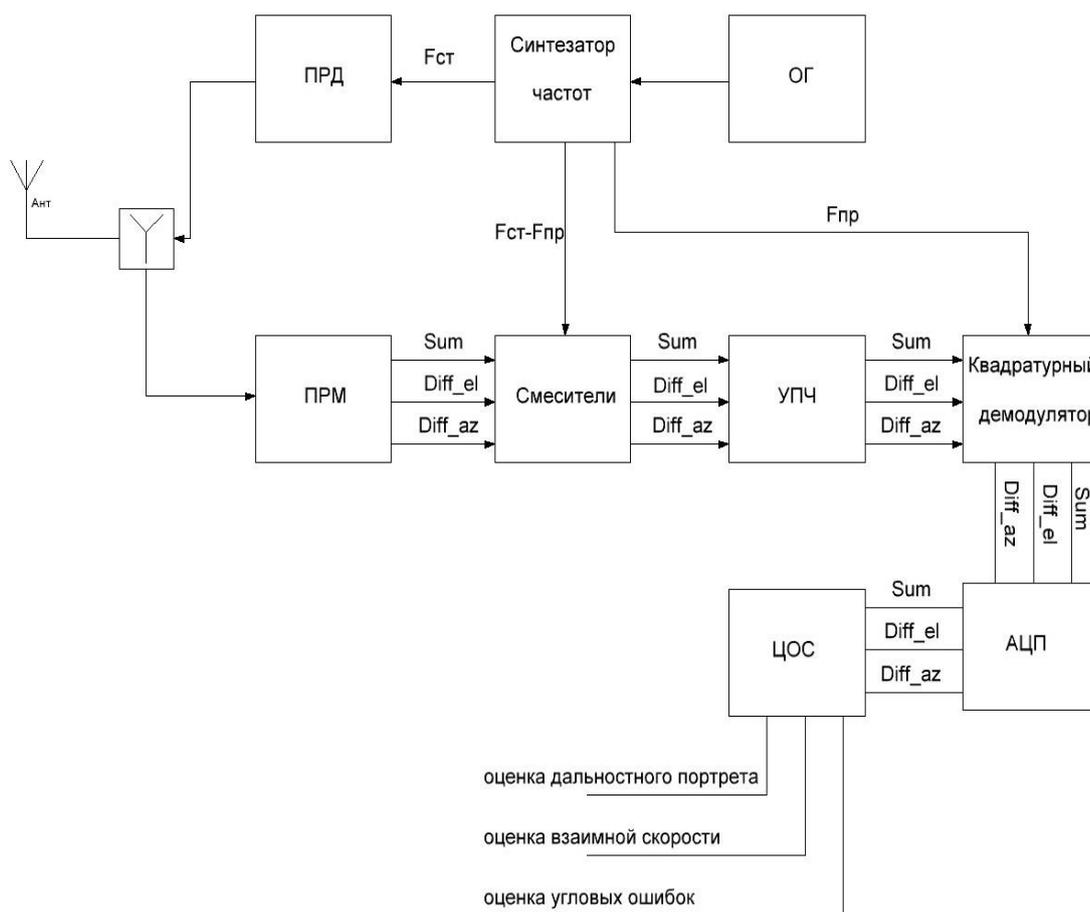


Рис. 4. Структурная схема АРГСН:

ПРД – передатчик, ПРМ – приемный тракт, ОГ – опорный генератор,  
 УПЧ – усилитель промежуточных частот, АЦП – аналого-цифровой преобразователь,  
 ЦОС – блок цифровой обработки сигналов

Разностный канал непосредственно используется для управления положением антенной системы в процессе пеленгования или в процессе автоматического сопровождения цели.

Образующийся при приеме суммарный сигнал используется не только в качестве опорного сигнала, но и для обнаружения цели, а также измерения дальности до цели и ее скорости.

Если на входе антенны действуют сигналы двух когерентных источников, то возможно создание такого результирующего сигнала, при котором равносигнальное направление (РСН) пеленгатора ориентируется на точку, находящуюся за пределами базы.

