

## ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ НА РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СИГНАЛЫ ПРИ УСКОРЕННОМ ДВИЖЕНИИ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Н.Н. МИНЕРВИН, Д.В. КАРЛОВ, В.М. КОНОВАЛОВ

В статье получены соотношения, необходимые для оценки качества обнаружения, разрешения и точности измерения параметров движения цели, ускоренно движущейся в ионосфере.

*Ключевые слова:* ионосфера, космический объект, радиолокационный сигнал.

### ВВЕДЕНИЕ

Как известно, выбор орбит движения космических аппаратов определяется функциональным назначением этих аппаратов. Это свойство касается и космических аппаратов разведки. По маневрам космических аппаратов разведки можно предусматривать намерения государства, которому принадлежит маневрирующий космический аппарат.

Отсутствие, низкая оперативность или недостоверность информации об изменении космической обстановки может существенно усложнить определение перспектив развития событий вообще и ведение боевых действий в определенном районе в частности.

Сегодня значение космической составляющей в интересах военного дела очевидно [1–4]. Опыт недавних войн и вооружённых конфликтов свидетельствует о том, что в современных условиях всё больше влияния вносят в подготовку и применение группировок войск (сил) военно-космические средства. В современных условиях даже при нынешнем уровне развития военно-космических средств некоторые боевые возможности вооружённых сил за счёт использования информационной и другой космической компоненты интегрально повышаются в 1,5 – 2 раза.

Применение космических систем позволяет почти на 30% увеличить эффективность использования уже существующего военного потенциала государства. Так, космические аппараты разведки обеспечивают повышение точности целеуказания на (30 – 50)% и увеличения количества обнаруженных системой разведки объектов противника на (20 – 30)% и больше, а космический аппарат оптико-электронной разведки за один виток вокруг Земли получает над территорией Украины такое количество снимков, как и самолёт – разведчик за полгода полётов над этой местностью [5].

Многие аппараты разведки, особенно оптико-электронной разведки, двигаются на низких орбитах, и потому особенно подвластны возмущающим факторам от атмосферы Земли. Для организации эффективного противодействия космическим аппаратам разведки необходимо точное знание параметров их движения.

В связи с усложнением траекторий движения космических объектов и повышением требо-

ваний к точности определения параметров траекторий возникает необходимость учета влияния на отраженные сигналы ускоренного движения цели.

В известной литературе [6] особенности влияния ионосферы на радиолокационные сигналы при ускоренном движении цели не рассмотрены.

Цель статьи: получить соотношения, необходимые для оценки качества обнаружения, разрешения и точности измерения параметров движения цели при наличии ускорения.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В настоящей статье анализируются особенности влияния ионосферы для одиночных сигналов, временных и частотных когерентных и некогерентных пачек импульсов.

Используя известные выражения для коэффициента преломления в ионизированной среде

$$n = \sqrt{1 - \frac{\omega_{пл}^2}{\omega^2}} \cong 1 - \frac{\omega_{пл}^2}{2\omega^2}$$

и спектральное представление отраженного сигнала, его можно записать в виде

$$y(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega_0 + \Omega) e^{j\Omega \left[ t - \frac{2r_{II}(t)}{c} - S(t) \right]} d\Omega \times \\ \times e^{j\omega_0 \left[ t - \frac{2r_{II}(t)}{c} + S(t) \right]}.$$

Здесь:  $\Omega = \omega - \omega_0 \ll \omega_0$  – отличие круговой частоты  $\omega$  спектра сигнала от ее центрального значения  $\omega_0$ ;  $G(\omega_0 + \Omega)$  – спектральная плотность излученного сигнала;  $r_{II}(t)$  – дальность до цели в момент времени  $t$ ;  $c$  – скорость света в ваку-

уме;  $S(t) = \frac{1}{c\omega_0^2} \int_0^{r_{II}} \omega_{пл}^2(r) dr$  – изменение запаздывания (фазового и группового) сигнала, обусловленное влиянием ионизированной среды;  $\omega_{пл}^2 = 3190N(r)$  – квадрат круговой плазменной частоты в рад./с при концентрации электронов  $N(r)$  в м<sup>-3</sup> на дальности  $r$ .

