

В.Д. Карлов<sup>1</sup>, А.Б. Котов<sup>1</sup>, М.Н. Журавский<sup>2</sup>, Д.В. Карлов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

<sup>2</sup>Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков

## К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТА ЗАПУСКА КОСМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ПО ИЗМЕНЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ИОНОСФЕРЫ, КОНТРОЛИРУЕМОЙ МЕТОДОМ НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЙЯНИЯ РАДИОВОЛН

*В статье проанализированы перспективные возможности использования метода некогерентного рассеяния радиоволн, реализованного на РЛС, для установления факта запуска космического объекта по изменениям параметром ионосферы. С учетом высоких скоростей распространения атмосферных возмущений, сопровождающих запуск космического объекта, это позволило поставить перед РЛС задачу обнаружения факта запуска космического объекта до входа его в зону обзора РЛС. Проведена оценка вероятностных характеристик правильного принятия решения о факте запуска космического объекта и оценен возможный временной интервал, позволяющий принять решение о запуске космического объекта, путем анализа параметров ионосферы до его входа в зону обнаружения РЛС.*

**Ключевые слова:** ионосфера, метод некогерентного рассеяния радиоволн, ионосферные возмущения, РЛС, слой F2, эффективность определения факта запуска космического объекта, выигрыш во времени установления факта запуска.

### Введение

**Постановка проблемы.** Результаты исследований, опубликованных в [1 – 3], свидетельствуют о том, что запуск космического объекта приводит к изменению параметров атмосферы Земли. При этом наиболее существенному воздействию подвергается верхняя часть атмосферы – ионосфера.

В соответствии с [1, 3] в моменты времени, примыкающие к запуску космического объекта в ионосфере, возникают перемещающиеся возмущения, распространяющиеся на несколько тысяч километров от района запуска. При этом установлено, что в моменты времени, примыкающие к запуску космического объекта, в ионосфере на высотах слоя F2 возникают последовательно следующие один за другим четыре перемещающиеся возмущения. Скорость распространения этих возмущений, как следует из результатов экспериментальных исследований [1, 3], составляет для первого возмущения –  $8,3 \pm 2$  км/с, для второго –  $1,8 \pm 0,2$  км/с, для третьего –  $0,9 \pm 0,1$  км/с и для четвертого –  $0,5 \pm 0,1$  км/с.

Столь высокие скорости распространения атмосферных возмущений, наряду с возможностями реализации на РЛС метода некогерентного рассеяния радиоволн, позволяют поставить перед РЛС задачу обнаружения факта запуска космического объекта до входа его в зону обзора РЛС. В связи с этим, представляется целесообразным оценить эффективность определения факта запуска космического объекта по изменениям параметров ионосферы, контролируемой методом некогерентного рассеяния радиоволн.

Подобная оценка в известной литературе не проводилась. В связи с этим целью данной статьи является восполнение этого пробела. При этом, под эффективностью в данной работе понимаем вероятность правильного принятия решения о наличии факта запуска космического объекта при заданном значении ложного принятия решения, а также выигрыш во времени установления факта запуска до момента входа космического объекта в зону обнаружения РЛС.

**Цель статьи:** Оценить вероятностные характеристики правильного принятия решения о факте запуска космического объекта и возможный временной интервал, позволяющий принять решение о запуске космического объекта путем анализа параметров ионосферы до входа космического объекта в зону обнаружения РЛС.

### Основная часть

Анализ экспериментальных данных [1 – 3], свидетельствующих о воздействии факела двигателя ракеты на ионосферу, дает основание утверждать о том, что принятие решения о факте запуска космического объекта сводится к задаче распознавания перемещающихся ионосферных возмущений, обусловленных запуском космического объекта, на фоне ионосферных возмущений естественного (природного) [4 – 6] происхождения. Приведенные в [1, 3] данные о параметрах ионосферных возмущений позволяют сделать вывод о том, что в качестве признака для распознавания целесообразно выбрать скорость ( $V$ ) распространения возмущения.