Если пеленгуется одиночный точечный источник, то нулевой сигнал на выходе разностного канала суммарно-разностной схемы, а следовательно, и на выходе фазового детектора получится в том случае, когда направление на источник излучения совпадает с равносигнальным направлением. Нулевое напряжение на выходе фазового детектора в точке устойчивого равновесия соответствует положению на оси углов равносигнального направления, определенного как по основному лучу диаграммы направленности, так и по боковым лепесткам.

Определим положение РСН на оси углов при одновременном воздействии на пеленгатор когерентных сигналов нескольких разнесенных в пространстве источников. Если не рассматривать устойчивость пеленгатора, то равносигнальному направлению будет соответствовать равенство нулю сигнала на выходе разностного канала, т.е. необходимым условием, определяющим положение равносигнального направления на оси углов, является равенство нулю напряжения на выходе разностного канала.

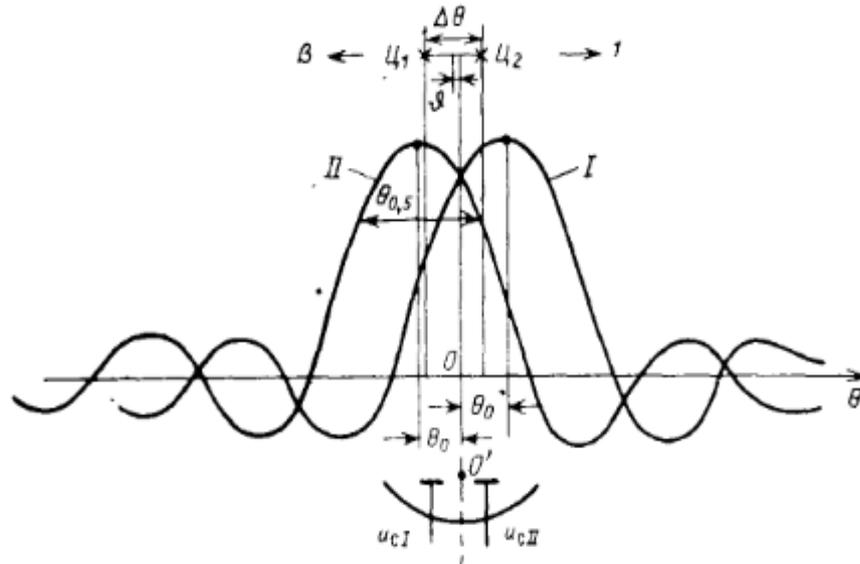


Рис. 5. Сечение диаграммы направленности антенны моноимпульсного амплитудного пеленгатора

Рассмотрим рис. 5. Пусть источники когерентных сигналов видны из точки, соответствующей геометрическому центру  $O'$  антенны подавляемого пеленгатора, под углом  $\Delta\theta$ .

Найдем результирующий сигнал на выходе разностного канала суммарно-разностного моноимпульсного пеленгатора [3].

Рассмотрим два случая.

Первый случай: колебания, создаваемые источниками в центре раскрыва антенны координатора, находятся в фазе ( $\psi = 0$ ) (рис. 6).

Суммарный сигнал, порождаемый источниками Ц1 и Ц2 соответственно на выходах облучателей I и II:

$$U_1(\psi) = \beta \times f\left(-\theta_0 - \frac{\Delta\theta}{2} - \psi\right) + f\left(-\theta_0 + \frac{\Delta\theta}{2} - \psi\right),$$

$$U_2(\psi) = \beta \times f\left(\theta_0 - \frac{\Delta\theta}{2} - \psi\right) + f\left(\theta_0 + \frac{\Delta\theta}{2} - \psi\right),$$

