

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

РЕЗУЛЬТАТЫ ЗОНДОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА РАКЕТАХ "ВЕРТИКАЛЬ-1" И "ВЕРТИКАЛЬ-2"

Г.Л.Гдалевич

На ракетах "Вертикаль-1" и "Вертикаль-2" среди других научных приборов были установлены плоский и цилиндрический зонды Ленгмюра для измерений концентрации и температуры электронов, сферический зонд для измерения изменений потенциала ракеты, сферическая ионная ловушка для измерений концентрации положительных ионов.

В настоящем сообщении кратко описываются особенности используемой аппаратуры, условий проведения эксперимента, методика обработки; приводятся и обсуждаются результаты зондовых экспериментов.

Описание аппаратуры, условий проведения экспериментов и методика обработки

Часть цилиндрической поверхности ракет, на которой устанавливались зондовые приборы, была проводящей (на поверхность ракеты наносилась проводящая краска). Это было сделано для того, чтобы создать эквипотенциальность опорного электрода (каким являлась эта

часть поверхности ракеты) при проведении зондовых измерений.

Плоский зонд Ленгмюра имел форму диска с диаметром 6 см, вокруг которого располагалось охранное кольцо с внешним диаметром 20 см. Зазор между зондом и охранным кольцом не превышал 5 мм. Плоский зонд Ленгмюра устанавливался на цилиндрической поверхности ракеты так, чтобы нормаль к его поверхности была перпендикулярна продольной оси ракеты. На восходящей ветви траектории плоский зонд попадал в тень скоростного потока, образуемому открывающейся крышкой контейнера с приборами для солнечных измерений. Цилиндрический зонд и сферическая ионная ловушка были такими же, как и на спутнике "Интеркосмос-2" [1], [2]. На коллектор и антифотосетку сферической ловушки подавались, соответственно, относительно корпуса напряжения "-80 В" и "-100 В".

Сферический зонд, плавающий потенциал которого относительно корпуса измерялся, имел диаметр 30 мм. Цилиндрический и сферический зонды, сферическая ионная ловушка устанавливались на штангах длиной ≈ 500 мм, располагающихся перпендикулярно продольной оси ракеты. Плоский и цилиндрический зонды Ленгмюра были установлены таким образом, чтобы корпус ракеты создавал тень от Солнца.

Диапазон измерения токов, текущих в цепи плоского

цилиндрического зондов и сферической ионной ловушки был разбит на две шкалы. В электронном блоке для плоского зонда Ленгмюра переключение шкал осуществлялось автоматически, а в электронном блоке для цилиндрического зонда и сферической ионной ловушки обе шкалы имели свои выходы на различные телеметрические каналы. Такое расширение диапазона измерений токов позволяло измерять концентрацию электронов n_e от $5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ до $2 \cdot 10^6 \text{ см}^{-3}$ при температуре электронов выше 300°K и концентрацию ионов n_i от 10^3 см^{-3} до $2 \cdot 10^6 \text{ см}^{-3}$.

Электрометр, измеряющий разность плавающего потенциала сферического зонда и корпуса ракеты, имел диапазон от -3 в до $+11$ в.

Работа плоского, цилиндрического зондов Ленгмюра и радиочастотного емкостного зонда [3] была синхронизирована. Целью синхронизации являлось устранение взаимных влияний этих приборов. Результатом этой синхронизации было то, что пилообразные напряжения подавались на зонды поочередно. Причем непосредственно перед подачей пилообразных напряжений на плоский и цилиндрический зонды в течение $\sim 0,2$ сек никаких переменных потенциалов ни на какие зонды не подавалось. Таким образом, вольт-амперные характеристики плоского и цилиндрического зондов Ленгмюра регистрировались в течение 1 сек каждые 3 сек полета ракеты.

Обработка вольтамперных характеристик плоского и цилиндрического зонда проводилась на ЭВМ. Определение температуры (T_e) и концентрации электронов (n_e) при этом получалось по известным соотношениям:

$$T_e = \frac{5040}{\frac{d \lg J_e}{dV}}, \text{ K} \quad (1)$$

$$n_{e1} = \frac{4,03 \cdot 10^{13} J_{e0}}{S \sqrt{T_e}}, \text{ см}^{-3}, \quad (2)$$

$$n_{e2} = \frac{3,22 \cdot 10^{11}}{S} \sqrt{\frac{dJ_e^2}{dV}}, \text{ см}^{-3}, \quad (3)$$

где V - потенциал зонда относительно ионосферной плазмы, J_e - электронный ток на зонд, J_{e0} - электронный ток на зонд в точке вольт-амперной характеристики, в которой потенциал зонда относительно ионосферной плазмы равен нулю, n_{e1} , n_{e2} , соответственно, - концентрации, вычисленные по формулам (2) и (3), S - поверхность зонда. Электронная ветвь вольт-амперной характеристики получалась из общего зондового тока путем вычитания ионной ветви. При этом программа вычислений позволяла проводить либо линейную, либо квадратичную экстраполяцию непосредственно измеряемых значений ионного тока, регистрируемого при значительных отрицательных потенциалах зонда относи-

тельно плазмы. Программа обработки позволяла также вычислять значения J_{e0} либо по точке пересечения двух прямых, проведенных в зависимости $\lg J_e$, в области тормозящих и притягивающих потенциалов зонда относительно ионосферной плазмы, либо по значению зарегистрированного зондового тока в точке вольт-амперной характеристики, в которой потенциал зонда относительно ионосферной плазмы равен нулю. Кроме величин n_e , T_e и потенциала спутника, машина выдавала все необходимые данные для оценки надежности вычисленных данных.

