

ТЕХНИКА
1111111111
0000000000
4 6 8 10 12
2222222222
3333333333
4444444444
5555555555
6666666666
7777777777
8888888888
9999999999

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА

1982

о активным экспериментам в магни-

А. Д. и др. Искусственно стимули-

магнитосферы земли. — Докл. АН

В. С. Оптические наблюдения

магнетизм и аэрономия, 1975, вып. 15,

С. Б. и др. Свечение ионосферы

Физика плазмы, 1978, т. 4,

Г. П. Прохождение E-слоя

ионосферных наблюдений с самолета. —

20, вып. 1, с. 170—171.

В. М. et al. COSPAR 23 Plenary

precipitation of an internal radia-

tion in the lower ionosphere (Expre-

June 2—14, p. 287.

R. E. Design and operation of the

— Appl. Opt., 1971, vol. 10, N 9,

С. Б. Ляхов...; Оpubл. в Б. И.,

А. Д. и др. Фотометрические

мете «Сполох». — Сообщ. АН ГССР,

593.

С. Б. и др. Фотометрические и

мультированного выпадения в экспе-

И АН СССР № Пр-388. М., 1978.

В. Е. и др. Фотометрические

ном эксперименте «Сполох» с инжек-

Препринт ИКИ АН СССР № Пр-342.

II

АППАРАТУРА ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

УДК 681.332.3.629.785

АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИОНОСФЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ С ПОМОЩЬЮ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЗОНДА ЛЕНГМЮРА И ПЛОСКОГО АНАЛИЗАТОРА С ТОРМОЗЯЩИМ ПОТЕНЦИАЛОМ НА СПУТНИКЕ «КОСМОС-900»

В. Ф. Губский, В. И. Жданов, В. В. Афонин,
Г. И. Волков

Для измерений в ионосфере Земли концентрации n_e и температуры T_e электронов, концентрации n_i и температуры T_i положительных ионов и их массового состава была разработана аппаратура, в состав которой входили: датчик ДЗЛ (цилиндрический зонд Ленгмюра), датчик ПЛ-40А (плоский анализатор с тормозящим потенциалом) и блок электроники Д156-М. Пределы измерений: n_e — от $3 \cdot 10^2$ до $6 \cdot 10^5$ см⁻³; n_i — от 10^3 до 10^6 см⁻³; T_e и T_i — от 500 до 10 000 К. Аппаратура была установлена на борту ИСЗ «Космос-900», запущенного 30 марта 1977 г. на орбиту высотой 460—523 км и наклоном 83°. Аппаратура безотказно работала в течение всего времени активного существования спутника до октября 1979 г.

Цилиндрический зонд использовался для определения концентрации и температуры электронов, а плоский анализатор с тормозящим потенциалом ПЛ-40А использовался для определения концентрации, температуры и массового состава положительных ионов. Величины этих параметров получались путем математической обработки на Земле токовых характеристик соответствующих датчиков. Зондовая характеристика представляет собой зависимость собираемых зондом токов электронов и положительных ионов от величины потенциала на зонде. Токовая характеристика плоского анализатора представляет зависимость собираемых коллектором анализатора токов положительных ионов от величины потенциала на его анализирующей сетке. Каждая группа значений n_e , T_e и n_i , T_i , M_i определяется в результате обработки отдельной токовой характеристики и представляет некоторое усредненное значение за время измерения этой характеристики. На рис. 1 показана функциональная блок-схема эксперимента.

Для снятия зондовых характеристик на цилиндрический зонд от блока электроники подаются с периодом повторения 4 с пилообразные напряжения (ПН), имеющие в течение 3,6 с линейно-

