

БИСТАТИЧЕСКИЕ РЛС С ПОДСВЕТКОЙ ИОНОСФЕРНЫМИ СИГНАЛАМИ СВЯЗНЫХ СТАНЦИЙ КОРТКОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА

И. В. Луценко, И. В. Попов, В. И. Луценко

*Институт радиофизики и электроники им. А. Я Усикова НАН Украины
12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина
E-mail: lutsenko@ire.kharkov.ua*

Рассмотрена возможность обнаружения воздушных объектов в бистатических РЛС, использующих в качестве сигнала подсветки ионосферные сигналы связанных коротковолновых станций. Экспериментально исследованы спектры сигналов подсветки, определены требования к степени подавления прямого сигнала для обеспечения обнаружения на заданных дальностях. Рассмотрена возможность построения комплекса бистатических систем, использующих связанные коротковолновые станции. Ил. 4. Табл. 3. Библиогр.: 3 назв.

Ключевые слова: активно-пассивные системы, ионосферная волна, сигнал подсветки, бистатические РЛС, углы прихода, воздушные цели.

Для эффективного мониторинга воздушного пространства в условиях быстрого развития высокоточных средств подавления источников излучения требуются новые нестандартные подходы. Использование в бистатических радиолокаторах широкополосных квазишумовых сигналов, в качестве которых выступают информационные сигналы телевизионных и вещательных станций, обеспечивает повышенную скрытность и живучесть в условиях сложной электромагнитной и целевой обстановки и применения большого числа источников шумовых помех.

Нами предпринята попытка обнаружения воздушного объекта на основе информации о доплеровских смещениях частоты рассеянных целью сигналов, при «подсветке» ее внешним источником. В качестве внешнего источника, создающего поле подсветки рассматриваются связанные коротковолновые станции.

1. Концепция построения бистатических РЛС с подсветкой через ионосферу. Система обнаружения воздушных объектов с использованием излучения связанных коротковолновых вещательных станций может быть отнесена к классу полуактивных радиолокационных станций. Обнаружение производится на основе приема электромагнитных полей, излучаемых вещательными станциями и отраженных воздушными целями. Одним из первых идею построения бистатической декаметровый РЛС, использующей подсветку ионосферной волной, высказал известный радиофизик И. С. Тургенев. Для селекции полезного сигнала объекта на фоне пассивных помех, создаваемых отражениями от местности, можно использовать когерентную обработку с выделением сигнала доплеровской частоты, обусловленного изменением расстояния, проходящего электромагнитной волной по трассе: источник подсветки - ионосфера - объект - приемник. Схематическое изображение в плане системы обнаружения с подсветкой через ионосферу сигналом

вещательной станции показано на рис. 1.

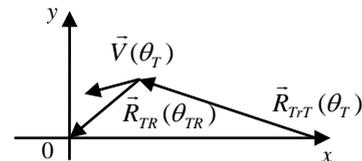


Рис. 1. Схематическое изображение бистатической системы в плане

При доплеровской селекции можно выделять спектральную линию несущей на доплеровской частоте. Отношение сигнал-шум $\mu = \mu_{TR}\mu_{SN}$ при этом будет определяться отношением мощностей сигнала объекта μ_{TR} и подсветки, а также отношением уровня спектральной линии несущей к спектральной плотности шума в диапазоне доплеровских частот (скоростей), где происходит обнаружение объекта μ_{SN} . Выражение для оценки дальности обнаружения R_{TR} в бистатических РЛС, использующих в качестве подсветки сигнал связанных коротковолновых станций можно записать в виде [1]:

$$R_{TR} = \sqrt{\frac{\mu_{SN}}{\mu} \frac{\sigma_T}{4\pi} \frac{F^2(\theta_T)}{F^2(\theta_{TR})}}, \quad (1)$$

где σ_T - бистатическая ЭПР цели; $F^2(\theta_T), F^2(\theta_{TR})$ - значение диаграммы направленности приемной антенны по мощности при направлении на передатчик θ_T и на цель θ_{TR} . Оценки с использованием соотношения (1) показывают, что при глубине провала диаграммы направленности антенны, ориентированного в направлении на передатчик около 40 дБ, требуемых для об-

наружения с вероятностями правильного обнаружения 0,9 - 0,99, ложной тревоги 10^{-2} - 10^{-5} соотношений сигнал - помеха 10 - 15 дБ, уровнях шумов передатчика по отношению к спектральной плотности несущей 40 - 50 дБ при расстройках на доплеровское смещение частоты, ЭПР воздушных объектов в резонансной области 10^3 - 10^4 м² ожидаемые дальности обнаружения будут составлять 20-100 км.