Вычисление концентрации положительных ионов по зарегистрированным значениям тока на коллектор сферической ионной ловушки с плавающим потенциалом внешней сетки, проводилось по графику Сагалин и др. [4]. Этот график представляет зависимость тока на сферический зонд от отношения скорости ракеты к тепловой скорости ионов. Вычисление тепловой скорости ионов проводилось для массы иона $O^+(I6)$ и температуры ионов $1500^\circ K$.

Результаты измерений и их обсуждение

По данным сферического зонда потенциал ракет "Вертикаль-1" и "Вертикаль-2" во время их полета периодически изменялся. Например, в эксперименте с ракетой "Вертикаль-2" период колебаний изменялся от 5 сек до 13 сек. Причем

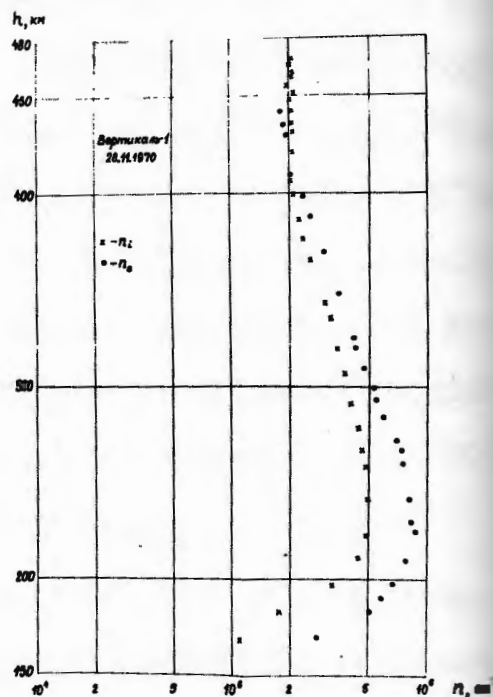
потенциал изменялся от +2 в до -2 в, но в основном был равен -1,0 в. Изменение потенциала продолжалось примерно 3,5-4 сек. Затем в течение 1-9 сек потенциал практически не изменялся. Сопоставление изменений потенциала с работой клапанов системы стабилизации ракеты показало, что выброс кислорода и приводит к этим изменениям. Выброс кислорода приводил к изменению концентрации заряженных частиц вблизи поверхности ракет (это регистрировалось по изменению токов, текущих на зонды (см. также [5]). Поэтому, для получения сведений о невозмущенной ионосферной плазме, для обработки полученного за время полета ракет материала выбирались времена, в которые потенциал ракет оставался постоянным.

На фиг. I приведены результаты измерения во время полета ракеты "Вертикаль-I" концентрации положительных ионов (n_i) сферической ионной ловушкой и концентрации электронов (n_e) цилиндрическим зондом Ленгмюра. Значения n_e вычислялись (из зависимости $j^2 = f(V)$) по формуле (3). На фиг. I показан профиль $n_e(h)$, нормированный к значению $n_{e\max}$, определенному методом дисперсионного интерферометра. Вычисленные по вольт-амперным характеристикам значения n_e умножались на постоянный коэффициент 2,2. При этом профиль $n_e(h)$ по данным цилиндрического зонда Ленгмюра на высотах 220-400 км совпадает с профилем $n_e(h)$, определенным методом

дисперсионного интерферометра [6]. На высотах 150–220 км и более 400 км значения n_e на фиг. I несколько выше, чем значения n_e на этих высотах по данным дисперсионного интерферометра. Как видно из фиг. I, значения n_i на высотах до 400 км меньше соответствующих значений n_e . Отметим, что на высотах до 150–220 км

n_i меньше значений n_e , определенных методом дисперсионного интерферометра. Концентрация заряженных частиц (n_i и n_e) на высотах 150–400 км вблизи поверхности ракеты "Вертикаль" была меньше, чем в невозмущенной ионосфере. Причем n_e изменяется больше, чем n_i . Это является следствием того, что основной процесс при выбросе кислорода из сопел системы стабилизации ракеты – образование отрицательные ионов [5].

