

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2023-38-40-45>

ОБ ОДНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ОСНОВНОГО УРАВНЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИИ

Моисеев А.А.

Научно-производственное предприятие «Технос – РМ», Мытищи, Россия

Ключевые слова: ЭПР, псевдоретранслятор, приемная антенна, разнесенный локатор, излучатель подсветки, чувствительность приемника, основное уравнение радиолокации, уровень приемной мощности, признак обнаружения.

Аннотация. В геометрическом приближении ЭПР обнаруживаемого объекта рассматривается как спутниковый псевдоретранслятор, приемная антенна которого представляет собой проекцию ЭПР на плоскость, перпендикулярную направлению на излучатель разнесенного локатора, а излучающая антенна – как проекция ЭПР на плоскость, перпендикулярную направлению на приемник этого локатора. В этих условиях основное уравнение радиолокации интерпретируется как условие баланса излучаемой мощности в отсутствие дополнительных потерь. В ходе проведенного численного эксперимента выбирались положения излучателя и приемника разнесенного локатора на земной поверхности, а также подспутниковая точка псевдоретранслятора. Рассчитывался уровень приемной мощности в дБ относительно заданной чувствительности приемника. Признаком обнаружения в этих условиях считалось положительное значение указанного уровня.

ABOUT THE SPECIAL INTERPRETATION OF BASE LOCATION EQUATION

Moiseev A.A.

Scientific and industrial entertainment “Technos – RM”, Mytisch, Russia

Keywords: radar cross – section, satellite pseudo relay, bistatic radar, receiving antenna, irradiator of illumination, base location equation, receiver sensitivity, receiving power level, detection sign.

Abstract. In geometrical approximation radar cross – section interpreted as satellite pseudo relay whose receiving antenna is projection on plane perpendicular to irradiator of bistatic radar and irradiating antenna is projection on plane perpendicular to receiver of bistatic radar. In this situation, base location equation is in fact balance condition for irradiating and receiving powers of bistatic radar at additional loss absence. In the course of numerical experiment chosen positions of irradiator and receiver bistatic radar on earth surface, and sub satellite point of pseudo relay. Receiving power level calculated in decibel relatively to receiver sensitivity. Detection sign in this situation is positive level of receiving power.

В геометрическом приближении эффективная площадь рассеяния (ЭПР) S обнаруживаемого объекта рассматривается как псевдоретранслятор спутникового базирования. Считается, что его приемная антенна имеет площадь S' , равную проекции ЭПР на плоскость, перпендикулярную направлению на излучатель подсветки разнесенного радиолокатора [1, 2]. В свою очередь, площадь S'' излучающей антенны псевдоретранслятора равна проекции ЭПР на плоскость, перпендикулярную направлению на приемник этого радиолокатора. Коэффициент усиления антенны излучателя составляет

в соответствии с [3] $G_1 = \frac{4\pi S_1}{\lambda^2} = 4\pi S_1 \frac{f^2}{c^2}$, где S_1 – площадь антенны;

λ, f – длина волны и частота излучателя, c – скорость света. Приемная антенна псевдоретранслятора собирает часть мощности излучателя, доля которой составляет $\frac{S'}{4\pi d_1^2}$, где d_1 – дальность до излучателя разнесенного локатора.

Эта мощность переизлучается с коэффициентом усиления $G_2 = \frac{4\pi S''}{\lambda^2} = 4\pi S'' \frac{f^2}{c^2}$ в направлении приемника. Приемная антенна собирает долю переизлученной мощности, которая составляет $\frac{S_2}{4\pi d_2^2}$, где S_2 – площадь

приемной антенны разнесенного локатора, d_2 – дальность до этого приемника.

В этих условиях основное уравнение радиолокации [2] представляет собой условие баланса излучаемой мощности в отсутствие дополнительных потерь. Условие обнаружения спутника при этом приобретает вид:

$$P = P_0 G_1 \frac{S'}{4\pi d_1^2} G_2 \frac{S_2}{4\pi d_2^2} > P_m, \quad (1)$$

где P, P_0 – приемная мощность и мощность излучателя локатора; P_m – чувствительность приемника.