2. Эффективные поверхности рассеяния воздушных объектов в декаметровом диапазоне. ЭПР самолета на горизонтальной поляризации в резонансной области определяется его

длиной и размахом крыла как $\sigma \approx 3,44L^2$. На вертикальной поляризации, как показали экспериментальные исследования [2,3], резонанс наступает, когда высота самолета примерно соответствует четверти длины волны облучающего поля. При этом его ЭПР примерно соответствует ЭПР полуволнового диполя. С учетом этих соотношений были оценены ЭПР самолетов на горизонтальной и вертикальной поляризациях в резонансной области, а также определены резонансные частоты (табл. 1).

Таблица 1

Размеры, резонансные частоты и ЭПР некоторых типов самолетов

| Тип самолета | Назначение | Длина самолета, м | Размах крыла, м | Высота самолета, м | Горизонтальная поляризация | | Вертикальная поляризация | |
|--------------|------------|-------------------|-----------------|--------------------|----------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
| | | | | | ЭПР, 1000м ² | Частоты, МГц | ЭПР, 1000м ² | Частоты, МГц |
| С-17А | Т | 53 | 51 | 16,79 | 9,7-9 | 2,8-2,9 | 1,25 | 4,5 |
| ЕМВ-145RS | Т | 30 | 20 | 6,75 | 3-1,4 | 5-7,5 | 0,2 | 11,1 |
| «Мираж» | И | 15,3 | 9,3 | 4,5 | 0,77-0,24 | 10-17,9 | 0,09 | 16,7 |
| F1 | | | | | | | | |
| ТА-7 | Ш | 14,1 | 11,8 | 4,9 | 0,67-0,56 | 10,7-17,9 | 0,1 | 15,3 |
| «Корсар2» | | | | | | | | |
| Бе-12 | Т | 30,1 | 30,2 | 7,4 | 3,1 | 5 | 0,24 | 10,1 |
| Бе-200 | Т | 32 | 32,7 | 8,9 | 3,7-3,5 | 4,6-4,7 | 0,35 | 8,4 |
| АН-24 | П | 23,5 | 29,2 | 8,3 | 1,9-2,9 | 6,4-5,1 | 0,31-0,33 | 9-8,7 |
| АН-26 | Т | 23,8 | | 8,6 | | | | |
| АН-22 | Т | 57,3 | 64,4 | 13,5 | 12,5-13,5 | 2,6-2,3 | 0,81 | 5,6 |
| АН-72 | Т | 28 | 31,9 | 8,7 | 2,7-3,5 | 5,4-4,7 | 0,34 | 8,6 |
| АН-74 | | | | | | | | |
| Ил-18 | П | 35,9 | 37,4 | 10,2 | 4,4-4,8 | 4,2-4 | 0,46 | 7,4 |
| Ил-62 | П | 53,1 | 42,5 | 12,3 | 9,7-6,2 | 2,8-4,5 | 0,67 | 6,1 |
| Ил-76 | Т | 46,6 | 50,5 | 14,8 | 7,5-8,8 | 3,2-3 | 0,97 | 5,1 |
| Ил-114(Т) | П(Т) | 26,9 | 30 | 9,3 | 2,5-3,1 | 5,6-5 | 0,38 | 8,1 |
| Ту160 | СБ | 54,1 | 35,6-55,7 | 13,1 | 4,4-10,7 | 4,2-2,7 | 0,76 | 5,7 |
| Ту22МЗ | СБ | 41,46 | 23,3- 34,28 | 11 | 1,9-5,9 | 6,4-3,6 | 0,54 | 6,8 |
| Б-52 | СБ | 49,05 | 56,39 | 12,4 | 8,3-10,9 | 3,1-2,7 | 0,68 | 6 |
| Миг-29 | И | 17,32 | 11,36 | 4,73 | 0,4-1 | 13,2-8,7 | 0,099 | 15,9 |

В табл. 1 использованы следующие сокращения по назначению самолетов: Т- транспортный; СБ- стратегический бомбардировщик; П- пассажирский; Ш- штурмовик; И- истребитель.