$$U(\psi) = U_1(\psi) - U_2(\psi) = 0.$$

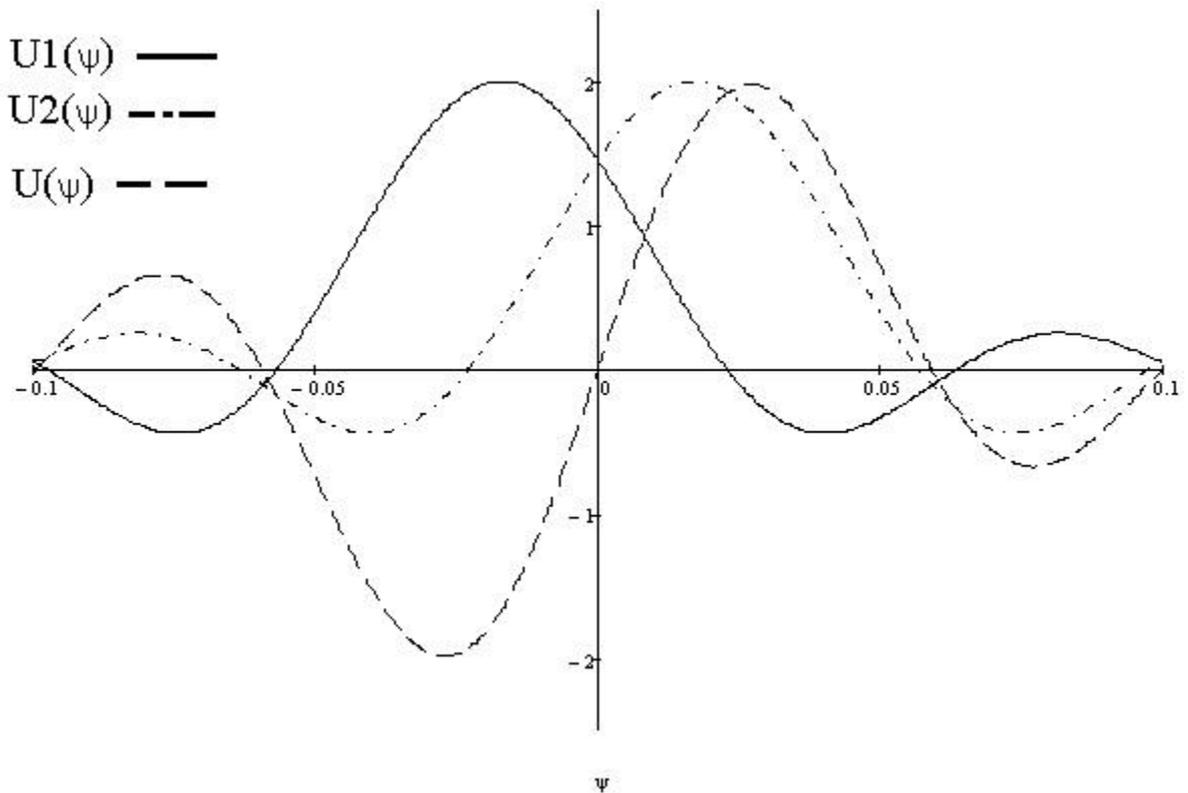


Рис. 6. Штриховой линией показана пеленгационная характеристика при воздействии когерентных синфазных помех

При  $\beta = 1$  ось равносигнальной зоны (РСЗ) ориентируется на середину базы помеховых сигналов. При  $\beta \rightarrow \infty$  и  $\beta \rightarrow 0$  ось РСЗ соответственно ориентируется на источник Ц1 или Ц2.

Второй случай: поля, порождаемые когерентными источниками в центре раскрыва антенны пеленгатора, находятся в противофазе ( $\psi = \pi$ ) (рис. 7).

Суммарный сигнал, порождаемый источниками Ц1 и Ц2 соответственно на выходах облучателей I и II:

$$U_1(\psi) = \beta \times f\left(-\theta_0 - \frac{\Delta\theta}{2} - \psi\right) - f\left(-\theta_0 + \frac{\Delta\theta}{2} - \psi\right),$$

$$U_2(\psi) = \beta \times f\left(\theta_0 - \frac{\Delta\theta}{2} - \psi\right) - f\left(\theta_0 + \frac{\Delta\theta}{2} - \psi\right),$$