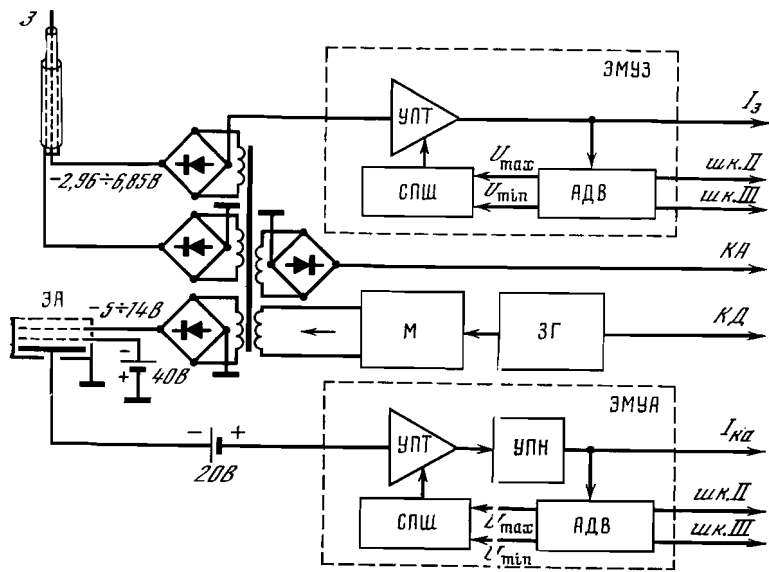


Рис. 1. Функциональная блок-схема экспериментов

З — цилиндрический зонд с охранной секцией, ЭМУЗ — электрометрический усилитель зондовых токов, ЭМУА — электрометрический усилитель токов анализатора, ЭА — электростатический анализатор плоского типа, СПШ — схема переключения шкал, М — модулятор, ЗГ — задающий генератор, АДВ — амплитудный дискриминатор выходного напряжения, УПТ — усилитель постоянного тока, УПН — усилитель постоянного напряжения, КА — контроль амплитуды пилообразного напряжения, КД — контроль длительности пилообразного напряжения, $I_{ка}$ — коллекторный ток анализатора, $I_з$ — ток зонда

возрастающий участок от $-2,96$ до $+6,85$ В и в течение $0,4$ с постоянный уровень $-2,96$ В. Такой постоянный уровень подается в начале съемки каждой характеристики для того, чтобы переходные процессы, вызванные резким изменением пилообразного напряжения и переключением шкал усилителя зондовых токов, не влияли на форму записи токов зондовой характеристики. Для уменьшения отклонения электрического поля от цилиндрической формы на конце зонда со стороны крепления к штанге зонд имеет охранную секцию. На коллектор зонда (собственно зонд) и на охранную секцию подаются одинаковые пилообразные напряжения, но с разных выходов генератора пилообразных напряжений (ГПН).

Величины токов электронов и положительных ионов, собираемых зондом, измеряются электрометрическим усилителем зондовых токов блока электроники.

Для снятия токовых характеристик датчика ПЛ-40А на управляющую сетку этого датчика подаются пилообразные напряжения, изменяющиеся в диапазоне от -5 до $+14$ В, форма которых аналогична подаваемым на зонд. Коллектор анализатора имеет

постоянный потенциал ионных токов. Измеряется электрометр.

Многошкальный датчик, выдающий напряжения (0-10 В).

Цилиндрический зонд с охранной секцией диаметром 120 и длиной 120 мм. Цилиндрическая часть зонда изготовлена из нержавеющей стали, диаметр ее 120 , а ее длина 120 , а ее диаметр 120 . На конце зонда установлена секция для уменьшения погрешности измерения по пилообразным напряжениям. Цилиндрический зонд имеет экранирующую секцию, которая соединена с обечайкой зонда.

Плоский анализатор

последовательный анализатор имеет круглую сетку закрывающуюся крышкой. Сетка соединена с коллектором зонда. На нее попадает двойной пилообразный ток. На расстоянии 3 мм от сетки подается -40 В относительно выбитые из коллектора электроны, попадающие в коллектор. Площадь коллектора 1 квадратный сантиметр. Диаметр лочек 25 мкм. Масса анализатора 10 г.

Масса анализатора 10 г.

В блоке электроники

перименты с п

Основными функциями

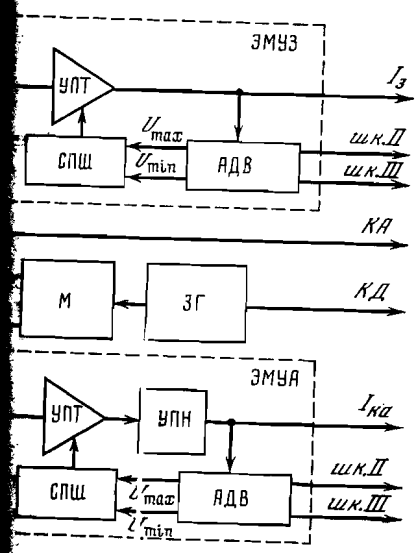
электрометрического

токов плоского зонда

ний, имеющий общие стабил

Каждый э

усилитель пос



на экспериментов
 ицей, ЭМУЗ — электрометрический усилитель
 ий усилитель токов анализатора, ЭА — электро-
 СПШ — схема переключения шкал, М — модуль
 В — амплитудный дискриминатор выходного
 го тока, УПН — усилитель постоянного напря-
 ообразного напряжения, КД — контроль дли-
 а — коллекторный ток анализатора, I_z — ток

