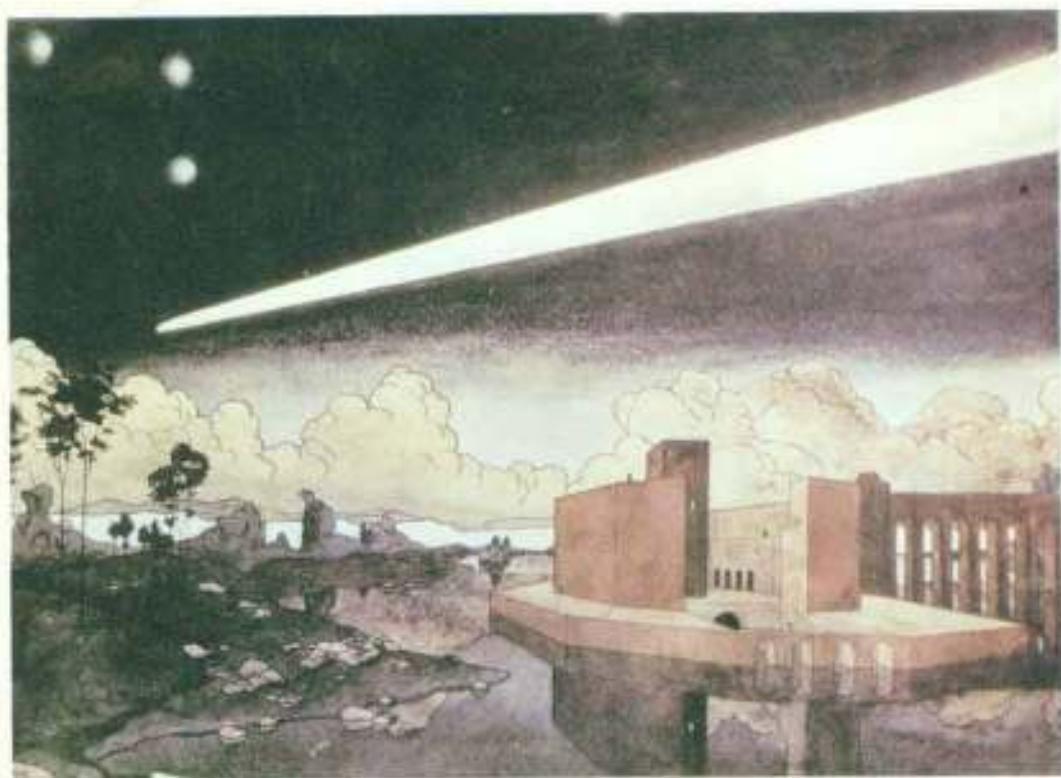


ОПИСАНИЕ И НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ МЕЖДУНАРОДНОГО ПРОЕКТА
«ВЕНЕРА-ГАЛЛЕЙ»
(1984-1986 гг.)



МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ
ПО ПРОЕКТУ "ВЕНЕРА-ГАЛЛЕЙ"

ОПИСАНИЕ И НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ МЕЖДУНАРОДНОГО ПРОЕКТА
«ВЕНЕРА-ГАЛЛЕЙ»
(1984-1986 гг.)



картина художника Г.Нарбута
"Комета. 1910"

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ
ПО ПРОЕКТУ "ВЕНЕРА-ГАЛИЛЕЙ"

Р.З.Сагдеев

(Председатель)

Р. Пелла (зам.Председателя)

Ф.Сабо (зам.Председателя)

В. Ридлер - Австрия

М. Гогомов - НРБ

К. Сёге - ВНР

Л.Сабо - ВНР

А. Шомодж - ВНР

Т.Гомбожи - ВНР

Х. Штиллер - ГДР

С. Гжандзельски - ПНР

В.Л.Барсуков - СССР

Г.А.Аванесов - СССР

А.А.Галеев - СССР

В.И.Мороз - СССР

В.Г.Перминов - СССР

Г.А.Скуридин - СССР

Е.А.Сурков - СССР

Э. Ринаво - Франция

А. Аммар - Франция

И. Бламон - Франция

Х. Фехтиг - ФРГ

Б. Вальничек - ЧССР

Ответственные за подготовку издания

В.М. Балебанов

Г.А. Скуришин

З.В. Воронцова

Оформление

Т.П. Зверева

Г.И. Злотин

Настоящее издание представляет собой развернутое описание проекта "Венера-Галлэй".

В подготовке материала принимали участие специалисты Австрии, НРБ, ГДР, ИМР, ПНР, СССР, Франции, ЧССР и ФРГ (Общество им. М.Планка).

Издание осуществляется на двух языках: русском и английском и призвано ознакомить с проектом широкую научную общественность.

