

УДК 537.812

А.И. Гладышев<sup>1</sup>

A.I. Gladyshev

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАТИВНОСТИ СИГНАЛЬНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

## EVALUATION OF POTENTIAL INFORMATION CONTENT OF SPACE OBJECTS' RADAR SIGNAL MEASUREMENTS

В статье представлены угло-частотное пространство радиолокационных измерений и динамические характеристики космических объектов.

**Ключевые слова:** радиоинформационные системы, радиолокационные измерения, космические объекты.

The article presents the angle-frequency space radar measurements and dynamic characteristics of space objects.

**Keywords:** radio-information system, radar measurements of space objects.

ВЕСТНИК 2016

Информация о геометрических характеристиках КО, содержащаяся в пространственной и частотной (временной) структурах отраженного радиолокационного сигнала, определяется частотным составом измерений, а также характером собственного вращения объекта и перемещения относительно РИС получения изображений (РИС-И). По характеру собственного вращения ИСЗ обычно подразделяют на несколько категорий [1]: стабилизированные по трем осям, стабилизированные вращением и дестабилизированные, прекратившие активное существование. Условия наблюдения ИСЗ различных категорий будем описывать в декартовой системе координат, связанной с объектом, предполагая, что центр системы координат совпадает с центром масс, как показано на рис.1.1. РИС-И находится в направлении локации  $\vec{d}$ , которое определяется углами сферической системы координат  $\theta, \varphi$ . Область угловых измерений определяется траекторией, описываемой концом вектора локации при движении ИСЗ по орбите. При использовании

<sup>1</sup> Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ИТиЕНД АНО ВО «Российский новый университет».

многочастотных и широкополосных сигналов область измерений для каждого фиксированного направления будет иметь вид лучевого сегмента в  $k$ -пространстве, где  $\vec{k} = (k_1, k_2, k_3)$  – удвоенный волновой вектор, величина которого зависит от имеющейся полосы частот  $\Delta F$  (см. рис. 1.2).

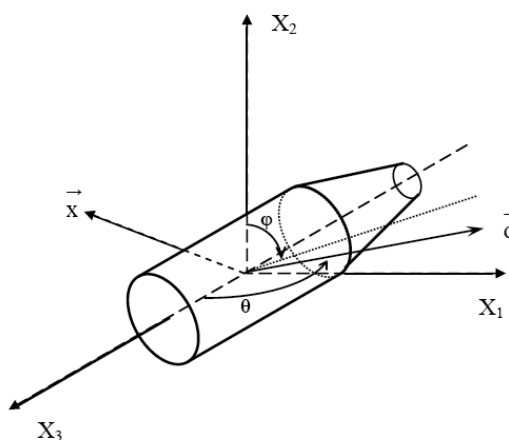


Рис. 1.1. Геометрические соотношения при наблюдении ИСЗ наземной РИС-И

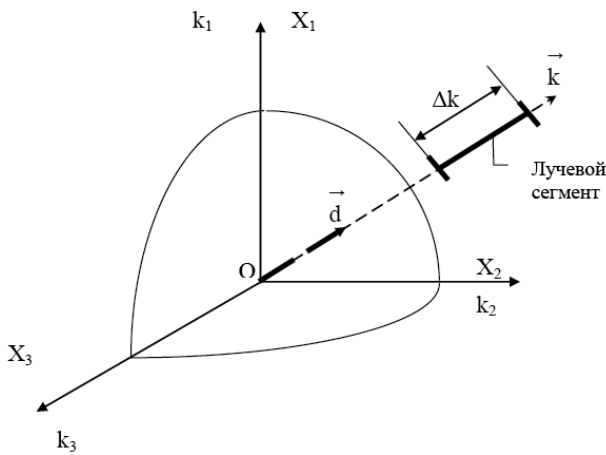


Рис.1.2. Области наблюдений в угло-частотном пространстве при фиксированном ракурсе наблюдения  $\Delta k = 4\pi\Delta F/c$

Для ИСЗ, стабилизированных по трем осям (например, КХ-11(12), «Лакросс»), изменение направления будет определяться параметрами движения центра масс объекта относительно РИС-И. Если предположить, что угол  $\varphi$  в процессе движения остается практически неизменным (ось  $x_3$  направлена вдоль вектора скорости), то типичная область измерений для ИСЗ первой категории будет иметь вид, приведенный на рисунке 1.3. При широкополосных измерениях область представляет собой кольцевой сегмент шириной  $\Delta K = 4\pi\Delta F/c$  или  $\Delta K = K_e - K_n$ , где  $K_e$ ,  $K_n$  – соответственно минимальное и максимальное значения модуля волнового вектора.

