

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ АН СССР МОСКВА
ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СЛОВАЦКОЙ АКАДЕМИИ НАУК БРАТИСЛАВА

12/25

СБОРНИК

ТРУДОВ МЕЖДУНАРОДНОГО СИМПОЗИУМА ПО ФИЗИКЕ ИОНОСФЕРЫ И МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ И СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Том 2

РЕДАКТОРЫ

Г.Л. ГДАЛЕВИЧ (ИКИ АН СССР)

С. ПИНТЕР (ГИ САН)

ГУРБАНОВО, 1977 г.

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ АН СССР МОСКВА
ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СЛОВАЦКОЙ АКАДЕМИИ НАУК БРАТИСЛАВА

СБОРНИК

ТРУДОВ МЕЖДУНАРОДНОГО СИМПОЗИУМА
ПО ФИЗИКЕ ИОНОСФЕРЫ И МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ
И СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Том 2

РЕДАКТОРЫ

Г.Л. ГДАЛЕВИЧ (ИКИ АН СССР)

С. ЛИНТЕР (ГФИ САН)

ГУРВАНОВО, 1977 г.

А.Бэст, Х.Д.Бэттак, Г.А.Внучков, Г.Л.Гдалевич,
В.Ф.Губский, И.А.Жулин, С.И.Климов, Х.Р.Леманн,
А.М.Москаленко, Ю.Рустенбах

О ВОЗМОЖНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭФФЕКТАХ ПРИ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

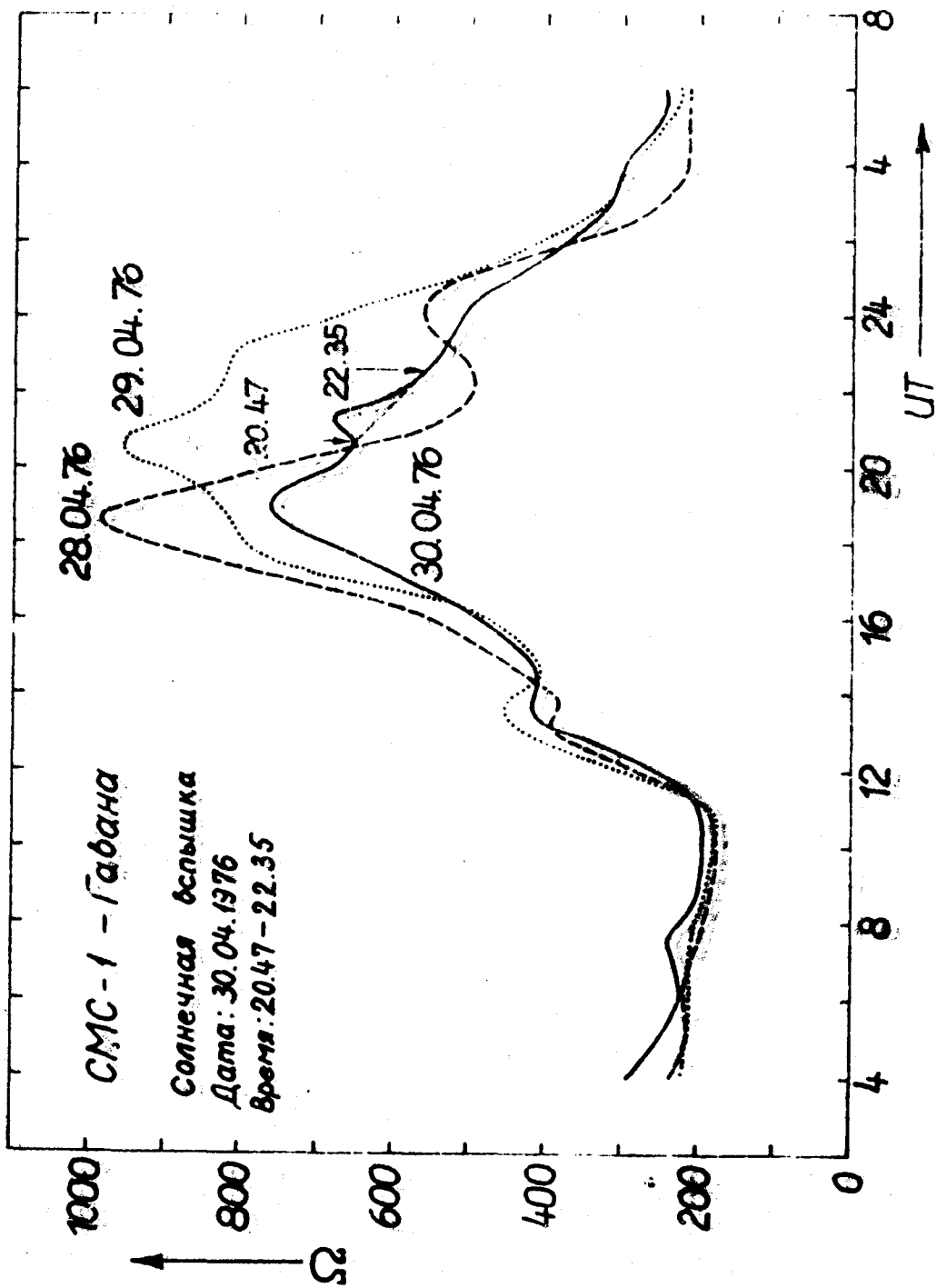
Исследование электрических полей на спутниках наиболее часто проводится с помощью метода двойного зонда, являющегося прямым методом измерения электрического поля в плазме [1,2].

