

# ИНТЕРКОСМОС

Некоторые результаты научных экспериментов на ракетах  
„Вертикаль 1 и 2“ и на спутниках „Интеркосмос 2 и 5“

Издано в

АН ГДР

Институт Электроники

Редакционная коллегия:

Ю. Рустенбах, К.-Х. Бишофф, Д. Фин.

1974

И.А.Кнорин, В.А.Рудаков

ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ В ИОНОСФЕРЕ ВО  
ВРЕМЯ ЗАПУСКОВ РАКЕТ "ВЕРТИКАЛЬ-1" И "ВЕРТИКАЛЬ-2"

Приведено краткое описание методики, аппаратуры и результатов экспериментов по измерению  $n_e(h)$  - профилей, проведенных во время запусков двух геофизических ракет в 1970-71 гг. с помощью дисперсионного УКВ радиоинтерферометра.

В числе экспериментов на ракетах "Вертикаль-1" и "Вертикаль-2" проводились измерения вертикального распределения электронной концентрации в ионосфере -  $n_e(h)$  - профилей - методом дисперсионного интерферометра. Такие измерения успешно проводятся в течение ряда лет в СССР [1-3] и в США (напр., [4]).

I. Аппаратура и методика измерений электронной  
концентрации

Измерения  $n_e$  методом дисперсионного радиоинтерферометра заключаются в регистрации на Земле изменений разности фаз двух когерентных радиоволн с частотами  $f_1 = 144$  МГц

$f_2 = 48$  МГц, излучающихся передатчиком, установленным на ракете. Такие измерения систематически проводятся в СССР с 1954 г., методика измерений подробно изложена в [2]. В последние годы аппаратура УКВ дисперсионного интерферометра была в значительной степени модернизирована по сравнению с ранее применявшейся [5]. Был заменен бортовой передатчик; новый передатчик обеспечивает по каждому из двух каналов мощность примерно 1,5 Вт на несимметричных нагрузках 75 Ом. Стабильность частоты задающего генератора не хуже  $10^{-6}$ . Потребляемая мощность около 25 Вт. Новая приемно-фазометрическая аппаратура обеспечивает надежные измерения разности фаз при уровнях принимаемых сигналов 1 мкВ. Полоса пропускания устройства составляет около 100 Гц. Запись разности фаз  $\Phi$  осуществляется регистраторами двух типов - шлейфовыми осциллографами и регистраторами, в которых значения  $\Phi$  записываются на кинолентку с экрана электронно-лучевой трубки. Последний вид регистрации имеет большую по сравнению с первым разрешающую способность (возможен отсчет с точностью порядка  $5^\circ$ ) и, кроме того, позволяет определять знак изменения разности фаз, что в ряде случаев весьма важно.

Найденные для выбранных интервалов времени  $\Delta t$  значения приращений разности фаз  $\Delta \Phi$  позволяют получить значения электронной концентрации, средние для интервалов высот, проходимых ракетой за время  $\Delta t$  :

$$n_e = \frac{A \cdot \Delta \Phi}{v \cdot \Delta t} \quad \text{см}^{-3}, \quad (1)$$

где  $A$  - коэффициент, зависящий от применяемых частот и коэффициента умножения частоты в приемной аппаратуре (в нашем случае  $A = 1,35 \cdot 10^8$  для второго вида регистрации);  $\Delta \Phi$  - в радианах;  $v$  - вертикальная скорость ракеты в м/сек;  $\Delta t$  - интервал времени в сек, в нашем случае выбрано  $\Delta t = 0,25$  сек.

Приведенное выражение для  $n_e$  получено для вертикального полета ракеты над приемным пунктом. Во время измерений на ракетах "Вертикаль-1" и "Вертикаль-2" это условие выполнялось.

Следует отметить, что определение значений  $n_e$  возможно лишь при выполнении условия

$$n_e v \gg \int_0^h \frac{\partial n_e}{\partial t} dh, \quad (2)$$

где левый член неравенства - нестационарность столба ионосферы единичного сечения между передатчиком и приемником. Это условие не выполняется вблизи вершины траектории, где скорость ракеты  $v$  мала.