$$U(\psi) = U_2(\psi) - U_1(\psi).$$

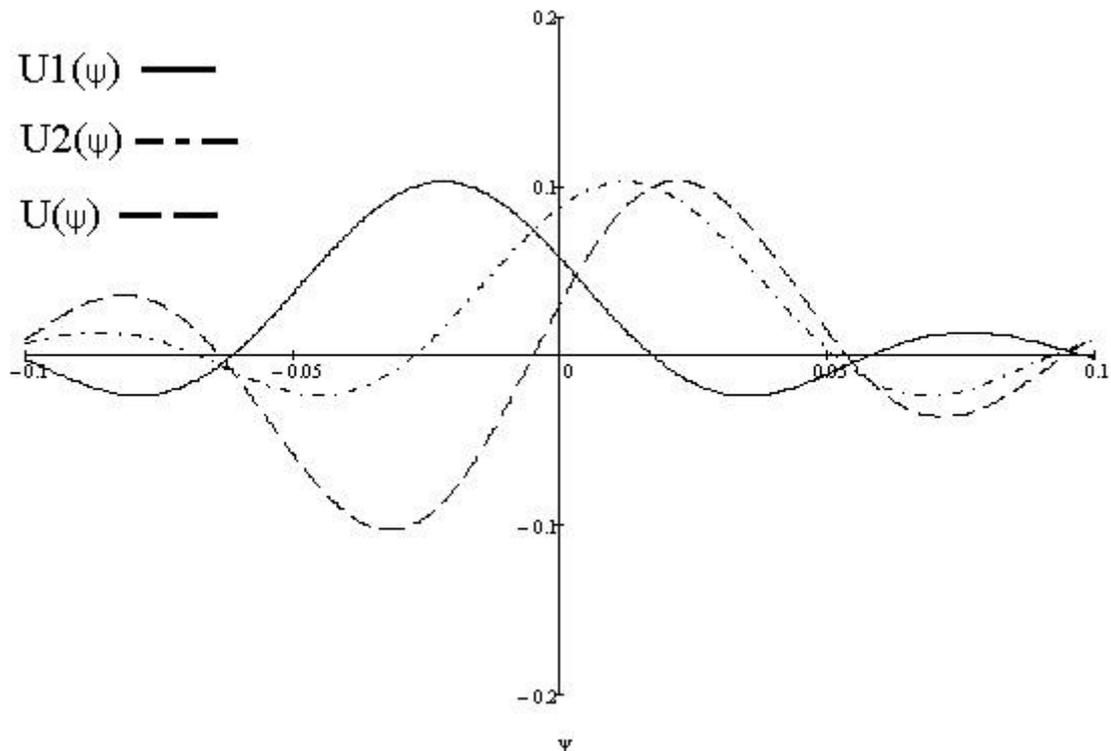


Рис. 7. Штриховой линией показана пеленгационная характеристика при воздействии когерентных противофазных помех

Как видно из рис. 8, РСН смещено относительно нуля на величину ошибки  $\vartheta$ . В данном случае на дистанции 1 км при  $\beta = 1.1$  ошибка равна  $\vartheta = 0.28^\circ$ . При  $\beta = 1$  ошибка равняется  $\vartheta = 1.58^\circ$  на дистанции 100 м.