3. Экспериментальное исследование уровней помех для бистатических РЛС с подсветкой связными станциями через ионосферу. При использовании в качестве сигнала подсветки связных станций коротковолнового диапазона длин волн рассеянный объектом сигнал $\dot{S}_T(t)$ имеет структуру схожую со структурой сигнала подсветки $\dot{S}_{Tr}(t)$:

$$\begin{aligned} \dot{S}_{Tr}(t) &= S_0(1 + ma(t)) \exp(i\omega_0 t) + N_R(t), \\ \dot{S}_T(t) &= \mu_{TR}^{0,5} [S_0(1 + ma(t)) \exp(i(\omega_0 + \omega_D)t) + \\ &+ N_{Tr}(t)] + N_R(t), \end{aligned} \quad (2)$$

где S_0, ω_0, m - уровень несущей, ее частота и коэффициент амплитудной модуляции; $a(t)$ - информационный сигнал, передаваемый вещательной станцией; $N_{Tr}(t), N_R(t)$ - шумы передающего и приемного устройств соответственно; ω_D - доплеровское смещение частоты, определяемое скоростью изменения суммы расстояний от передатчика до цели и от цели до приемника:

$$\omega_D = \frac{2\pi}{\lambda_0} \frac{2\partial(R_{TrT} + R_{TrR})}{\partial t} \leq \frac{2\pi}{\lambda_0} 2V_0, \quad (3)$$

где $\lambda_0 = \frac{2\pi c}{\omega_0}$ - длина волны несущей; V_0 - скорость полета.

Следует отметить, что в рассеянном сигнале будут присутствовать смещенные на доплеровскую частоту спектральные компоненты, не только связанные с несущей частотой, но и с передаваемым информационным сигналом. Они могут использоваться для определения координат объектов, однако для этого необходимо использовать корреляционные принципы обработки сигналов. Как видно из соотношений (2), одним из факторов, ограничивающих соотношение сигнал - шум и, в конечном счете, дальность обнаружения, является уровень спектральной плотности шумов, в первую очередь передатчика. Это связано с тем, что в отличие от внутренних шумов приемного устройства их влияние не может быть ослаблено за счет повышения чувствительности, приводящей к снижению уровня внутреннего шума, либо путем применения более совершенных антенных систем, увеличивающих уровень принимаемого полезного сигнала. А соотношение (3) показало, что для воздушных объектов, имеющих крейсерские скорости полета 600 - 2000 км/ч диапазон доплеровских смещений частоты в декаметровом диапазоне длин волн 60 - 20 м не превышает 3 - 30 Гц. В то же время спектр информационного сигнала вещательных станций сосредоточен на частотах выше 50 Гц. Это означает, что в интервале частот между несущей и частотами информационного сообщения возможно осуществление обнаружения сигналов, отраженных от воздушных объектов. Было проведено экспериментальное изучение уровней помеховых составляющих в диапазоне частот между линией несущей и информационным сигналом. В качестве приемной антенны использовался диполь с эффективной высотой около 40 см, которая при помощи симметрирующего устройства подключалась к профессиональному приемнику типа «Катран». Смена поляризации приема осуществлялась путем ее поворота на 90°.

На рис. 2 приведены спектры сигналов вещательных станций в окрестности несущей частоты на различных поляризациях приема.

Полученные в ходе экспериментов соотношения уровней несущей к уровню шумов на различных частотах и поляризация приема при расстройке на 10 Гц относительно несущей приведены в табл. 2.

Их анализ показывает, что уровень шума практически одинаков при смещении как влево, так

и вправо от несущей частоты. Разница, как правило, не превышает 3 дБ. Однозначный вывод о влиянии смены поляризации на соотношение между несущей и уровнем шума сделать не удалось, однако в ряде случаев большие отношения сигнал - шум наблюдались при вертикальной поляризации приема. В случаях односкачкового распространения наблюдаются более узкие ширины полос несущей и большие отношения сигнал - помеха, чем в случаях многоскачкового распространения.