Регистрируемая при этом разность потенциалов между зондами является, в основном, функцией внешнего электрического поля, параметров плазмы, окружающей каждый из зондов, и токов заряженных частиц, выбиваемых с поверхности каждого из зондов. Поэтому в различных экспериментах кроме сигналов от электрических полей ионосферного и магнитосферного происхождения регистрируются сигналы, вызванные различием окружающих условий для каждого из зондов при попадании их в след спутника или при их различном освещении [3].

Кроме того, регистрируются сигналы от различных устройств, работающих на спутнике. Например, от научной аппаратуры [4], от солнечных панелей [5] и другие [6].

Во время экспериментов на ИСЗ "Интеркосмос-10" [7] обнаружено влияние зонда Ленгмюра (ЗЛ) и других приборов (например, приемника ОНЧ-излучения во время калибровки) на показания измерителя флуктуаций электрического поля (ИФЭП). Изучение эффекта влияния важно для исключения помех при обработке данных ИФЭП, при планировании последующих экспериментов ("Магик" и др.) и, возможно, для получения параметров среды.

При просмотре записей прибора ИФЭП, полученных при



приеме информации со спутника ИК-10, часто наблюдаются сигналы, повторяющие циклограмму работы прибора ЗИ (рис. 1). На рис. 1б приведен типичный вид этих сигналов, называемых нами СЗМ. Проведенный анализ особенностей СЗМ показывает следующее:

1) величина СЗМ зависит от величины токов, регистрируемых ЗИ (см. рис. 2). Если величина тока по грубой шкале прибора ЗИ составляет $\leq 10\%$ от полной шкалы измерений, тогда в большинстве случаев СЗМ не наблюдаются. Иногда СЗМ наблюдаются в случаях, когда наибольшее значение тока ЗИ находится в пределах средней шкалы. Обычно это область около $\approx 63^\circ$ геомагнитной широты;

2) в подавляющем большинстве случаев СЗМ изменяют средний уровень параметра ИФЭП в одну сторону - в сторону уменьшения параметра ИФЭП (условно СЗМ имеет "отрицательную" полярность);

3) форма СЗМ отличается от формы изменения пилообразного напряжения (ПН) зонда Ленгмюра тем, что некоторое время после начала развертки ПН СЗМ имеет нулевое значение и лишь после этой задержки форма СЗМ совпадает с формой ПН (см. рис. 1 и рис. 2);

4) во время цикла калибровки зонда Ленгмюра, когда рабочая поверхность зонда отключается от электронного блока и ПН подается лишь на охранную секцию зонда, амплитуда СЗМ примерно на 20% меньше амплитуды СЗМ во время рабочих циклов зонда Ленгмюра (см. рис. 1);

5) СЗМ появляются и исчезают с плавным изменением амплитуды с временем порядка и более ≥ 10 сек;

6) амплитуда СЗМ во время 2-х ПН несколько (на 10-20%) больше амплитуды СЗМ во время 8-х ПН (см. рис. 1);