Для примера оценим вероятность ( $D$ ) правильного принятия решения о факте запуска космического

объекта при заданном значении вероятности ошибки (F), в случае, когда решение принимается при обнаружении и измерении скорости перемещения первого из четырех перемещающихся возмущений, возникающих при запуске космического объекта.

Вероятность принятия правильного решения рассчитаем по формуле [7]:

$$D = 0.5 - F_1 \left( \frac{V_0 - m_2}{\sqrt{\delta_2^2 + \delta_3^2}} \right). \quad (1)$$

Расчет порогового значения скорости  $V_0$  в соответствии с (1) проведем путем решения на ЭВМ уравнения:

$$\begin{aligned} F_1(V_0) &= \int_{V_0}^{\infty} dV \int_0^{\infty} f_1(x) f_3(V-x) dx, \\ &= \int_{V_0}^{\infty} dV \int_0^{\infty} f_1(x) f_3(V-x) dx = \\ &= \frac{1}{\sigma_2^2} \left[ 0.5 - F_2 \left( \frac{V_0}{\sigma_3} \right) \right] * \left( \sigma_3^2 + \frac{\sigma_2^2}{\sqrt{2\pi}} \right) + \\ &+ \frac{\sigma_1}{\sigma_3} \exp \left\{ -\frac{V_0^2}{2\sigma_3^2} \right\} \left[ 0.5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} F_2 \left( \frac{\sigma_1}{\sigma_3} \cdot \frac{V_0}{\sigma_2} \right) \right]; \\ &\sigma_{\Sigma}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2, \\ F_2(x) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{v^2}{2}} dv - \text{функция Лапласа.} \end{aligned}$$

Вычисления вероятности (D) правильного принятия решения проведем в рамках следующих предположений. Будем полагать, что плотность распределения скорости ионосферных возмущений естественного (природного) происхождения  $f_1(x)$  характеризуется релеевским законом распределения с дисперсией  $\sigma_1^2 = 0,94 \text{ км}^2/\text{с}^2$  [2]. Плотность распределения скорости  $f_2(V)$  ионосферных возмущений, обусловленных запуском космического объекта, и плотность распределения ошибок измерения скорости  $f_3(V)$  в соотношении (1) характеризуется нормальным законом распределения. Дисперсия  $\sigma_2^2$  и математическое ожидание  $m_2$  закона распределения  $f_2(V)$  выбирались в соответствии с данными, приведенными в [1, 3], равными  $\sigma_2^2 = 6,25 \text{ км}^2/\text{с}^2$ ,  $m_2 = 6,9 \text{ км/с}$ . Дисперсия  $\sigma_3^2$  ошибки измерения скорости выбиралась  $10^{-2} \text{ км}^2/\text{с}^2$  и  $0,04 \text{ км}^2/\text{с}^2$ . Математическое ожидание  $m_3$  ошибки измерения скорости полагалось равным нулю.

Расчитанные по формуле (1) значения вероятностей правильного (D) принятия решения о наличии факта запуска космического объекта путем анализа параметров первого ионосферного возмущения, обусловленного запуском космического объек-

та на фоне ионосферных возмущений естественного (природного) происхождения для нескольких заданных значений вероятностей (F) ошибочного принятия решения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения вероятностей правильного (D) принятия решения

F		$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$
D	$\sigma_3 = 0,1$ (км/с)	0,8599	0,8106	0,7518	0,6985
	$\sigma_3 = 0,2$ (км/с)	0,8485	0,7967	0,7356	0,6808