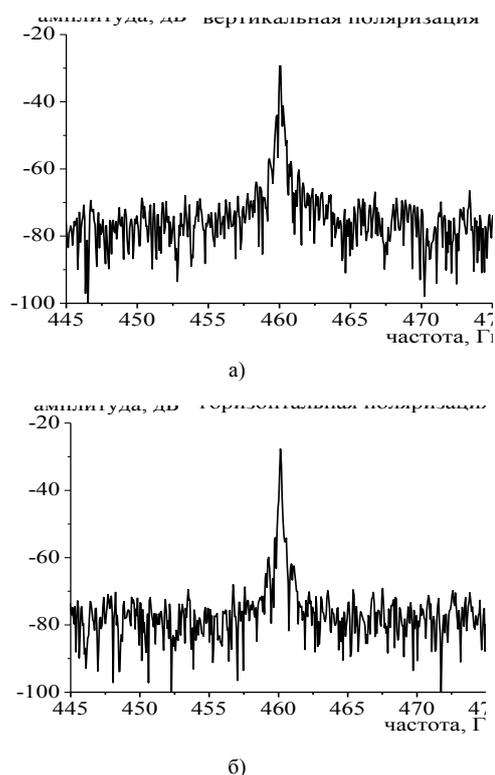


Рис. 2. Спектры сигналов вещательных станций в окрестности несущей частоты на различных поляризациях приема

Таблица 2
Отношение сигнал - шум на различных частотах и поляризация приема

| Частота, кГц | Поляризация | Ширина линии несущей, Гц | Сигнал-шум при расстройке от несущей, дБ | |
|--------------|-------------|--------------------------|------------------------------------------|--------|
| | | | -10 Гц | +10 Гц |
| 15130 | В | 0,56 | 61,08 | 57,76 |
| 15130 | Г | 0,5 | 54,16 | 52,94 |
| 15130 | В | 0,57 | 60,65 | |
| 15130 | Г | 0,49 | 58,43 | |
| 15130 | В | 1,07 | 45,4 | 44,04 |
| 15130 | Г | 0,81 | 47,06 | 49,5 |
| 9490 | Г | 0,34 | 60,36 | 60,36 |
| 9490 | В | 0,28 | 57,85 | 58,15 |
| 13904 | В | 0,76 | 47,97 | 48,61 |
| 13904 | В | 0,77 | 50,07 | 48,16 |
| 13904 | Г | 1,17 | 44,31 | 44,3 |
| 5909 | В | 0,34 | 51,96 | 52,89 |

| | | | | |
|------|---|------|-------|------|
| 5909 | Г | 0,42 | 47,89 | 49,5 |
|------|---|------|-------|------|

Это обстоятельство можно использовать для прогнозирования возможностей использования различных станций подсветки для обнаружения воздушных объектов по ширине линии несущей.

4. Опыты по обнаружению самолетов с использованием в качестве подсветки ионосферных сигналов связных станций. Были проведены эксперименты для оценки возможности обнаружения воздушных объектов с использованием в качестве сигнала подсветки излучения связных станций коротковолнового диапазона (рис. 3).

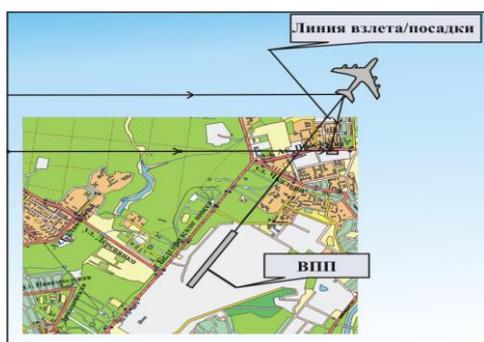


Рис. 3. Геометрия расположения приемо-передающих пунктов и трассы полета самолетов

В качестве объектов пеленгования использовались турбореактивные самолеты типа АН-74-ТК200 и турбовентиляторные самолеты типа АН-140. На рис. 4 приведены спектры сигналов несущей и смещенной на доплеровскую частоту линии корпуса самолета.



а)



б)

Рис. 4. Спектры сигналов несущей и смещенной на доплеровскую частоту линии корпуса самолета

Числовые характеристики: соотношение уровней несущей и спектральной линии отраженного от самолета сигнала, а также ее ширина при различных поляризациях приема приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики линии корпуса отражений от самолета

| Частота, МГц | Поляризация | Линия корпуса | | Отношение сигнал-шум, дБ | | Отношение сигнал-несущая, дБ |
|--------------|-------------|---------------|------------|--------------------------|-------|------------------------------|
| | | Частота, Гц | Ширина, Гц | 10 Гц | 3 Гц | |
| 15,13 | В | 4,22 | 1,12 | 38,79 | 24,76 | 22,29 |
| 15,13 | Г | 4,03 | 0,68 | 32,19 | 20,4 | 21,97 |
| 15,13 | В | 3,58 | 1,05 | 34,65 | 23,55 | 26,0 |
| 15,13 | Г | 3,58 | 0,9 | 32,33 | 21,68 | 26,1 |