7) довольно часто, но не на всех витках и только на некоторой части информации сеанса (≈ 1 мин.), СЗМ модулируются сигналом с периодом 2 сек. так, что СЗМ отклоняются от среднего уровня ИФЭП в сторону увеличения сигнала ("положительная" полярность). Отметим, что максимальное отклонение СЗМ в положительную сторону сопровождается резким по-

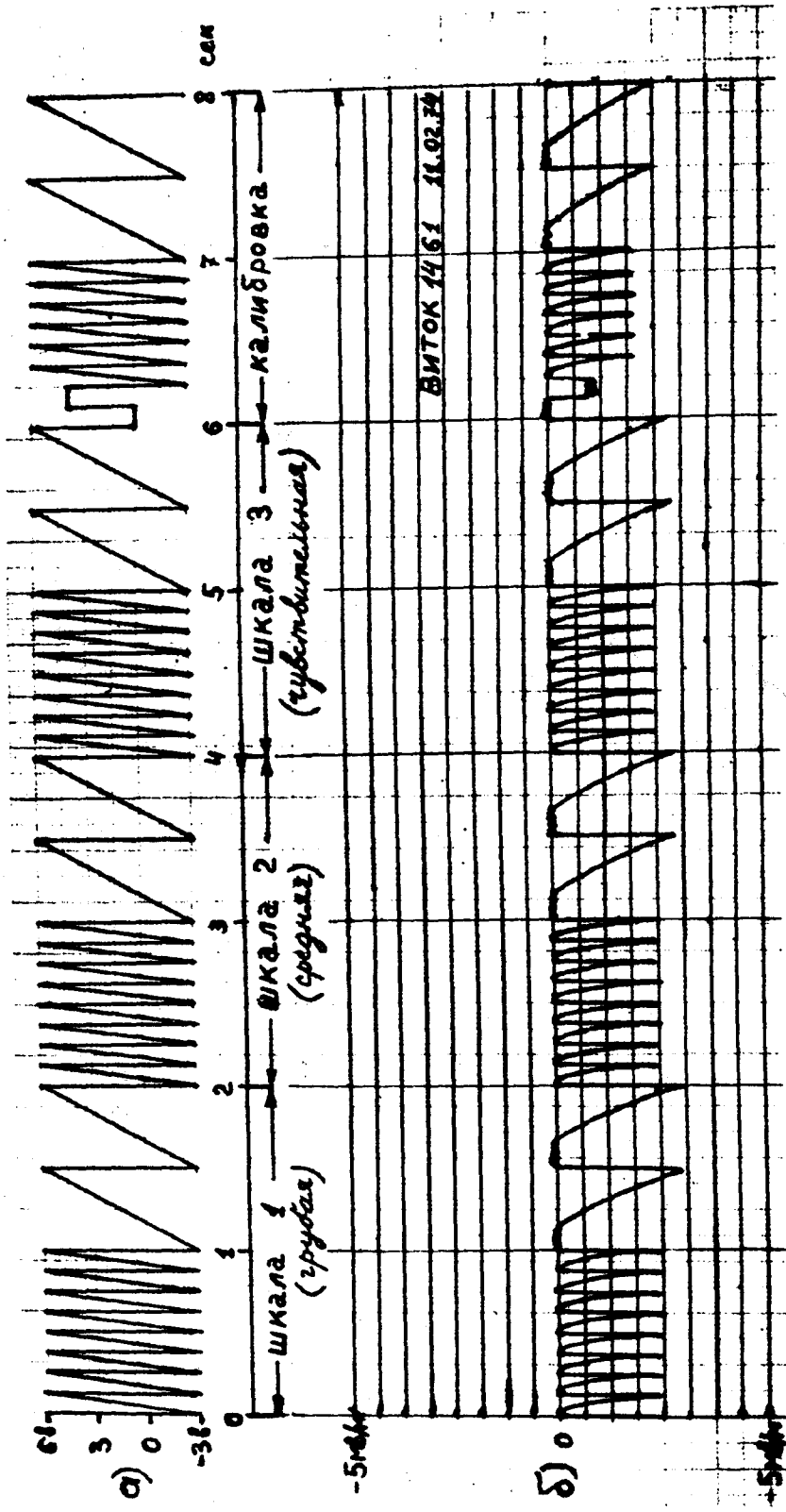


Рис.1. а/ Диаграмма пилообразных напряжений, подаваемых на ЗД;

б/ Сигналы ЗД, регистрируемые прибором ИФЭП.