Оценим временной интервал ( $\Delta t$ ), позволяющий принять решение о том, что состоялся факт запуска космического объекта до момента входа его в зону обнаружения РЛС путем анализа параметров ионосферы. Возникновение такого интервала времени ( $\Delta t$ ) обусловлено на наш взгляд тем, что, как известно, скорость полета ( $V_{\text{ор}}$ ) баллистической ракеты, например, «Титан-2», не превышает на трассе ее движения  $V_{\text{ор}} \leq 6 \text{ км/с}$ , а скорость распространения ( $V_{\text{в}}$ ) первого возмущения в ионосфере, обусловленного запуском космического объекта, по оценке [1, 3] в среднем составляет  $V_{\text{в}} \approx 8,3 \pm 2 \text{ км/с}$ . Указанное обстоятельство позволяет предложить для оценки величины  $\Delta t$  следующую формулу:

$$\Delta t = t_{\text{необ}} - \frac{R - \Delta R}{V_{\text{в}}}, \quad (2)$$

где  $R$  – расстояние (по поверхности Земли) от района запуска ракеты (точка А на рис. 1) до района дислокации РЛС (точка С на рис. 1);

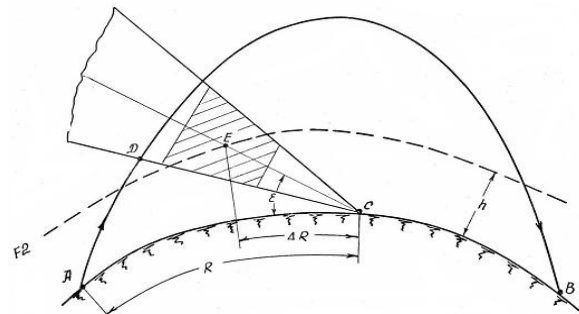


Рис. 1. Схема эксперимента

$\Delta R = h \times \text{tg} \epsilon$  – расстояние (по поверхности Земли) от района дислокации РЛС до исследуемой области ионосферы;

$\epsilon$  – угол места максимума характеристики направленности антенны РЛС;

$h$  – высота максимума слоя F2 ионосферы;

$t_{\text{необ}}$  – время полета космического объекта от района запуска до точки входа в зону видимости РЛС (точка D на рис. 1).

Результаты расчета  $\Delta t$  (в минутах), как функции расстояния  $R$ , применительно к ракете «Титан-2» приведены в табл. 2.

Результаты расчета

Скорость движения ПИВ	Тип траектории ракеты	$R=3 \cdot 10^3$ (км)	$R=5 \cdot 10^3$ (км)	$R=7 \cdot 10^3$ (км)	$R=9 \cdot 10^3$ (км)
$V_b = 8,3$ (км/с)	оптимальная	1	2,5	5	7,5
	навесная	1	8,7	11,2	16,5
$V_b = 5,5$ (км/с)	оптимальная	0	0	0	0
	навесная	0	4,6	5,1	8,3

При проведении расчетов полагалось, что скорость ( $V_b$ ) первого ионосферного возмущения, возникающего при запуске космического объекта, с увеличением расстояния ( $R$ ) не изменяется. Данное предположение не противоречит результатам, полученным при проведении экспериментов и опубликованным в [1, 3].

### Выводы

Проведенные расчеты свидетельствуют о том, что использование ионосферных возмущений, обусловленных запуском космического объекта, позволяет в условиях реализации на РЛС метода некогерентного рассеяния радиоволн, путем анализа скорости перемещения ионосферных возмущений с достаточно высокой вероятностью принять решение о наличии факта запуска космического объекта. При этом измерение параметров перемещающегося ионосферного возмущения, обусловленного запуском космического объекта, позволяет также получить выигрыш во времени в установлении факта запуска космического объекта до входа его в зону видимости РЛС.

### Список литературы

1. Адушкин В.В. Экологические проблемы и риски воздействия ракетно-космической техники на окружающую

щую среду: справочное пособие / В.В. Адушкин, С.И. Козлов, А.В. Петров. – М.: Изд. Анкил, 2000. – 638 с.