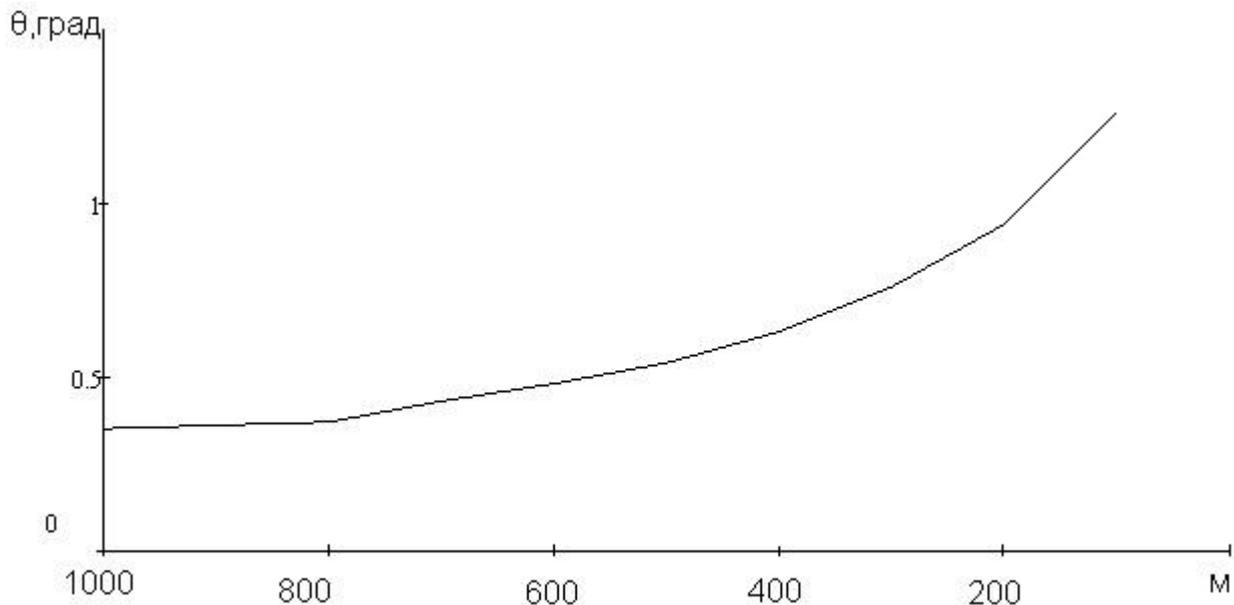


Рис. 8. График изменения ошибки пеленгатора

Проведено моделирование работы РЛС [4] со сверхразрешением по обороняемому объекту при наличии и отсутствии многопозиционной САП. На рис. 9 показан дальностный портрет обороняемого объекта, полученный с помощью РЛС. На рис. 10 показан дальностный портрет в условиях применения многопозиционной САП. На рис. 11 показан график измерений одной из угловых координат в режиме слежения за обороняемым объектом. На рис. 12 показан график измерений одной из угловых координат в режиме применения многопозиционной САП.

Результаты моделирования показывают, что применение многопозиционной САП искажает дальностный портрет цели, удлиняя ее по дальности (рис. 10), что осложняет функционирование РЛС.