Полученному спектральному представлению отраженного сигнала соответствует его временное описание

$$y(t) = U \left[ t - \frac{2r_{II}(t)}{c} - S(t) \right] e^{j\omega_0 \left[ t - \frac{2r_{II}(t)}{c} + S(t) \right]}. \quad (1)$$

Отсюда видно, что при нелинейных зависимостях  $r_{\text{ц}}(t)$  и  $S(t)$  временные законы высокочастотного заполнения и комплексной огибающей  $U(t)$  сигнала искажены, причем за счет влияния ионизированной среды эти искажения отличаются.

Ограничиваясь далее случаем равноускоренного движения цели, можно соотношение (1) свести к виду

$$y(t) = U \left[ t(1-a-b) - (t_3 + S) - t^2(g+h) \right] \times \exp j\omega_0 \left[ t(1-a+b) - (t_3 + S) - t^2(g-h) \right]. \quad (2)$$

Здесь:  $t_3 = \frac{2r_{\text{ц}}(0)}{c}$  – запаздывание сигнала относительно момента его излучения без учета влияния ионизированной среды;  $a = \frac{2\vartheta_r}{c}$  – относительная радиальная скорость  $\vartheta_r$  цели;

$b = \frac{1}{c\omega_0^2} \left[ \omega_{\text{пл}}^2(r_{\text{ц}}) \vartheta_{\text{ц}} + \frac{\vartheta_{\text{ц}}}{r_{\text{ц}}} \int_0^{r_{\text{ц}}} r \cdot \text{grad}_{\perp} \omega_{\text{пл}}^2 dr + \int_0^{r_{\text{ц}}} \frac{\partial \omega_{\text{пл}}^2}{\partial t} dr \right]$  – параметр, определяемый распределением электронов в пространстве, изменением их концентрации во времени и вектором скорости движения цели;  $\vartheta_{\text{ц}}$  и  $\text{grad}_{\perp} \omega_{\text{пл}}^2$  – поперечные к линии радиолокатор-цель составляющие векторов скорости цели и градиента квадрата плазменной частоты  $g = \frac{w_r}{c}$ , где  $w_r$  – радиальное ускорение цели;  $h = \frac{d^2 S(t)}{dt^2} \Big|_{t=0}$ .

Соотношение (2) наглядно выявляет характер искажений сигнала при равноускоренном движении цели. Имеет место частотная модуляция высокочастотных несущих колебаний по линейному закону и изменение временного масштаба комплексной огибающей сигнала по отличающемуся линейному закону.

Рассмотрим далее искажения сигналов в виде пачки импульсов, разнесенных по времени. Именно для длительных пачек импульсов влияние ускоренного движения существенно в первую очередь.

Для  $i$ -го импульса пачки с учетом (2) имеем

$$y_i(t) = U_i \left[ t(1-a-b) - (t_3 + S) - t^2(g+h) - t_i \right] \times \exp j\omega_0 \left[ t(1-a+b) - (t_3 - S) - t^2(g-h) - t_i \right],$$

где  $t_i$  – временное положение  $i$ -го импульса пачки.

Учитывая то, что длительность импульса значительно меньше периода их следования и  $a+b \ll 1$ , выражение можно упростить до вида

$$y_i(t) = U_i \left[ t - t_i(1+a+b) - t_i^2(g+h) - (t_3 + S) \right] \times \exp j\omega_0 \left[ t(1-a+b) - (t_3 - S) - t^2(g-h) - t_i \right].$$

Отсюда видно, что для пачки импульсов искажениями формы каждого из них можно пре-

небречь и учитывать наряду с частотной модуляцией высокочастотных колебаний лишь модуляцию периода их следования.

Модели искажений в ионосфере многочастотных пачек импульсов аналогичны рассмотренным выше.