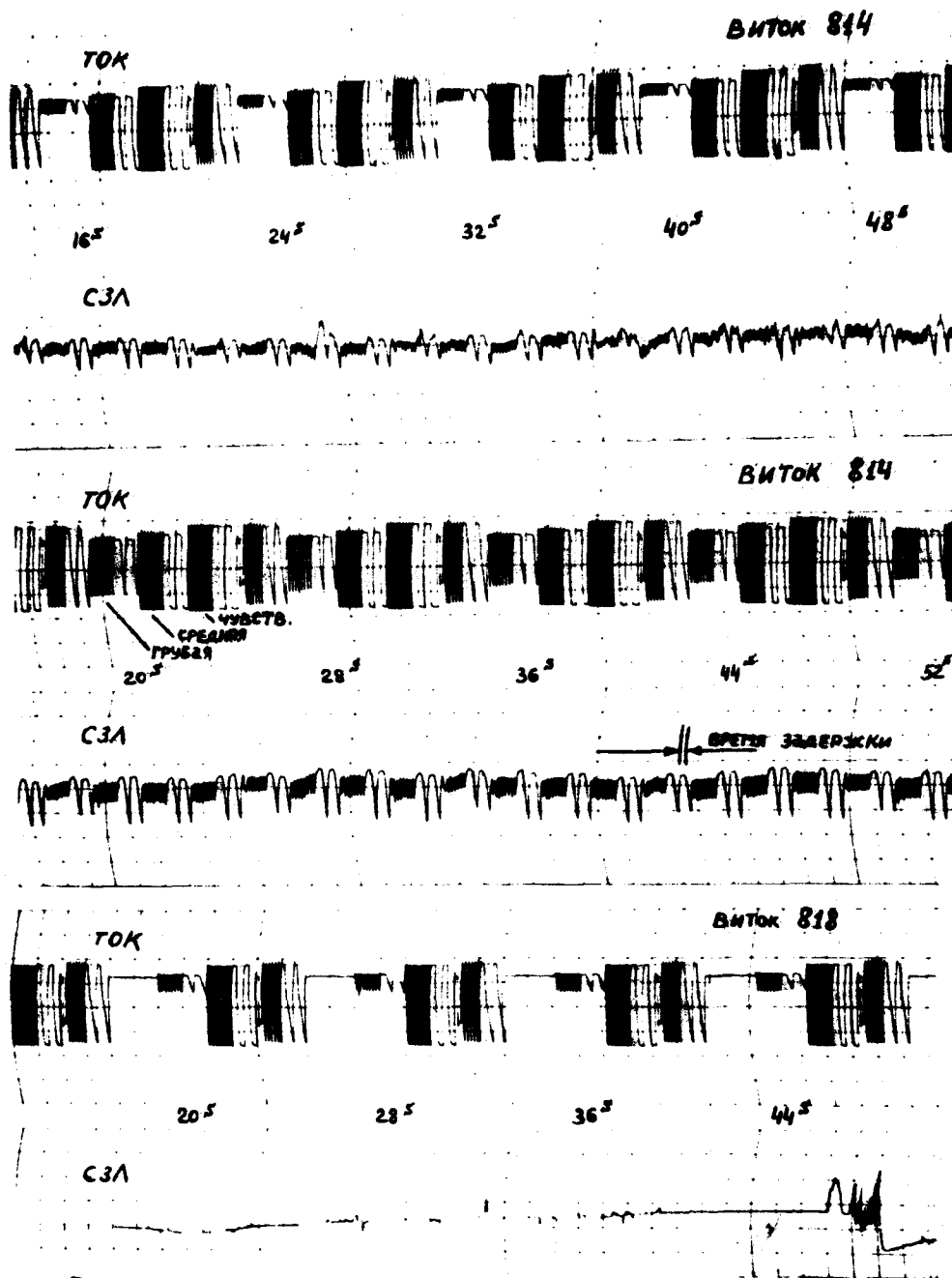


Рис.2. зависимость амплитуды сигналов ЗЛ, регистрируемых прибором ЛФЭЛ, от величины токов ЗЛ.

ложительным импульсом на СЗЛ.