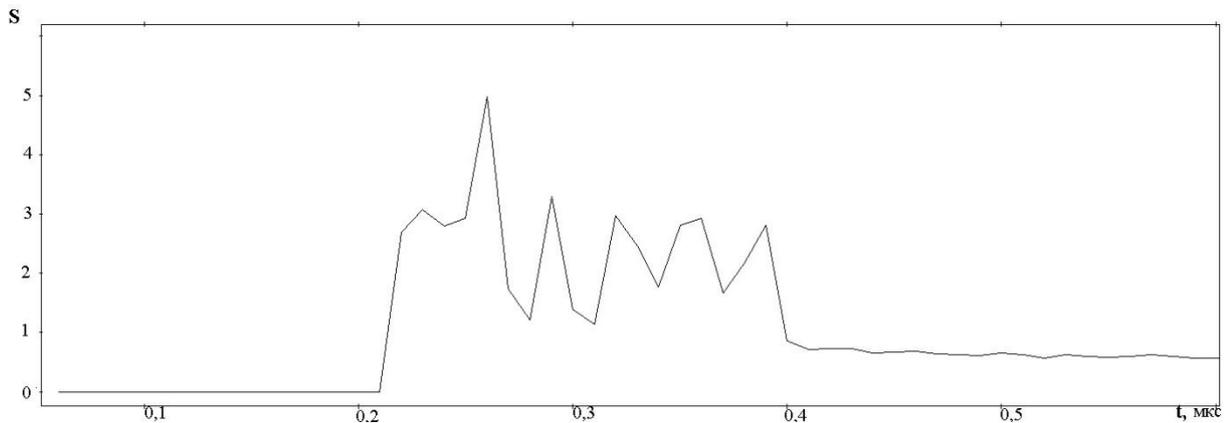


Рис. 9. Дальностный портрет обороняемого объекта

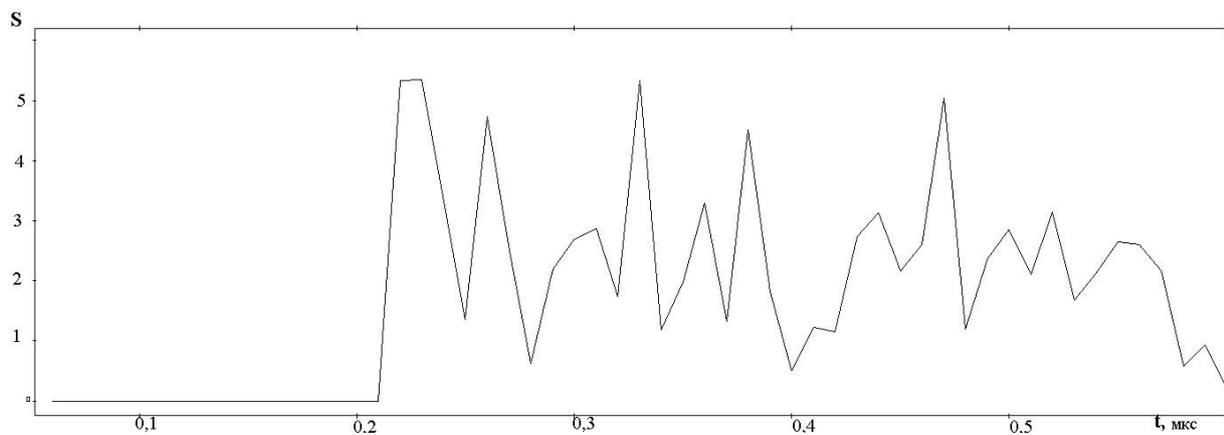


Рис. 10. Дальностный портрет обороняемого объекта в условиях применения многопозиционной САП

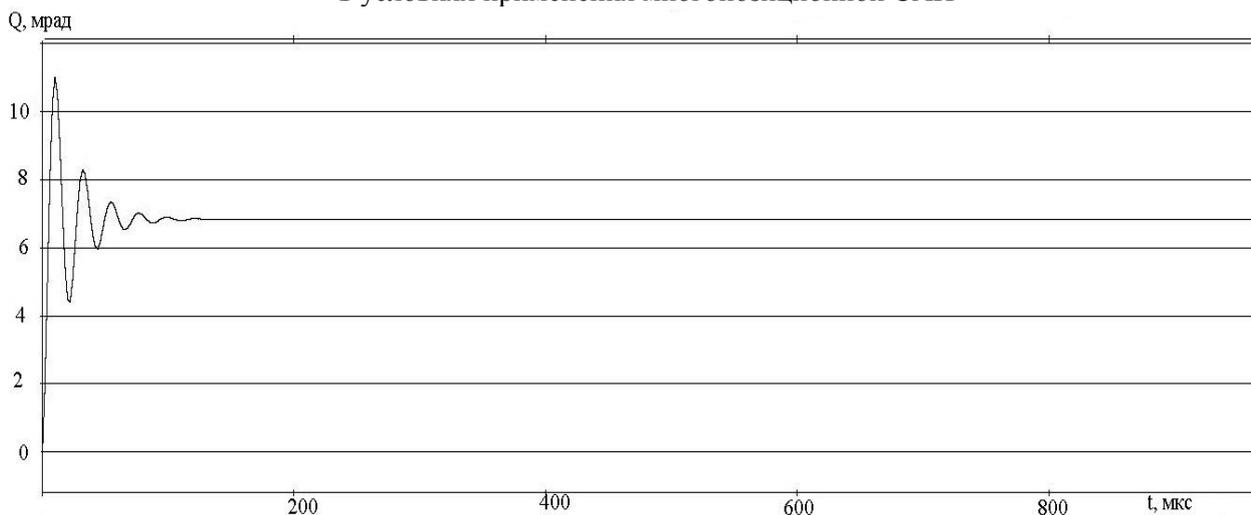


Рис. 11. График измерений одной из угловых координат в режиме слежения за обороняемым объектом