Следует отметить, что отраженные от самолета сигналы как на горизонтальной, так и на вертикальной поляризациях имеют примерно одинаковое превышение над уровнем несущей. В наших опытах использовался диполь, который в азимутальной плоскости имел круговую диаграмму направленности. Время формирования спектральной оценки было около 10 с. Дальность наблюдения самолетов в нашем случае составляла единицы километров. При этом соотношение сигнал - шум, как видно из табл. 3 превышало 30 дБ при расстройке на 10 Гц и более 20 дБ при расстройке около 3 Гц. Такие соотношения сигнал - шум достаточны для надежного обнаружения. Формирование провала глубиной около 40 дБ в направлении станции подсветки при незначительном ослаблении сигнала цели позволит реализовать ее обнаружение на дальностях более 100 км. Следует отметить, что ширина спектральной линии корпуса на вертикальной поляризации несколько больше, чем на горизонтальной поляризации. Имеющийся к настоящему времени экспериментальный материал не позволяет сделать однозначный вывод о преимуществах использования какой-либо из поляризаций приема.

Выводы. Получены энергетические соотношения для трасс распространения: станция подсветки - ионосфера - объект - приемник и станция подсветки - ионосфера - приемник, которые показали, что при подавлении прямого сигнала на 40 дБ возможно обнаружение воздушных объектов на удалении более 100 км. Установлено, что соотношение спектральной плотности несущей сигнала подсветки к спектральной плотности шумов в полосе частот, характерных для доплеровских смещений частоты сигналов, отраженных от воздушных объектов, составляет для

большинства станций 40-50 дБ. Экспериментально подтверждена возможность построения комплекса бистатических систем, использующих связанные коротковолновые станции для подсветки.

1. Лобочко С. Е. Построение системы обнаружения с использованием излучения УКВ и ТВ - передатчиков // Международ. научн. конф. «Излучение и рассеяние ЭМВ» ИРЭМВ*2003, Таганрог. - 2003. - С.287-290.
2. Lutsenko V. I., Khomenko S. I. Frequency Dependences of Target RCS at Decameter Wave lengths // «Telecommunications and radio engineering». - 1997. - N4. - P.67-74.
3. Lutsenko V. I., Tolstel S. Yu. Frequency Dependences of Scattering Matrices in the Resonance Domaine // Telecommunication and radio Engineering. - 2001. - 55. - N4. - P.33-39.

BISTATIC RADAR WITH ILLUMINATION IONOSPHERIC SIGNALS OF UHF COMMUNICATION STATIONS

I. V. Lutsenko, I. V. Popov, V. I. Lutsenko,

The possibility of air objects detection in bistatic radars of decameter band, using as illuminator the ionosphere wave signal of communication stations is considered. Radar cross section estimation for the basic air objects types are cited, that are the detection objects. Spectral characteristics and their dependences on distance to the illuminator were investigated experimentally. Determined that relation of the illuminating signal carrier spectral density to noise spectral density in the frequency band typical for the Dopp-

ler frequency bias of the signal scattered from air objects is 40-50 db for the most stations. The requirements to the depth of forming of directional pattern null in the illuminator direction are determined. The possibility of bistatic systems complex constructions that used the communication UHF stations and provide determination of position of object detection using information about bearing Doppler frequency bias of receiving from object signal is considered.

Key words: active-passive systems, ionosphere wave, illuminator signal, biostatic RLS radars, air objects.

БИСТАТИЧНІ РЛС ІЗ ПІДСВІЧУВАННЯМ ІОНОСФЕРНИМИ СИГНАЛАМИ ЗВ'ЯЗКОВИХ СТАНЦІЙ КОРОТКОХВИЛЬОВОГО ДІАПАЗОНУ

І. В. Луценко, І. В. Попов, В. І. Луценко

Розглянуто можливість виявлення повітряних об'єктів в бістатичних РЛС, що використовують як сигнал підсвічування іоносферні сигнали зв'язкових короткохвильових станцій. Експериментально досліджено спектри сигналів підсвічування, визначено вимоги до ступеня придушення прямого сигналу для забезпечення виявлення на заданих дальностях. Розглянуто можливість побудови комплексу бістатичних систем, що використовують зв'язкові короткохвильові станції.

Ключові слова: активно-пасивні системи, іоносферна хвиля, сигнал підсвітки, бістатичні РЛС, повітряні цілі.

Рукопись поступила 9 января 2007 г.