Изменение n_i является уже следствием ионно-обменных реакций. Наибольшее изменение n_i вблизи поверхности ракеты происходит на высотах до 220 км. Выше 300 км значения n_i вблизи ракеты отличаются от значений в невозмущенной ионосфере не более, чем на 10%. Как отмечалось

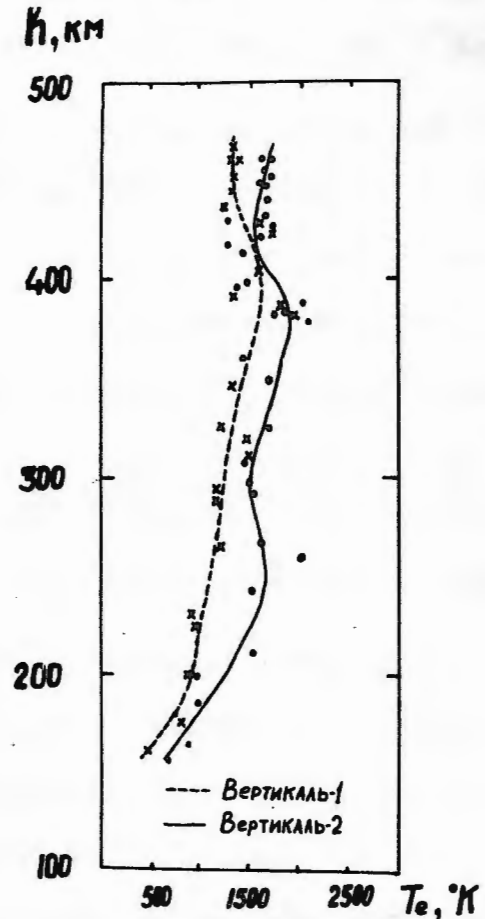


Фиг. I.

выше, на высотах более 400 км значения n_i и n_e , приведенные на фиг.1, превышают значения n_e в невозмущенной ионосфере. Можно предположить, что это объясняется тем, что при уменьшении скорости ракеты начинает играть некоторую роль в процессах вблизи поверхности ракеты фотоионизация выделяющегося кислорода ультрафиолетовым излучением Солнца.

Результаты измерения n_i и n_e при помощи ракеты "Вертикаль-2" не приводятся в настоящем сообщении, так как они лишь подтверждают высказанные выше соображения.

На фиг.2 приведены высотные профили температуры электронов $T_e(h)$. Эти профили $T_e(h)$ получены цилиндрическим зондом Ленгмюра на нисходящих ветвях траектории ракет "Вертикаль-1" и "Вертикаль-2". Как видно из фиг.2, $T_e(h)$ (см. экспериментальные точки) изменяются немонотонно, хотя имеется общая тенденция к увеличению T_e с ростом высоты. Погрешность измерения $T_e \pm 200^\circ\text{C}$.



Фиг. 2.

Таким образом, немонотонные изменения T_e на фиг.2 превышают погрешности измерений. Можно предположить, что немонотонность T_e вызывается выбросом газа клапанами системы стабилизации. Однако, сравнение измерений T_e плоским и цилиндрическим зондами при подъеме и спуске ракет на высотах 200–450 км показывают, что измеренные значения T_e на каждой данной высоте совпадают в пределах погрешности измерений. Из этого сравнения следует, что немонотонность T_e на фиг.2 не связана с работой системы стабилизации. Немонотонность T_e отмечалась и по другим измерениям и связывается с нерегулярностями в притоке тепла к электронам и охлаждении электронного газа [7], [8].

Как видно из фиг.2 T_e на высоте ~ 150 км равна 500°K , а на высоте ~ 200 км $T_e \approx 1000^\circ\text{K}$. Эти изменения связаны с тем, что до высот ~ 150 км в атмосфере имеет место тепловое равновесие – температуры нейтральных и заряженных частиц равны. Далее наблюдаемый рост T_e возможно и связан с общим ростом температуры в атмосфере, но вероятнее всего с высот ~ 200 км температура электронов превышает температуру нейтральных частиц.

Разработка аппаратуры для зондовых измерений, ее подготовка и испытания проводились большим коллективом сотрудников под общим руководством проф. К.И.Грингауза. Автор считает своим долгом выразить всем сотрудникам, принимавшим участие на различных этапах работы, благодарность.

Литература

1. Г.Л.Гдалевич, Б.Н.Горожанкин, И.Кутиев, Д.Самарджиев, К.Серафимов. Космические исследования, вып.2, 1973, (см. статью в настоящем сборнике).
2. Г.Бишофф, Г.Л.Гдалевич, В.Ф.Губский, И.Д.Дмитриева, Г.Циммерман. Космические исследования, вып.2, 1973 (см. статью в настоящем сборнике).
3. Ю.Рустенбах. Настоящий сборник, стр.
4. R.C.Sagalyn, M.Smiddy, and J.Wisnia. J.Geophys.Res., 68 204, 1963.
5. Л.А.Ведешин, В.А.Рудаков, Ю.Рустенбах. Настоящий сборник, стр.
6. И.А.Кнорин, В.А.Рудаков. Настоящий сборник, стр.
7. К.Hirao. J.Geomagnet. and Electr., 18, 333, 1966.
8. Г.Л.Гдалевич, В.Ф.Губский, И.Д.Дмитриева. Космические исследования, 5, 456, 1967.