2,96 до +6,85 В и в течение 0,4 с
 Такой постоянный уровень подает-
 характеристики для того, чтобы пере-
 резким изменением пилообразного
 шкал усилителя зондовых токов,
 ов зондовой характеристики. Для
 ческого поля от цилиндрической
 ны крепления к штанге зонд имеет
 тор зонда (собственно зонд) и на
 инаковые пилообразные напряже-
 ратора пилообразных напряжений

и положительных ионов, собирае-
 рометрическим усилителем зондо-
 ристик датчика ПЛ-40А на управ-
 подаются пилообразные напряже-
 от -5 до +14 В, форма которых
 д. Коллектор анализатора имеет

постоянный потенциал -20 В относительно корпуса. Ток поло-
 жительных ионов, собираемых коллектором анализатора, изме-
 ряется электрометрическим усилителем токов плоского анализа-
 тора.

Многошкальные электрические усилители, измеряющие токи
 датчиков, выдают на соответствующие телеметрические выходы
 напряжения (0—6,2 В), пропорциональные измеряемому току.

Цилиндрический зонд состоит из коллектора (собственно зонд)
 и охранной секции. Коллектор выполнен в виде стержня длиной
 120 и диаметром 1 мм, изготовленного из нержавеющей стали.
 Цилиндрическая охранная секция изготовлена из трубки нержа-
 вующей стали, надетой на продолжение прутка зонда со стороны
 установки его на штангу. Длина охранной секции также состав-
 ляет 120, а ее диаметр 4 мм. На спутнике зонд установлен
 на конце отдельной металлической штанги вдоль ее оси. Для
 уменьшения помех, вызываемых токами смещения при подаче
 пилообразных напряжений на цилиндрический зонд, кабель, иду-
 щий от цилиндрического зонда на вход электрометрического
 усилителя, имеет двойную экранировку. При этом по внутренней
 экранирующей оплетке подается пилообразное напряжение на
 охранную секцию зонда, по центральному проводнику — пило-
 образное напряжение на зонд, внешняя экранирующая оплетка
 соединена с общим корпусом.

Плоский анализатор с тормозящим потенциалом состоит из
 последовательно расположенных 4 сеток и коллектора. Анализатор
 имеет круглую форму с внешним диаметром 70 мм. Внешняя
 сетка закрывает входное отверстие диаметром 30 мм, эта сетка
 соединена с корпусом. На расстоянии 6 мм от входной сетки
 находится двойная анализирующая сетка, на которую подается
 пилообразное напряжение. Далее на расстоянии 6 мм распола-
 гается экранирующая сетка, соединенная с корпусом. Затем на
 расстоянии 3 мм установлена антифотосетка, имеющая потенциал
 -40 В относительно корпуса. Она задерживает фотоэлектроны,
 выбитые из коллектора при его освещении Солнцем, и электроны,
 попадающие в ловушку из ионосферы. Далее на расстоянии 3 мм
 находится коллектор. Диаметр коллектора 58 мм. Сетки имеют
 квадратный размер ячейки со сторонами 0,75 мм, диаметр прово-
 лочек 25 мкм. Коллектор изготовлен из никеля и имеет позоло-
 ченную поверхность. Края входного отверстия также позолочены.
 Масса анализатора около 300 г.

В блоке электроники объединены части, обслуживающие экс-
 перименты с цилиндрическим зондом и с плоским анализатором.
 Основными функциональными узлами являются: два отдельных
 электрометрических усилителя (токов цилиндрического зонда и
 токов плоского анализатора), генератор пилообразных напряже-
 ний, имеющий общую для обоих экспериментов задающую часть,
 общие стабилизатор и преобразователь напряжений.