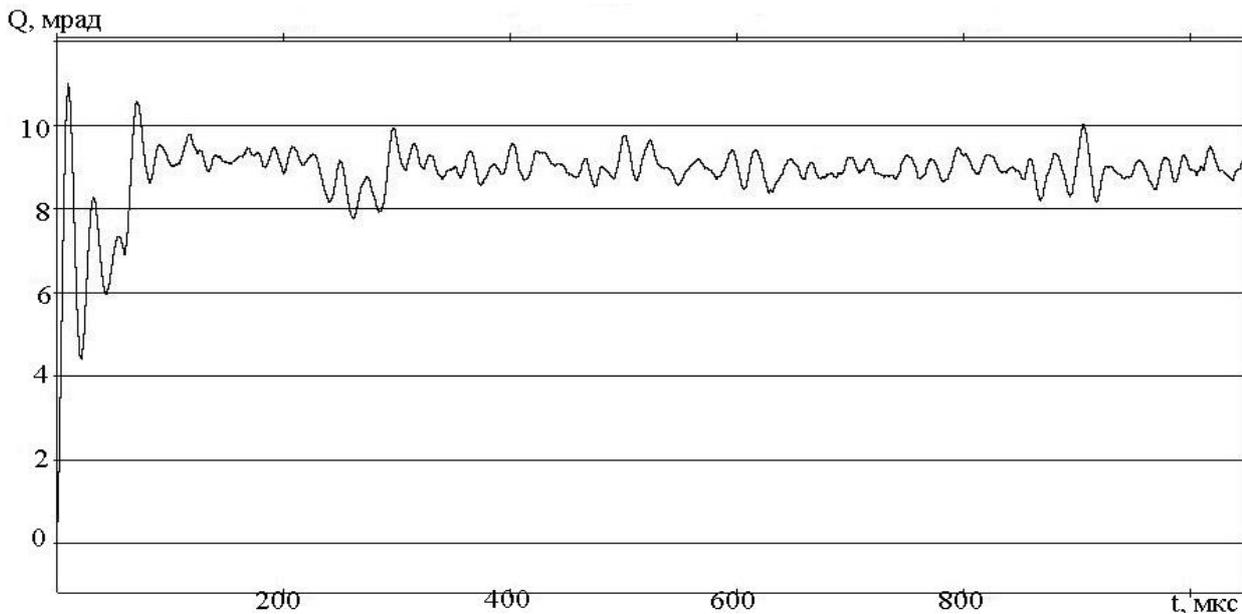


Рис. 12. График измерений одной из угловых координат в режиме слежения за обороняемым объектом в режиме применения многопозиционной САП

### 3. Заключение

В результате проведенного исследования получено:

- величина ошибок пеленгации постановщика когерентных помех зависит от амплитудных и фазовых соотношений между помеховыми сигналами;
- наличие случайной начальной фазы сигналов САП обуславливает в общем случае вероятностный характер изменения величины ошибок пеленгации постановщика когерентных помех;
- дальностный портрет цели искажается, что предотвращает возможность распознавания обороняемого объекта.

### Литература

1. *Фатов А. В.* Математическая модель постановщика когерентных помех // Математическая морфология. 2012. Т. 11. № 1. С. 1–8.
2. *Островитянов Р. В., Басалов Ф. А.* Статистическая теория радиолокации протяженных целей. М.: Радио и связь, 1982. 232 с.
3. *Вакин С. А., Шустов Л. Н.* Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки. М.: Советское радио, 1968. 448 с.
4. *Grant H. Riedl.* Advanced research into moving target imaging using multistatic radar. Naval postgraduate school, California, 2009. 45 p.

Статья поступила в редакцию 11.05.2016

**Павлов Григорий Львович**

д.т.н, доцент кафедры автономных информационных и управляющих систем МГТУ им. Н. Э. Баумана (Москва, Госпитальный пер., д. 10), тел. (499) 263-67-53, e-mail: wave@sm.bmstu.ru.

**Казарян Саркис Манукович**

к.т.н, инженер НИИСМ МГТУ им. Н. Э. Баумана (Москва, Госпитальный пер., д. 10), тел. (499) 263-67-53, e-mail: wave@sm.bmstu.ru.

**Цисарский Александр Дмитриевич**

к.т.н, доцент кафедры автономных информационных и управляющих систем МГТУ им. Н. Э. Баумана (Москва, Госпитальный пер., д. 10), тел. (499) 263-67-53, e-mail: wave@sm.bmstu.ru.

**Promising technology for the creation of a coherent multistatic electronic warfare**

**Gregory L. Pavlov, Sarkis M. Ghazaryan, Alexander D. Tcisarsky**

The technology of creating a coherent multistatic coherent electronic warfare with active noise interference is considered in this paper. Simulation is carried out and the results meeting the requirements of a real product are obtained.

*Keywords:* coherent, multistatic, electronic warfare.