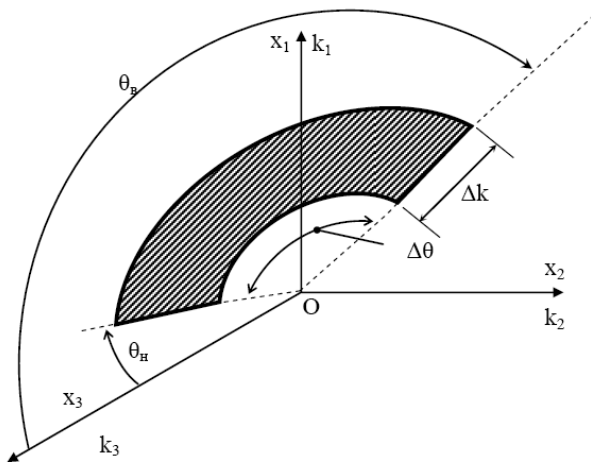


Рис. 1.3. Области наблюдений в угло-частотном пространстве при изменении ракурса наблюдения за счет относительного движения ИСЗ ( $\theta_n, \theta_b$  – соответственно начальное и конечное значения угла,  $\Delta\theta = \theta_b - \theta_n$ )

Для монохроматического сигнала она вырождается в одно сечение угловой диаграммы отражения. На практике, за время одной проводки, равной нескольким минутам, изменение ракурса наблюдения ИСЗ лежит в пределах от  $\theta_n = 20^\circ$  до  $\theta_b = 160^\circ$ . Изменение угла  $\varphi$  для стабилизированных объектов не столь велико и обычно не превышает  $5-10^\circ$ . Наблюдение вращающихся объектов имеет две особенности. Во-первых, за время проводки ИСЗ может периодически наблюдаться в одном и том же угловом интервале. Во-вторых, существует принципиальная возможность получения выборки ракурсов в полном угловом диапазоне от  $0$  до  $360^\circ$ . Для медленно вращающихся ИСЗ, находящихся в режиме кувыркивания, время получения полной ракурсной информации обычно составляет 1-2 мин. Если объект стабилизирован вращением, то это время существенно снижается до нескольких секунд, в частности для ИСЗ типа «Феррет».

В зависимости от вида некоординатных измерений, проводимых наземными РИС-И, на области  $D$  в  $k$ -пространстве будет определена функция, связанная с отражательными и геометрическими характеристиками цели. Для заданной поляризации сигнала при облучении и приеме отражательная способность объекта наиболее полно характеризуется комплексным коэффициентом рассеяния (ККР), квадрат модуля которого определяет ЭПР объекта:

$$|\hat{A}(\bar{k})|^2 = \sigma(\bar{k}),$$

где  $\hat{A}(\bar{k}), \sigma(\bar{k})$  – ККР и ЭПР цели.

Некоординатные измерения, осуществляемые с помощью наземной РИС-И, можно разделить на два типа: широкополосные, понимаемые в обобщенном пространственно-временном смысле, и узкополосные. При узкополосных измерениях пространственно-частотная когерентность сигнала не используется. К ним относятся наиболее распространенные энергетические измерения отраженного сигнала или ЭПР. Обычно предполагается, что выполняется условие  $\Delta F/f_0 \ll 1$  ( $f_0$  – несущая частота) и цель находится в одном элементе разрешения. Тогда можно полагать, что каждому измерению соответствует одна точка в  $k$ -пространстве.

При работе РИС-И в режиме широкополосного зондирования принимаемый сигнал является дальностным портретом (ДП), характеризующим представление отражательной способности цели.

Использование широкополосных сигналов (ШПС) позволяет обеспечить разрешение в продольном направлении, равное:

$$\Delta x = 2\pi/\Delta k = c/2\Delta F,$$

где  $c$  – скорость света, что дает возможность получать одномерные радиолокационные изображения (РЛИ) объекта. В режиме снятия доплеровских спектров или обращенного синтезирования апертуры с использованием узкополосного сигнала РИС-И обеспечивает проведение пространственно-когерентных измерений. Доплеровские портреты представляют собой одномерные изображения объекта – проекции отражательной способности на прямую, перпендикулярную мгновенной угловой скорости вращения и линии визирования.