Каждый электрометрический усилитель содержит: входной
 усилитель постоянных токов (УПТ), обеспечивающий измерение

токов соответствующего датчика; цепь, формирующую выходные напряжения в диапазоне 0—6 В, изменяющиеся пропорционально входным токам; дискриминатор выходных напряжений, срабатывающий при $U_{\max} = 6$ В и $U_{\min} = 0,3$ В, для управления работой схемы переключения шкал УПТ; схему переключения шкал, непосредственно выполняющую переключение шкал в требуемой последовательности и дающую соответствующие сигналы с указанием шкалы на выход блока электроники.

Генератор пилообразных напряжений содержит: задающий генератор, модулятор пилообразного напряжения, выходные каскады для подачи пилообразных напряжений необходимой амплитуды на датчики. Блок электроники питается от сети постоянного напряжения 28_{-4}^{+6} В. Потребляемая мощность при $U_{\text{пит}} = 28$ В около 10 Вт. Блок электроники рассчитан на работу внутри термоконтейнера в диапазоне температур 0—40° С. Габариты блока $125 \times 160 \times 250$ мм, масса 2,6 кг.

Исходя из того, что для надежного определения температуры электронов (T_e) по зондовой характеристике необходимо иметь измерения токов в широком диапазоне (отношение максимального тока к минимальному должно быть порядка нескольких сотен), а точность передачи телеметрической информации в диапазоне напряжений 0—6 В не лучше 1%, необходимо передавать измерения токов полной зондовой характеристики по нескольким шкалам.

В приборе используется методика последовательного формирования шкал в процессе передачи зондовой характеристики, являющаяся модификацией, применявшейся ранее в приборах для ракетных измерений [1]. Измерения зондовых характеристик проводились последовательно по двум шкалам, и результаты измерений передавались с одного телеметрического выхода без передачи по отдельному каналу указания используемой шкалы. Такой метод последовательной передачи зондовой характеристики по шкалам с одного выхода экономичнее по использованию телеметрических каналов при их ограниченном количестве, чем метод многошкальной передачи с использованием отдельного канала для каждой шкалы [2]. Однако с увеличением количества передаваемых шкал возрастает необходимость в передаче с отдельного выхода прибора также точного указания используемой шкалы, что приводит к дополнительному расходу телеметрических каналов. Если имеются лишь две шкалы, то нет необходимости в специальном указании шкалы, по которой в данный момент проводятся измерения. Для трех шкал также возможно обойтись без отдельного указания номера шкалы. Если устанавливать одну шкалу на время измерения одной зондовой характеристики и применять при этом некоторый цикл переключения шкал, то также возможна передача результатов измерений с использованием только одного канала передачи [3]. Однако в этом случае для построения полной зондовой характеристики необходимо «соединить» соответствующим образом несколько последовательно замеренных в одном цикле характеристик.

Измерен
лителем пр
токи измер
II шкале с
.10⁻⁷ до —
шкале соот
выходе эле
этого, по о
рического
При этом

При по
измерения
на выходе
= 6,2 В ал
чения шка
на уменьш
ние измере
пазонах ш
ния одной
концентра
ния пилоо
переключе
напряжен
либо прич
то произо
ключение

При ра
электронн
указания
легчают а

На ри
теристик,
подаваем
ного напр
время од

Электр
устроен а
Однако пр
ля постоя

тельные

Усили
лы: I —
+5·10⁻⁹
выходам
ния по
телем и
располож
с помош

вольт-ам

ка; цепь, формирующую выходные напряжения, изменяющиеся пропорционально выходным напряжениям, срабатывающая при $U_{\text{мин}} = 0,3$ В, для управления работой УПТ; схему переключения шкал, позволяющую переключение шкал в требуемой последовательности с соответствующими сигналами с указателя электроники.

Схема питания содержит: задающий источник пилообразного напряжения, выходные каскады выходных напряжений необходимой амплитуды, электронику питается от сети постоянного тока. Требуемая мощность при $U_{\text{пит}} = 6,2$ В электроники рассчитан на работу в диапазоне температур $0 - 40^\circ \text{C}$. Габариты: диаметр 20 мм, масса 2,6 кг.

Для надежного определения температуры в диапазоне (отношение максимального значения к минимальному — порядка нескольких сотен), для передачи информации в диапазоне температур $0 - 40^\circ \text{C}$ необходимо передавать измерительные характеристики по нескольким шкалам.