Большинство перечисленных особенностей СЗЛ можно объяснить, если предположить, что при подаче на зонд Ленгмюра положительных напряжений относительно потенциала ионосферной плазмы, потенциал корпуса спутника изменяется и становится более отрицательным.

В самом деле, при проведении зондовых измерений в ионосферной плазме на зонд подаются различные потенциалы относительно опорного электрода-корпуса спутника. Зонд и опорный электрод представляют собой двухэлектродную систему, помещенную в плазму. Поэтому при изменении потенциала на зонде должен изменяться потенциал опорного электрода, так как суммарный ток на такую систему должен быть равен нулю.

Исходя из вышесказанного, легко объяснить зависимость СЗЛ от величины токов ЗЛ, одинаковую полярность СЗЛ (потенциал корпуса спутника изменяется в одну сторону), отличие формы СЗЛ от формы изменения ПН зонда Ленгмюра (при отрицательных потенциалах на зонде нет изменений потенциала спутника), уменьшение СЗЛ во время калибровки.

Величина изменения потенциала опорного электрода зависит от отношения площадей поверхностей опорного электрода и зонда, собирающих заряженные частицы, а также от параметров плазмы. На рис. 3 представлены результаты расчетов потенциала корпуса сферического спутника φ_s в зависимости от подаваемого на цилиндрический зонд потенциала относительно корпуса спутника φ_a для отношений площадей поверхности спутника рабочей поверхности зонда $d = 100, 500$ и 1000 . Считается, что цилиндрический зонд движется в перпендикулярном к своей оси направлении и при наличии фототока солнечное излучение падает также перпендикулярно к оси зонда. Температура электронов взята равной $T_e = 1000^\circ\text{K}$ и 3000°K , концентрация электронов $n_e = 10^4 \text{ см}^{-3}$, температура ионов $T = 1500^\circ\text{K}$, их масса $m_i = 16$. Скорость спутника принята равной $V_0 = 7,5 \text{ км/сек}$. Верхние кривые относятся к случаю отсутствия фототока $I_{ph} = 0$, средние и нижние - к $I_{ph} \neq 0$.

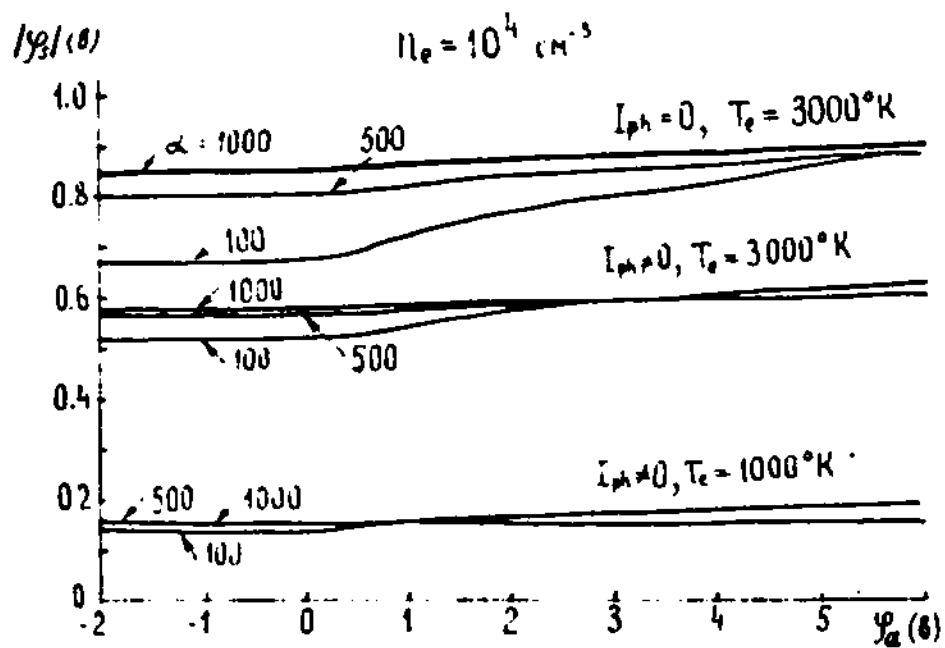


рис. 5. Изменение температуры электронов и фотоэмиссии по величине потенциала корулы спутника при различных α -отношениях области поверхности спутника и области поверхности ЗЛ.