## II. Результаты измерения электронной концентрации

Оба запуска геофизических ракет "Вертикаль-1" и "Вертикаль-2" были произведены в утренние часы, вскоре

после восхода Солнца (зенитное расстояние Солнца  $82^{\circ}$  и  $78^{\circ}$ , соответственно, для пусков 28.II.70 г. и 20.08.71 г.).

Прием сигналов установленного на ракете передатчика интерферометра осуществлялся двумя приемными пунктами, расположенными вблизи места старта (на расстоянии 2,5 км и 8 км). Кроме того, во время этих экспериментов, а также в предшествующие дням запусков и последующие за ними дни велось зондирование ионосферы с помощью ионосферной станции, расположенной в районе запуска. Эти измерения велись с целью получения сведений о состоянии ионосферы, которые могли быть полезны при измерениях поглощения радиоволн. Они также давали возможность судить о наличии возмущений в ионосфере и их характере.

Материалы, полученные во время этих экспериментов интерферометром, в настоящее время обработаны и в результате получены  $n_e(h)$  - профили в интервале высот от 95-98 до 450 км. Измерения на меньших высотах оказались, как и в ряде предыдущих опытов, неудачными, поскольку запись фазовых соотношений  $\Phi(t)$  на малых высотах сопровождалась помехами, имеющими характер разряда на антеннах передатчика. Для уменьшения возможности возникновения такого разряда во время эксперимента на ракете "Вертикаль-2" мощность в.ч.колебаний, подводимых от передатчика к каждой из антенн, была нами снижена в 10 раз (с 1,5 Вт до 0,15 Вт). Уменьшение мощности в.ч.колебаний для предот-

вращения разряда использовалось и в опытах Бауера и Джексона, у которых уменьшение мощности производилось на высотах менее 100 км автоматическим программным устройством [6]. Однако в эксперименте на ракете "Вертикаль-2" эта мера не дала положительных результатов.

Профили  $n_e(h)$ , полученные 28.II.1970 г. и 20.08.1971 г., приведены на рис.1 и 2. Оба профиля построены до высот, несколько меньших, чем максимальная высота подъема ракет. Это вызвано тем, что вблизи вершины траектории не выполняется условие (2). Невыполнение этого условия ведет к резкому возрастанию ошибки, вносимой в результате измерений влиянием нестационарности ионосферы.

Для момента нахождения ракеты в верхней точке траектории из записей изменений  $n_e(h)$  были определены в обоих экспериментах значения нестационарности

$$\int_0^h \frac{\partial n_e}{\partial t} dh, \text{ которые оказались равными:}$$

+5·10<sup>9</sup> см<sup>-2</sup> сек<sup>-1</sup> для эксперимента "Вертикаль-1" и  
 +2·10<sup>9</sup> см<sup>-2</sup> сек<sup>-1</sup> для эксперимента "Вертикаль-2".

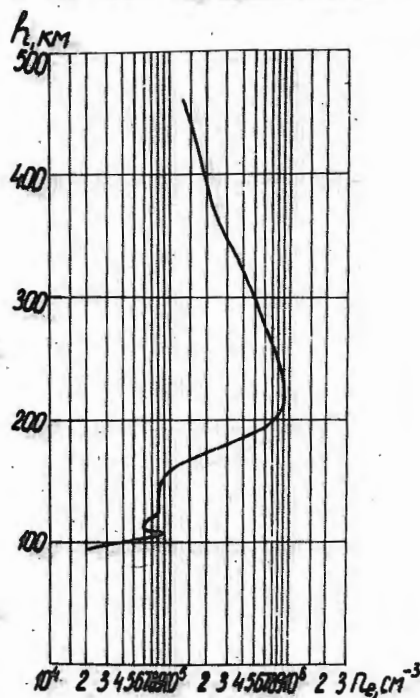


Рис. 1.  
 $n_e(h)$ - профиль, полученный 28 ноября 1970 г.

Анализ ионограмм, полученных в период 25.II-2.II.1970 г. ("Вертикаль-1") и 19-23.08.1971 г. ("Вертикаль-2") показал, что состояние ионосферы во время экспериментов было невозмущенным и типичным для указанных периодов. Для примера в таблице I приведены сведения о критических частотах в период 19-23.08.1971 г. Время зондирования примерно соответствует времени пуска (+15 мин).