Примем для географических координат:

- излучателя разнесенного локатора – (φ_t, λ_t) ;
- приемника разнесенного локатора – (φ_r, λ_r) ;
- подспутниковой точки псевдоретранслятора – (φ_s, λ_s) .

В соответствии со сферической теоремой косинусов [3] получаем:

$$\begin{aligned} \alpha &= \arccos(\sin \varphi_t \sin \varphi_s + \cos \varphi_t \cos \varphi_s \cos(\lambda_t - \lambda_s)), \\ \beta &= \arccos(\sin \varphi_r \sin \varphi_s + \cos \varphi_r \cos \varphi_s \cos(\lambda_r - \lambda_s)). \end{aligned} \quad (2)$$

где α – угол между вертикалью в подспутниковой точке и направлением на передатчик локатора из центра Земли; β – угол между вертикалью в подспутниковой точке и направлением на приемник локатора из центра Земли.

Из треугольников ODC и ODA находим по теореме косинусов [4]:

$$\begin{aligned} d_1^2 &= R^2 + (R+h)^2 - 2R(R+h) \cos \alpha, \\ d_2^2 &= R^2 + (R+h)^2 - 2R(R+h) \cos \beta, \end{aligned} \quad (3)$$

где R, h – радиус Земли и высота орбиты.

Из рисунка 1 следует также для упоминавшихся проекций ЭПР:

$$S' = S \cos \alpha'; \quad S'' = S \cos \beta', \quad (4)$$

где в соответствии с теоремой синусов для треугольников ODC и ODA:

$$\alpha' = \arcsin \left(R \frac{\sin \alpha}{d_1} \right); \quad \beta' = \arcsin \left(R \frac{\sin \beta}{d_2} \right).$$

Подставляя (2)-(4) в (1), получаем выражение условия обнаружения спутника через входные переменные и заданные параметры.

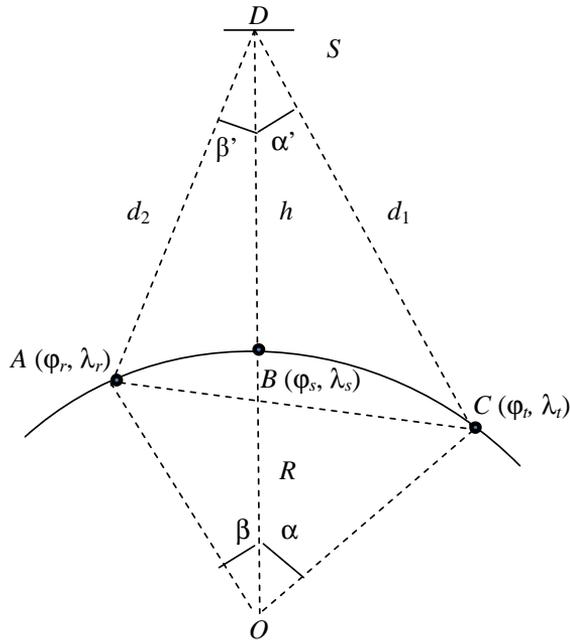


Рис. 1. Положение спутника

В ходе численного эксперимента, проведенного в Excel [7], положение излучателя подсветки было выбрано в центральном Средиземноморье (район Палермо), положение приемника – в центральной России (район Москвы), а положение подспутниковой точки псевдоретранслятора – в западной Украине (район Винницы). В соответствии с (1) рассчитывался уровень p приемной мощности в дБ:

$$p = 10 \lg(P / P_m). \quad (5)$$

Условие обнаружения при этом имеет вид $P > 0$.

Уровень приемной мощности в дБ отображался в виде семейства зависимостей от ЭПР, изменяющегося в диапазоне $[1, 20 \text{ м}^2]$. Указанные семейства строились для следующих ситуаций [2, 8, 9]:

- предполагаемые высоты орбит 200, 500 и 1000 км;
- чувствительности приемника -115, -125 дБ на Вт;
- мощности передатчика 100 кВт и 1 МВт;
- диаметры приемной и излучающей антенн 5 м.