Из рис. 3 видно, что при подаче на зонд напряжения относительно корпуса спутника от -2 до $+6$ в изменение потенциала этого корпуса $|\Delta\varphi_s|$ уменьшается с увеличением α , что и следовало ожидать. При увеличении T_e величина $|\Delta\varphi_s|$ увеличивается, фотоэмиссия уменьшает $|\Delta\varphi_s|$, что особенно заметно при малых концентрациях электронов $n_e \leq 10^5 \text{ см}^{-3}$.

Таким образом, если спутник освещен Солнцем, изменения потенциала его корпуса при данном T_e будут наибольшими (по модулю) при наибольших концентрациях электронов (что соответствует наибольшим зондовым токам). При наличии фототока и постоянном n_e появление изменений потенциала корпуса спутника может служить указанием на зону повышенной температуры электронов T_e . В отсутствие фотоэмиссии последнее справедливо практически при любых n_e .

В эксперименте на спутнике ИК-10 в течение 2 сек из 8-секундного цикла ПН подавалось только на охранную секцию, имеющую площадь поверхности $14,60 \text{ см}^2$. В течение остальных 6 сек ПН подавалось на охранную секцию и коллектор с площадью общей поверхности $18,25 \text{ см}^2$. При уменьшении площади поверхности, на которую подавалось ПН, величина СЗД также уменьшалась. Зная относительное уменьшение СЗД и параметры ионосферы, можно рассчитать проводящую поверхность спутника. На рис. 4 построены отношения приращений потенциалов корпуса спутника при площадях поверхности зонда $18,25$ и $14,60 \text{ см}^2$ в зависимости от параметра k - отношения площадей поверхности спутника полной поверхности зонда ($18,25 \text{ см}^2$) для $\varphi_a = (-2 + +6)$ в.

Для представленного на рис. 2 в качестве примера СЗД (сеанс 814) изменение СЗД при изменении площади поверхности зонда составляет $\approx 20\%$. Для этого момента времени $n_e \approx 7 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$, высота $h \approx 470 \text{ км}$, местное время $L T \approx 10^h 30^m$, геомагнитная широта $\varphi_{2,m} \approx 51^\circ$. Полагая, что отношение значений СЗД при разных площадях поверхности зонда приблизительно равно отношению приращений потенциалов корпуса спутника при тех же площадях поверхности зонда, из графика рис. 4 для $n_e = 10^5 \text{ см}^{-3}$ и $T_e = 2500^\circ \text{К}$ определяем $k \approx 430$. Отсюда

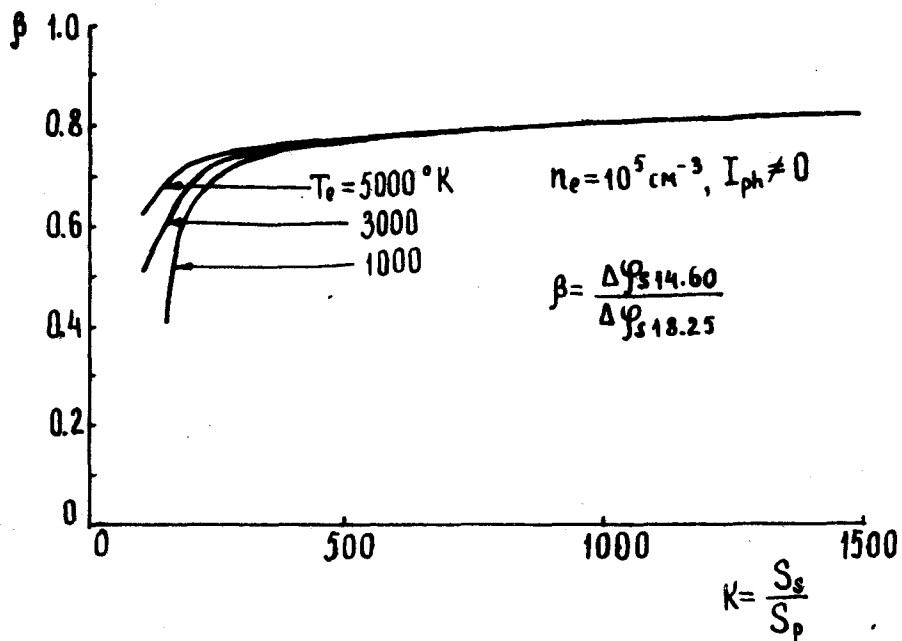


Рис. 4. Зависимость отношений приращений потенциала корпуса спутника от величины отношения площади поверхности спутника S_s к площади поверхности ЗЛ $S_p = 18,25 \text{ см}^2$ при подаче на ЗЛ напряжений от -2 до $+6$ в и изменении площади поверхности ЗЛ с $14,60 \text{ см}^2$ на $18,25 \text{ см}^2$.