Для  $i$ -го сигнала пачки с несущей частотой  $\omega_{0i}$ , отраженного от движущейся с постоянным радиальным ускорением цели, с точностью до начальной фазы имеем

$$y_i(t) = U_i \left[ \left( 1 - a - b \frac{\omega_0^2}{\omega_{0i}^2} \right) t - t_i - \left( t_3 + S \frac{\omega_0^2}{\omega_{0i}^2} \right) - \left( g + h \frac{\omega_0^2}{\omega_{0i}^2} \right) t^2 \right] \times \exp j\omega_{0i} \left[ \left( 1 - a + b \frac{\omega_0^2}{\omega_{0i}^2} \right) t - \left( g - h \frac{\omega_0^2}{\omega_{0i}^2} \right) t^2 \right],$$

где  $\omega_0$  – средняя несущая частота,  $b$  и  $h$  – значения этих параметров для частоты  $\omega_0$ .

$$y_i(t) = U_i \left[ t - t_i - \left( t_3 + S \frac{\omega_0^2}{\omega_{0i}^2} \right) \right] \times \exp j\omega_{0i} \left[ \left( 1 - a + b \frac{\omega_0^2}{\omega_{0i}^2} \right) t - \left( g - h \frac{\omega_0^2}{\omega_{0i}^2} \right) t^2 \right].$$

Так как на результаты обработки сигнала изменения временного масштаба его комплексной огибающей влияют несущественно, разумно использовать более простую модель.

## ВЫВОДЫ

Полученные выше соотношения необходимы для оценки качества обнаружения, разрешения и точности измерения параметров движения цели при наличии ускорения. Они справедливы и в частном случае отсутствия ускорения [7].

## Литература

- [1] Петрушенко М.М. Погляди щодо розвитку оперативного мистецтва Повітряних Сил в умовах впровадження в практику військ нових видів озброєння і військової техніки. // Наука і техніка Повітряних Сил. – 2009. – Вип. 2 (2). – С. 5–8.
- [2] Ткаченко В.І. Застосування космічних систем для забезпечення дій Збройних Сил. – Х.: ХВУ, 2001. – 192 с.
- [3] Галушко С.А., Митраков Н.А. Использование космических средств в интересах национальной безопасности и обороны // Аэрокосмический вестник. – 2005. – № 2. – С. 18–31.
- [4] Голкін Д.В., Худов Г.В., Карлов Д.В. Напрямки застосування інформації космічних систем в інтересах Повітряних Сил Збройних Сил України // Системи озброєння і військова техніка – 2007. – Вип. 4 (12). – С. 4–7.
- [5] Куницький С.В. Космічна підтримка застосування Збройних Сил – вимога сучасності. [Електронний ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://defpol.org.ua/>.

- [6] Радиоэлектронные системы. Основы построения и теории: Справочник / под ред. Я.Д. Ширмана. – М., ЗАО «МАКВИС», 1998. – 828 с.
- [7] *Минервин Н.Н., Кузнецов А.Л., Карлов Д.В.* Учет особенностей доплеровского преобразования радиолокационных сигналов в ионосфере при оценке показателей качества их обнаружения // Системы управления, навигации та зв'язку – 2010. – Вип. 3 (15). – С. 62–65.

Поступила в редколлегию 5.11.2013

**Минервин Николай Николаевич**, фото и сведения об авторе см. на с. 486.

**Карлов Дмитрий Владимирович**, фото и сведения об авторе см. на с. 529.

**Коновалов Валерий Михайлович**, кандидат технических наук, директор ООО «НПК Европромсервис». Научные интересы: системы поиска и обнаружения наземных и воздушных объектов в космических системах наблюдения.



УДК 621.391.26

**Особливості впливу іоносфери на радіолокаційні сигнали при прискореному русі космічних об'єктів** / М.М. Мінервін, Д.В. Карлов, В.М. Коновалов // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. – 2013. – Том 12. – № 4. – С. 530–532.

У статті отримано співвідношення, необхідні для оцінки якості виявлення, розрізнення та точності вимірювання параметрів руху цілі, яка рухається з прискоренням в іоносфері.

*Ключові слова:* іоносфера, космічний об'єкт, радіолокаційний сигнал.

Бібліогр.: 7 найм.

UDC 621.391.26

**Features of influencing the ionosphere on radar signals at accelerated motion of space objects** / N.N. Minervin, D.V. Karlov, V.M. Konovalev // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. – 2013. – Vol. 12. – № 4. – P. 530–532.

The correlations needed for estimating the quality of detection, resolution and measurement accuracy of motion parameters of a target accelerating towards the ionosphere are obtained.

*Keywords:* ionosphere, space object, radar signal.

Ref.: 7 items.