Результаты численного эксперимента приведены на рисунках 2-4. Их анализ показывает:

- при минимальном усилении антенн на частотах 0,4 ГГц и 1,5 ГГц обнаружение в заданном диапазоне ЭПР практически отсутствует;
- на частоте 3 ГГц и при чувствительности приемника – 125 дБ обнаружение имеет место в заданном диапазоне ЭПР при мощности излучателя 1 МВт и при ЭПР $> 5 \text{ м}^2$ при мощности излучателя 100 кВт;
- на частоте 3 ГГц и при чувствительности приемника – 115 дБ обнаружение имеет место при ЭПР $> 5 \text{ м}^2$ при мощности излучателя 1 МВт и практически отсутствует при мощности излучателя 100 кВт;

- на частоте 5 ГГц обнаружение в заданном диапазоне ЭПР обеспечивается при чувствительности приемника – 125 дБ;
- на частоте 5 ГГц обнаружение при ЭПР > 5 м обеспечивается при чувствительности приемника – 115 дБ и мощности излучателя 100 кВт.

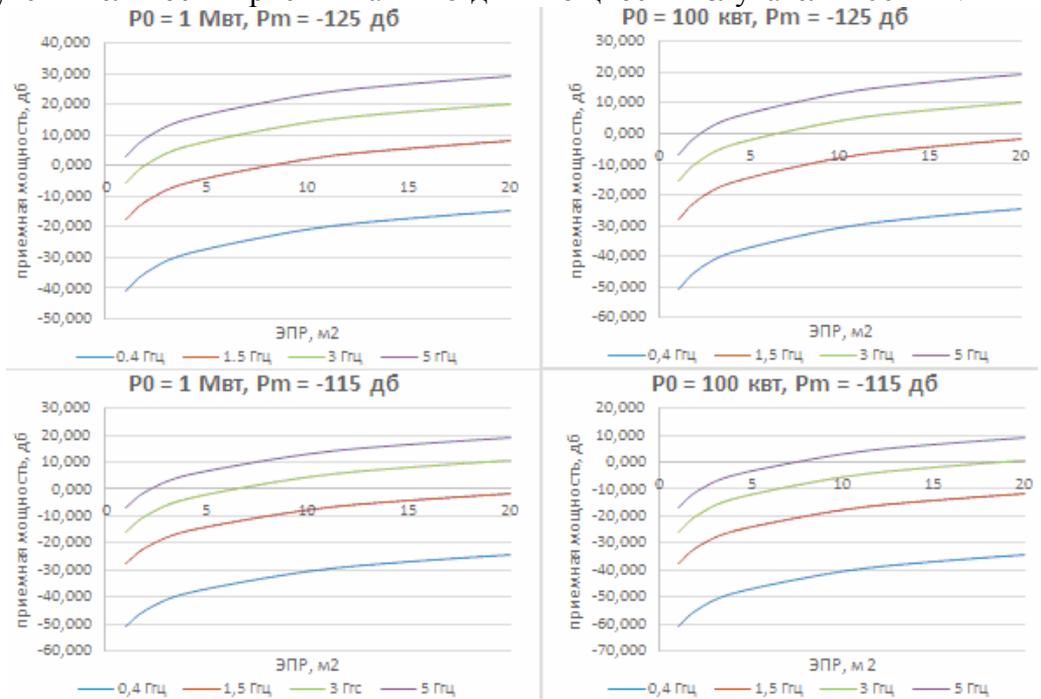


Рис. 2. Высота орбиты 200 км

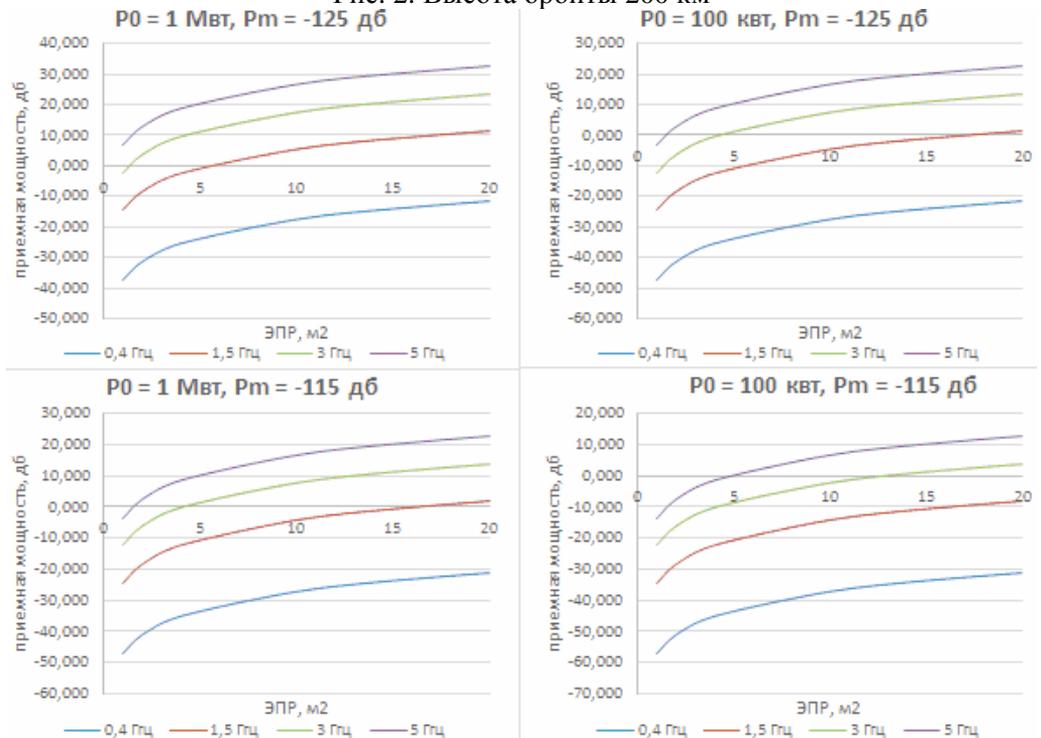


Рис. 3. Высота орбиты 500 км

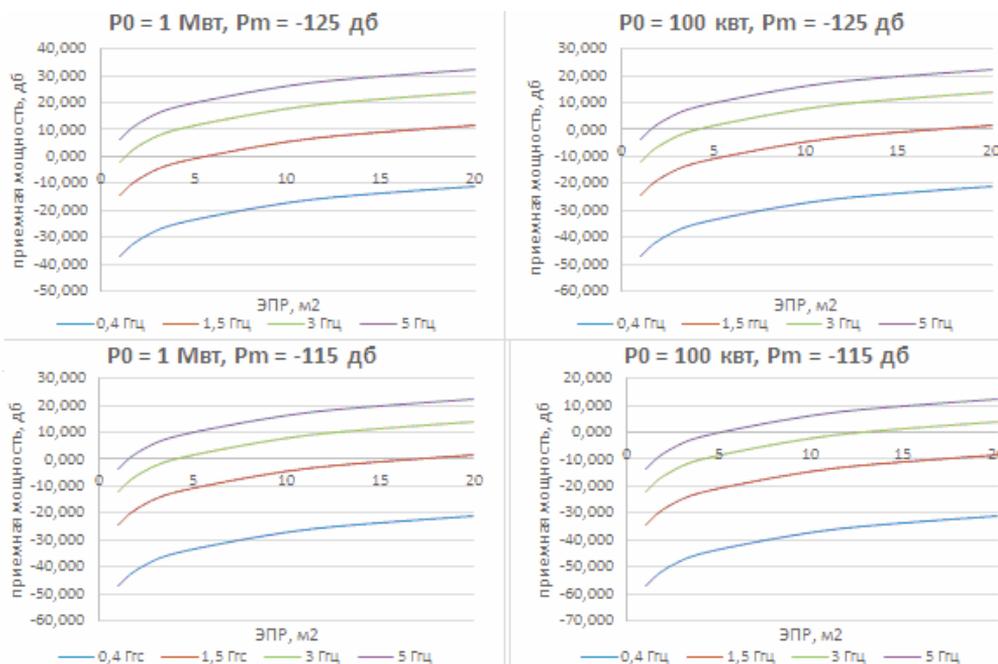


Рис. 4. Высота орбиты 1000 км

Выводы

1. В геометрическом приближении ЭПР обнаруживаемого объекта рассматривается как спутниковый псевдоретранслятор, приемная антенна которого представляет собой проекцию ЭПР на плоскость, перпендикулярную направлению на излучатель разнесенного локатора, а излучающая антенна – как проекция ЭПР на плоскость, перпендикулярную направлению на приемник указанного локатора.