следует, что площадь поверхности сферического металлического спутника равна $0,8 \text{ м}^2$. Таким образом, при площади поверхности корпуса спутника ИК-10 порядка 10 м^2 площадь его проводящей поверхности по порядку величины составляла 1 м^2 .

Рассмотрим теперь одну из возможных причин, обусловленных изменением потенциала ИСЗ и приводящих к сигналу - помехе на ИФЭП.

Обычно скорость спутника удовлетворяет условию $v_i \ll v_e \ll v_e$, где v_i и v_e - тепловые скорости ионов и электронов, а поверхность ИСЗ почти полностью поглощает попавшие на нее частицы. В этом случае электрическое поле в окрестности спутника в основном сосредоточено в следе ИСЗ. Область двойного слоя позади спутника порядка размеров самого спутника. Потенциал поля вне двойного слоя слабо зависит от потенциала корпуса ИСЗ, в то время как ход потенциала поля в двойном слое определяется потенциалом корпуса спутника [8].

Зависимость потенциала поля от параметров D/R_0 и $M_i = V_0/v_i$ в случае сферического спутника радиуса R_0 для некоторых полетных условий и различных высот h представлена на рис.5 [9]. Здесь D - дебаевский радиус невозмущенной плазмы. Угол θ отсчитывается от оси Z , проходящей через центр сферы в направлении $-\vec{V}_0$. Видно, что с уменьшением числа Маха M_i расстояние от поверхности спутника до точки, в которой потенциал минимален, уменьшается; величина минимального потенциала возрастает (по модулю) с уменьшением отношения D/R_0 .

На ИСЗ ИК-10 один из каждых двух электродов ИФЭП расположен от поверхности примерно на расстоянии его среднего радиуса, а с учетом раскрытых солнечных батарей и ближе.

Поэтому при нахождении ИФЭП в электростатическом следе спутника один из электродов попадал в двойной слой, а другой - в область следа вне двойного слоя. С изменением потенциала спутника потенциал в месте нахождения более удаленного от его поверхности электрода изменяется слабо, в то время как потенциал в месте нахождения ближнего электрода изменяется с изменением потенциала поверхности ИСЗ. В итоге,

с изменением потенциала спутника изменяется разность потенциалов в местах нахождения электродов.

Из рис. 5 следует, что с увеличением высоты h (с увеличением D/R_0 и уменьшением M_i) ход потенциала становится более плавным, т.е. уменьшается (по модулю) минимальное значение потенциала и уменьшается расстояние от спутника до поверхности минимального потенциала. При этом ближний электрод на достаточно больших высотах мог находиться в области вблизи минимума потенциала. В этом случае при изменении потенциала спутника сигнал-помеха на ИФЭП естественно, будет слабым.

Таким образом, для выяснения физических причин влияния необходимо знать ориентацию спутника.

Помимо СЭИ, на записях ИФЭП с полосой пропускания $0,01 + 10\text{Гц}$ наблюдаются сигналы, коррелирующие с моментами коммутации антенны приемника ОНЧ-излучения (РХ) при его калибровках (рис. 6). Эти сигналы, впоследствии называемые СРХ, имеют вид переходных процессов в RC-цепях. Амплитуда их изменяется в широких пределах от 0 до 100 мВ при неизменной полярности: при отключении антенны РХ полярность импульса положительная, при подключении — отрицательная. Сигналы СРХ тяготеют к области перигея орбиты (высота $270 + 600$ км). Замечено, что появление СРХ не зависит от координат спутника и его освещенности Солнцем. В пределах одного витка амплитуда СРХ испытывает квазипериодическое изменение с периодом, близким к периоду вращения спутника.