Для надежного формирования последовательного формирования зондовой характеристики, применявшейся ранее в приборах измерения зондовых характеристик по двум шкалам, и результаты измерения телеметрического выхода без переключения используемой шкалы. Такой способ измерения зондовой характеристики по нескольким шкалам.

Вместо использования телеметрического канала с увеличением количества передаточных указаний используемой шкалы, что приводит к увеличению расхода телеметрических каналов, то нет необходимости переключения шкалы, по которой в данный момент производится измерение.

Для измерения по нескольким шкалам также возможно обойтись одной шкалой. Если устанавливать шкалу на одной зондовой характеристике и переключать шкалу в течение цикла переключения шкал, то результаты измерений с использованием одной шкалы [3]. Однако в этом случае для измерения зондовой характеристики необходимо использовать несколько последовательных измерений.

Измерения зондовых характеристик электрометрическим усилителем прибора Д156-М возможны по трем шкалам. По I шкале токи измеряются в пределах от $+3,4 \cdot 10^{-8}$ до $-3,4 \cdot 10^{-8}$ А, по II шкале от $-2 \cdot 10^{-9}$ до $-6,28 \cdot 10^{-7}$ А, по III шкале от $-1,7 \cdot 10^{-7}$ до $-1,8 \cdot 10^{-5}$ А. Указанным величинам токов по каждой шкале соответствуют изменения напряжений на телеметрическом выходе электрометрического усилителя в пределах $0 - 6$ В. Кроме этого, по отдельной команде возможно переключение электрометрического усилителя на работу с повышенной чувствительностью. При этом чувствительность усилителя повышается в 6 раз.

При подаче на зонд возрастающего пилообразного напряжения измерения токов всегда начинаются с I шкалы. При достижении на выходе электрометрического усилителя напряжения $U_{\text{max}} = 6,2$ В амплитудный дискриминатор подает на схему переключения шкал соответствующий импульс и схема выдает команду на уменьшение чувствительности УПТ — происходит переключение измерений токов на следующую шкалу. При выбранных диапазонах шкал количество шкал, используемых в процессе измерения одной зондовой характеристики, определяется в основном концентрацией заряженных частиц в ионосфере. После возвращения пилообразного напряжения к исходному уровню происходит переключение измерений на I шкалу. Если в процессе измерений напряжение на выходе электрометрического усилителя по каким-либо причинам уменьшится до величины, меньшей $U_{\text{мин}} = 0,3$ В, то произойдет увеличение чувствительности усилителя — переключение на шкалу с меньшим номером.

При работе по шкалам II и III на отдельные выходы блока электроники от схемы переключения шкал подаются сигналы указания шкалы — напряжение 6 В. Такие указания шкал облегчают автоматизированную обработку характеристик на Земле.

На рис. 2 показан пример записи самописцем зондовых характеристик, контрольных пилообразных напряжений, подобных подаваемым на зонд, указаний шкал и длительности пилообразного напряжения, передаваемых по телеметрическим каналам во время одного из сеансов непосредственной передачи со спутника. Электрометрический усилитель токов плоского анализатора устроен аналогично зондному и работает подобным образом. Однако при этом необходимо включение инвертирующего усилителя постоянных напряжений (УПН), так как измеряются положительные токи.

Усилитель токов плоского анализатора имеет следующие шкалы: I — от $-2,5 \cdot 10^{-10}$ до $+2 \cdot 10^{-10}$ А, II — от $+2 \cdot 10^{-10}$ до $+5 \cdot 10^{-9}$ А, III — от $+5 \cdot 10^{-9}$ до $+1 \cdot 10^{-7}$ А. По двум отдельным выходам также передаются указания шкал II и III. Для измерения по первым шкалам положительных токов зондовым усилителем и отрицательных токов усилителем токов анализатора расположение отсчета нулевых токов по этим шкалам смещается с помощью ключевой схемы примерно на 3 В. Вид полученных вольт-амперных характеристик показан на рис. 3.