Если обозначить угловой размер синтезированной апертуры  $\Delta\theta$ , то разрешающая способность в поперечном направлении составит величину:

$$\Delta x_1 \cong \lambda_0 / 2\Delta\theta.$$

С точки зрения решения обратной задачи дифракции, принципиальное значение имеет вопрос об информационной эквивалентности пространственных и частотных измерений. Как пространственные, так и частотные измерения могут характеризоваться изменением вектора  $k$  в угло-частотном пространстве. Запишем относительное приращение вектора в форме

$$\frac{\Delta \vec{k}}{k_0} = \frac{\Delta k}{k_0} \vec{e}_k + \Delta\Theta \vec{e}_\Theta + \Delta\varphi \sin \Theta_0 \vec{e}_\varphi,$$

где  $\vec{e}_k = \vec{d} \vec{e}_\Theta \vec{e}_\varphi$  – орты сферической системы координат в точке  $k = k_0$ ;

$\Delta k, \Delta\Theta, \Delta\varphi$  – соответствующие приращения. Одинаковые приращения волнового вектора по модулю могут быть обеспечены при изменениях

его модульного значения или направления, если выполняется условие:  $\frac{\Delta k}{k_0} = \Delta\Theta = \Delta\varphi \sin \Theta_0$ ,

где  $\Theta_0$  – значение ракурсного угла в точке  $k_0$ . Из этого выражения и равенства  $k_0 = 4\pi f_0/c$  следует соотношение эквивалентности

$$\Delta F/f_0 = \Delta\Theta,$$

определяющее условие равного разрешения в продольном и поперечном направлениях, выполнение которого целесообразно при синтезе двумерных изображений. Это условие обычно реализуется при снятии радиально-доплеровских портретов (РДП), т.е. при когерентной пространственной обработке широкополосного сигнала, что обеспечивает получение двумерных изображений в координатах «кросс-дальность (частота Доплера) – дальность». Область в угло-частотном пространстве, соответствующая таким измерениям, показана на рис. 1.4.



Рис. 1.4. Области в угло-частотном пространстве, соответствующие режимам когерентных измерений

Особенности наблюдения ВОКО, находящихся на геостационарных орбитах, заключаются в том, что ракурсность измерений меньше, чем при наблюдении НОКО. Это может привести к практической невозможности достижения требуемой разрешающей способности в поперечном направлении.

Таким образом, любые виды измерений, проводимые РИС-И, могут быть представлены в угло-частотном пространстве значениями ККР или ЭПР. В общем случае вид области наблюдения представляет собой сферический сегмент и определяется параметрами движения и собственного вращения ИСЗ; видом используемого сигнала и когерентностью проводимой обработки или режимом функционирования РИС-И.

### Литература

1. Козлов Н.Н., Лучин А.А., Труфанов Е.Ю. Радиоинформационные системы. Математическое обеспечение проектирования, испытаний и функционирования. – М. : Знание, 2011. – 703 с.
2. Математическое моделирование и исследование измерительных систем / под ред. В.Л. Макарова. – Киев, 1980. – 166 с.
3. Козлов Н.Н., Ляшко И.И., Макаров В.Л., Цитрицкий О.Е. Математическое обеспечение сложного эксперимента. – Т. 1. Обработка измерений при исследовании сложных систем / Ю.А. Белов, В.П. Диденко. – Киев : Наук. думка, 1982. – 304 с.
4. Белов Ю.А., Диденко В.П., Козлов Н.Н., Ляшко И.И., Макаров В.Л., Цитрицкий О.Е. Математическое обеспечение сложного эксперимента. – Т. 2. Математические модели при измерениях. – Киев : Наук. думка, 1983. – 264 с.
5. Белов Ю.А., Козлов Н.Н., Ляшко И.И., Макаров В.Л., Цитрицкий О.Е. Математическое обеспечение сложного эксперимента. – Т. 3. Основы теории математического модели-

рования сложных радиотехнических систем. – Киев : Наук. думка, 1985. – 272 с.

6. Гладышев А.И. Вопросы математического моделирования радиоинформационных систем. // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ, управление». – 2016. – Выпуски 1–2. – С. 46–52.

7. Гладышев А.И., Аборкина Е.С. Вопросы применения существующих методов оценки сложности информационных систем // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ, управление». – 2016. – Выпуски 1–2. – С. 114–118.