Природа сигналов СРХ становится сравнительно понятной, если учесть, что при калибровках РХ металлические экраны корпусов предварительных усилителей РХ, расположен-

* В соответствии с конструктивными особенностями прибора РХ при его калибровках производится ежеминутное шестисекундное отключение антенны прибора от усилителя.

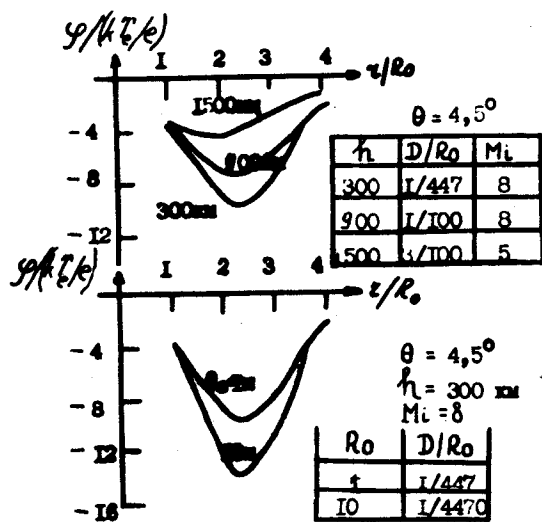


Рис. 5. Типичная зависимость кривых изменения потенциала от параметров D/R_0 и M_i .

ных на концах антенны РХ, заземляются на корпус спутника, увеличивая на ~3 % его проводящую поверхность. При этом в момент заземления экранов на корпус спутника потенциал корпуса спутника увеличивается, а в момент отключения экранов от корпуса спутника - уменьшается. Из-за полосы пропускания ИФЭИ ($0,01 + 1$), прямоугольные импульсы напряжения дифференцируются с постоянной времени, определяемой входным сопротивлением и переходной емкостью дифференциального усилителя ИФЭИ.

Следует отметить, что когда одновременно наблюдается СЗН и СРХ амплитуда СЗН меньше. Это также говорит об определяющей роли соотношения площадей проводящей поверхности спутника и зонда при влиянии ЗИ на ИФЭИ.

В заключение укажем, что проведенный дополнительный анализ показал, что вероятность влияния через телеметрические системы очень мала.

Литература

1. U.V.Fahleson. Theory of electric field measurements conducted in the magnetosphere with electric probes. Space Sci.Rev., 1967, 1, No 2/3, 238-262.
2. F.S.Moser. Analyses of techniques for measuring dc and ac electric fields in the magnetosphere. Space Sci.Rev., 1973, 14, No 2, 272-313.
3. D.P.Cauffman, D.A.Gurnett. Satellite measurements of high latitude convection electric fields. Space Sci.Rev. 1972, 13, No 3, 369-410.
4. F.L.Scarf, R.W.Fredricks, G.M.Creek. Detection of electromagnetic and electrostatic waves on OV 3-3. J.Geophys. Res., 1968, 73, No 5, 1723-1745.
5. F.L.Scarf, R.W.Fredricks, I.M.Green, G.M.Creek. Observations of interplanetary plasma waves, spacecraft noise and sheath phenomena on Imp.7. J.Geophys.Res., 1974, 79, No 1, 73-86.
6. P.Jiricek, P.Triska, J.Vojta. Observations of ELF and VLF electric fields with "Interkosmos 10" satellite. Czechoslovak academy of sciences, Geophysical institute preprint, Prague, 1975.
7. D.Bettac, G.L.Gdalevich, V.P.Gubsky, A.S.Debabov, J.Jiricek, I.N.Kapustin, S.I.Klimov, H.Lemann, Ja.I.Likhter, Ju.M.Mikhailov, S.P.Savin, E.E.Titova, P.Triska. Some effects in the region of the through from the "Interkosmos-10". Academy of sciences, USSR, Space Research Institute preprint D-199, Moscow, 1975.
8. Я.И.Альберт, А.В.Гуревич, И.П.Пятаевский. Искусственные спутники в разреженной плазме. Изд."Наука", М., 1964.
9. R.Vaglio-Laurin, G.Miller. Electrostatic field in the trail of ionospheric satellites. AIAA J., 8, No 6, 1098-1103 (русский пер.: Вальо-Лорен, Миллер. Электростатическое поле в следе за ионосферными спутниками. Работы техн.и космонавтики, 1970, 8 № 6, 136-143).