Усилитель токов плоского анализатора имеет следующие шкалы: I — от $-2,5 \cdot 10^{-10}$ до $+2 \cdot 10^{-10}$ А, II — от $+2 \cdot 10^{-10}$ до $+5 \cdot 10^{-9}$ А, III — от $+5 \cdot 10^{-9}$ до $+1 \cdot 10^{-7}$ А. По двум отдельным выходам также передаются указания шкал II и III. Для измерения по первым шкалам положительных токов зондовым усилителем и отрицательных токов усилителем токов анализатора расположение отсчета нулевых токов по этим шкалам смещается с помощью ключевой схемы примерно на 3 В. Вид полученных вольт-амперных характеристик показан на рис. 3.

Усилитель токов плоского анализатора имеет следующие шкалы: I — от $-2,5 \cdot 10^{-10}$ до $+2 \cdot 10^{-10}$ А, II — от $+2 \cdot 10^{-10}$ до $+5 \cdot 10^{-9}$ А, III — от $+5 \cdot 10^{-9}$ до $+1 \cdot 10^{-7}$ А. По двум отдельным выходам также передаются указания шкал II и III. Для измерения по первым шкалам положительных токов зондовым усилителем и отрицательных токов усилителем токов анализатора расположение отсчета нулевых токов по этим шкалам смещается с помощью ключевой схемы примерно на 3 В. Вид полученных вольт-амперных характеристик показан на рис. 3.

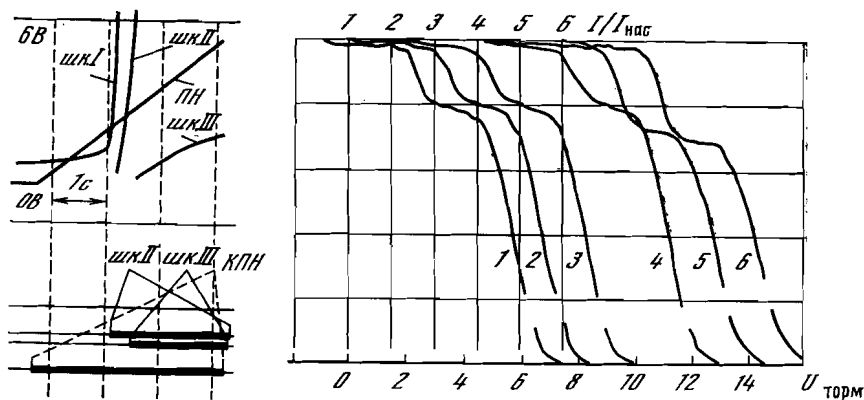


Рис. 2. Пример записей зондовых характеристик, контрольных пилообразных напряжений (ПН), индикации шкал и длительности пилообразных напряжений (КПН), полученных по телеметрическим каналам

Рис. 3. Вид нормированных на ток насыщения вольт-амперных характеристик, полученных при помощи плоской ионной ловушки ПЛ-40А в ночное время на средних широтах, иллюстрирующих наличие ионов разных масс. Каждая последующая кривая смещена на 1,5 В

Во входном каскаде УПТ зондовых токов используется транзистор с изолированным затвором 2П303Г. Во входном каскаде УПТ токов плоского анализатора используются электрометрические лампы ЭМ-10. Переключение шкал УПТ осуществляется путем параллельного подключения соответствующих резисторов с помощью реле РЭС-59А.

Для получения пилообразных напряжений в приборе используется модуляционный метод. Принцип действия задающего генератора основан на заряде конденсатора постоянным током. Величина зарядного тока стабилизируется схемой на полевом транзисторе. Задающий генератор может работать в автоколебательном режиме или синхронизироваться импульсами +5 В с периодом повторения 4 с. Модулятор построен по схеме двухтактного трансформаторного усилителя, напряжение питания на него подается от задающего генератора. Задающий генератор высокой частоты собран на микросхеме 1УТ401Б. Частота генератора примерно 75 кГц. Необходимые пилообразные напряжения получают с трансформаторных выходов ГПН. На отдельный телеметрический выход прибора в течение 3,6 с нарастания пилообразного напряжения от ГПН поступает сигнал (уровень 6 В) индикации пилообразного напряжения, который может быть использован для облегчения автоматизированной обработки зондовых характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гдалевич Г. Л., Губский В. Ф., Дмитриева И. Д. Высотное распределение электронной температуры по опытам 1965 г. на геофизических ракетах.— Космические исследования, 1967, т. 5, вып. 3, с. 456.