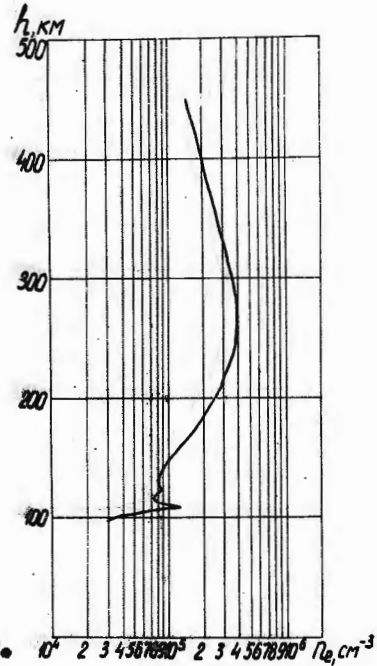


Рис. 2.

$n_e(h)$  - профиль, полученный 20 августа 1971 г.

В таблице 2 даны сведения о солнечной активности в дни экспериментов и в прилежащие к ним дни по данным [7].

Таблица I

Дата	$f_o F_2$ МГц	$N_{e \max} F_2$ см	$f_o E$ МГц	$N_{e \max} E$ см
19.08.71	5,5	$3,7 \cdot 10^5$	2,3	$6,6 \cdot 10^4$
20.08	5,2	$3,3 \cdot 10^5$	2,3	$6,6 \cdot 10^4$
21.08	5,5	$3,7 \cdot 10^5$	2,6	$8,4 \cdot 10^4$
22.08	5,3	$3,5 \cdot 10^5$	2,2	$6 \cdot 10^4$
23.08	4,6	$2,6 \cdot 10^5$	2,3	$6,6 \cdot 10^4$

Таблица 2

Поток радиоизлучения Солнца на частоте 2800 Мгц  
 $F$  ( $\times 10^{22}$  Вт.м<sup>-2</sup> Гц<sup>-1</sup>)

Дата	$F$ 2800	Дата	$F$ 2800
26.II.1970	129,3	18.08.1971	110,5
27.II.	135,1	19.08	126,2
28.II.	148,9	20.08	141,1
29.II	148,4	21.08	150,3
30.II	152,5	22.08	151,2

Значения  $n_e$  на высотах 95-105 км, полученные дисперсионным методом при запуске ракеты "Вертикаль-1", были использованы К.Бишоффом и др. при расчетах эффективной частоты соударений электронов по данным измерений поглощения радиоволн в ионосфере, причем значения на высотах менее 95 км были определены путем экстраполяции измеренного  $n_e(h)$  - профиля до высоты 85 км по литературным данным [8].

В описанных измерениях кроме авторов статьи участвовали А.В.Бирюков, Ю.В.Мусатов, Г.К.Новожилов, Л.А.Шнырева.



ЛИТЕРАТУРА

1. К.И.Грингауз, Докл.АН СССР, 120, № 6, 1234, 1958.
2. К.И.Грингауз, В.А.Рудаков.Сб. "Искусственные спутники Земли", вып.6, изд.АН СССР, 1961, стр.48.
3. Г.Г.Гетманцев, К.И.Грингауз и др. Изв.ВУЗ'ов (радио-физика), II, № 5, 649, 1968.
4. *Electron Density Profiles in the Ionosphere and Exosphere* (ed. by Machlum). Pergamon press, 1962.  
Русский перевод: Распределение электронной концентрации в ионосфере и экзосфере, МИР, 1964.
5. К.И.Грингауз, В.А.Рудаков, А.В.Капорский. Сб."Искусственные спутники Земли", вып.6, изд.АН СССР, 1961, стр.34.
6. S.J.Bauer, J.E.Jackson. Rep. Nх-615-63-95 Goddard Space Flight Center (presented at IV Symp.COSPAR,1963).
7. *Solar Geophys.Data.* ESSA Res.Lab.Boulder, Co
8. К.Бишофф, К.И.Грингауз, Г.Кобер, Г.Кляйн, И.А.Кнорин, В.А.Рудаков. Космические исследования, 10, № 2, 228, 1972.