2. Голицин Г.С. Акустико-гравитационные волны в атмосфере / Г.С. Голицин, Е.П. Чунгузов // Сборник статей «Полярные сияния и свечения ночного неба». – М.: Наука. – 1975. – №23. – С. 5-21.

3. Ткачев Г.Н. Крупномасштабные возмущения в ионосфере, возникающие при полете ракеты с работающим двигателем / Г.Н. Ткачев, В.Д. Карлов, С.И. Козлов // Космические исследования. – 1980. – Т.2, вып. 2. – С. 266-277.

4. Черногор Л.Ф. Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы / Л.Ф. Черногор // Радиопизика и радиоастрономия. – 2003. – Т8, №1. – С. 54-104.

5. Пазюра С.А. Физические процессы в ионосферной плазме, сопутствующие сильнейшим геокосмическим бурям: дис. канд. техн. наук / Пазюра С.А. – Х.: Институт ионосферы, 2009. – 158 с.

6. Семенов В.М. Генераторы возмущений в атмосфере при прохождении через нее солнечного терминатора / В.М. Семенов, Б.В. Троицкий // Геомагнетизм и аерономия. – 1975. – Т.15, №5. – С. 856-860.

7. Радиотехнические системы: справочник / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 510 с.

Поступила в редколлегию 8.09.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### ДО ПИТАННЯ ПРО ОЦІНКУ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТУ ЗАПУСКУ КОСМІЧНОГО ОБ'ЄКТУ ПО ЗМІНІ ПАРАМЕТРІВ ІОНОСФЕРИ, КОНТРОЛЬОВАНОЇ МЕТОДОМ НЕКОГЕРЕНТНОГО РОЗСІЯННЯ РАДІОХВИЛЬ

В.Д. Карлов, О.Б. Котов, М.М. Журавський, Д.В. Карлов

У статті проаналізовані перспективні можливості використання методу некогерентного розсіяння радіохвиль, реалізованого на РЛС, для встановлення факту запуску космічного об'єкту по змінах параметрів іоносфери. З врахуванням високих швидкостей поширення атмосферних бурень, супроводжуваних запуском космічного об'єкту, це дозволило поставити перед РЛС завдання виявлення факту запуску космічного об'єкту до входу його в зону огляду РЛС. Проведена оцінка імовірнісних характеристик правильного прийняття рішення про факт запуску космічного об'єкту і оцінений можливий часовий інтервал, що дозволяє прийняти рішення про запуск космічного об'єкту, шляхом аналізу параметрів іоносфери до його входу в зону виявлення РЛС.

**Ключові слова:** метод некогерентного розсіяння радіохвиль, ефективність визначення факту запуску космічного об'єкту, виграти в часі встановлення факту запуску.

### TO THE QUESTION ABOUT THE ESTIMATION OF EFFICIENCY OF DETERMINATION OF FACT OF START OF SPACE OBJECT ON THE CHANGE OF PARAMETERS OF IONOSPHERE, CONTROLLED THE METHOD OF NON-COHERENT DISPERSION OF RADIO WAVES

V.D. Karlov, A.B. Kotov, M.N. Zhuravsky, D.V. Karlov

Perspective possibilities of the use of method of non-coherent dispersion of radio waves, realized on RLS are analysed in the article, for establishment of fact of start of space object on changes by the parameter of ionosphere. Taking into account high-rate of distribution of atmospheric indignations, accompanying the start of space object, it allowed to put before RLS task of finding out the fact of start of space object to included of him in a keepout RLS. The estimation of probabilistic descriptions of correct decision-making is conducted about the fact of start of space object and a possible temporal interval, allowing to make decision about a start space object, is appraised, by the analysis of parameters of ionosphere to his included in the area of discovery RLS.

**Keywords:** method of non-coherent dispersion of radio waves, ionosphere indignations, efficiency of determination of fact of start of space object, winning in time of establishment of fact of start.