2. В этих условиях основное уравнение радиолокации интерпретируется как условие баланса излучаемой мощности в отсутствие дополнительных потерь.

3. В ходе проведенного численного эксперимента выбирались положения излучателя и приемника разнесенного локатора на земной поверхности, а также подспутниковая точка псевдоретранслятора. Рассчитывался уровень приемной мощности в дБ относительно заданной чувствительности приемника. Признаком обнаружения в этих условиях считалось положительное значение указанного уровня.

3. Результаты эксперимента показали, что минимальное усиление антенн на частотах излучателя 0,4 ГГц и 1,5 ГГц не обеспечивает обнаружения в заданном диапазоне ЭПР.

4. На частоте излучателя 3 ГГц и при чувствительности – 125 дБ обнаружение обеспечивается в заданном диапазоне ЭПР при мощности излучателя 1 МВт и при ЭПР $> 5 \text{ м}^2$ при мощности излучателя 100 кВт. При чувствительности – 115 дБ обнаружение обеспечивается при мощности излучателя 1 МВт и ЭПР $> 5 \text{ м}^2$. При мощности излучателя 100 кВт обнаружение отсутствует.

5. На частоте излучателя 5 ГГц и при чувствительности – 125 дБ обеспечивается обнаружение в заданном диапазоне ЭПР. При чувствительности – 115 дБ обеспечивается обнаружение при ЭПР > 5 м².

Список литературы

1. Аверьянов В.Я. Разнесенные радиолокационные станции и системы. – Минск: Наука и техника, 1978. – 184 с.
2. Skolnik M. Radar handbook. – NY, McGraw – Hill, 2008. – 1328 p.
3. Лавров А.С., Резников Г.Б. Антенно-фидерные устройства. – М.: Советское радио, 1974. – 368 с.
4. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. – М.: Радиотехника, 2004. – 320 с.
5. Степанов Н.Н. Сферическая тригонометрия. – М.: Гостехиздат, 1948. – 166 с.
6. Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике. – М.: Наука, 1966. – 424 с.
7. Васильев А.Н. Научные вычисления в Microsoft Excel. М.: Вильямс, 2004. – 512 с.
8. Кулешов В.Н., Удалов Н.Н., Богачёв В.М., Белов Л.А., Коптев Г.И., Царапкин Д.П., Хрюнов А.В. Генерирование колебаний и формирование радиосигналов. – М.: МЭИ, 2008. – 416 с.
9. Соколов А.Н., Ермак С.Н., Романович А.Г., Вайдо В.П., Денисевич А.В. Основы построения радиоэлектронных средств. – Минск: БГУИР, 2017. – 100 с.

References

1. Averjanov V. Separated radars and systems. – Minsk: Science and engineering, 1978. – 184 p.
2. Skolnik M. Radar handbook. – NY, McGraw – Hill, 2008. – 1328 p.
3. Lavrov A., Resnikov G. Antenna and feeder devices. – M.: Sov. radio, 1974. – 368 p.
4. Bakulev P. Radiolocation systems. – M.: Radio engineering, 2004. – 320 p.
5. Stepanov N. Spherical trigonometry. – M.: Gostechizdat, 1948. – 166 p.
6. Vygodsky M. Handbook on elementary mathematics. – M.: Science, 1966. – 424 p.
7. Vasiliev A. Science calculations in Microsoft Excel. – M.: Williams, 2004. – 512 p.
8. Kuleshov V.N., Udalov N.N., Bogachev V.M., Belov L.A., Koptev G.I., Tscarapkin D.P., Khryunov A.V. Oscillations generation and radio signals forming. – M.: MPEI, 2008. – 416 p.
9. Sokolov A.N., Ermak S.N. Romanovich A.G., Vaido V.P. Denisevich A.V. Fundamentals of electronics building. – Minsk: BSUIR, 2017. – 100 p.

Моисеев Александр Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник	Moiseev Alexander Aleksandrovich – candidate of technical sciences, senior researcher
slow.coach@yandex.ru	

Received 27.09.2023