В первую четверть века космических исследований была проведена своего рода рекогносировка внутри Солнечной системы. Главное внимание при этом обращалось на крупные тела - планеты и их большие спутники: были осуществлены встречи, посещения или облет с помощью космических аппаратов всех планет Земной группы вплоть до Меркурия, а также двух планет-гигантов - Юпитера и Сатурна - с системой их спутников.

Сейчас интересы исследователей обратились и к совершенно другому классу объектов Солнечной системы - к малым телам (кометам и астероидам). Дело в том, что из-за малой массы комет и их значительной удаленности от Солнца они могли на длительное время законсервировать в себе "первоозданное" вещество исходной газово-пылевой туманности, из которой образовалась Солнечная система, и тем самым сохранять очень важную информацию о начальной стадии ее формирования.

Обсуждалось много проектов исследования малых тел. В частности, американскими специалистами по небесной механике были сделаны расчеты, согласно которым можно так подобрать баллистическую траекторию космического аппарата, чтобы за несколько оборотов вокруг Солнца он встретился, например, с десятком астероидов и тем самым с близкого расстояния можно было бы получить новые данные об этих небесных телах. Но астероид, помимо того что является холодным телом, не имеет также газовой и пылевой компонент, - обязательных в случае кометы и позволяющих получить уникальную информацию, вплоть до элементного и даже изотопного состава пылинок, входящих в состав кометных атмосфер. (Конечно, при этом возникает очень сложная

задача защиты аппарата от летящих с огромными скоростями частиц массой до 1 г. Кроме того, комета вызывает мощные возмущения в окружающей межпланетной плазме (солнечном ветре), а астероид такого возмущения не создает.

Поэтому на сегодня весь опыт, накопленный при исследовании Солнечной системы, позволяет поставить очень интересную программу дальнейших экспериментов, одним из этапов которой является экспедиция к комете Галлея. Это довольно активная периодическая комета. Ее очередное посещение Солнечной системы произойдет в 1986 г.

Но, конечно, "кометчики" мечтают о том времени (на это, как мне кажется, потребуется еще примерно десяток лет), когда космический аппарат может совершить такой маневр, который позволил бы не просто на громадной скорости проскочить мимо кометы, но сблизиться с ней на очень малой скорости, быть может, зайти в хвост кометы и медленно приблизиться к ее ядру. Тогда столкновения с пылью уже не будут представлять большой опасности, поскольку скорость движения аппарата относительно кометы будет невелика, около 1 км/с.

Однако все сказанное отнюдь не означает, что уже ничего делать в области исследования планет. Мне кажется, нужно продолжить глубокую разведку тех больших тел Солнечной системы, мимо которых еще не пролетали автоматы. Это, безусловно, интересное направление. В то же время очень важно сохранить в качестве "космического полигона длительного использования" те объекты, которые мы уже начали серьезно изучать. Одним из таких полигонов стала Венера. Я уже не говорю о нашей ближайшей соседке - Луне. Думаю, тот перерыв, который возник в последнее время в ее исследованиях, - это просто некоторый промежуток времени, необходимый, чтобы собраться с силами и по-новому продолжить ее изучение.

А вот Венера уже стала таким космическим полигоном для климатологов и метеорологов, получивших еще одну модель, на которой можно "обкатать", проверить сложные теории взаимодействия солнечного излучения с атмосферой, теплового баланса атмосферы и возникающих вследствие этого мощных гидродинамических движений (циркуляций) в атмосфере.

С другой стороны, после успешного полета "Венера-13,-14,-15 и 16" Венера стала полигоном для геологов и геохимиков: получены не только панорамы поверхности планеты, но проведен конкретный геохимический анализ ее вещества. Это также крайне важно, поскольку в последние десятилетия были созданы глобальные модели образования земной коры, формирования ее минерального состава. Теперь необходимо понять, как в эту общую концепцию вписываются условия на Венере. Тем самым мы лучше разберемся в том, что происходит на Земле.

Я думаю, этими двумя путями — изучением малых и больших тел Солнечной системы — и пойдет развитие космических исследований в ближайшее время.

Академик

Р.Э.Сагдеев

В В Е Д Е Н И Е

В 1985-1986 гг. представляется уникальная возможность совместить полет к комете Галлея с облетом планеты Венера и вывести космический аппарат (КА) на траекторию полета к комете Галлея в результате гравитационного маневра в поле тяготения Венеры.

Космический аппарат, выводимый на траекторию полета к планете Венера, по своей конструкции состоит из двух частей: спускаемого и пролетного аппаратов. Спускаемый аппарат предназначен для исследования Венеры, а пролетный - для исследования кометы Галлея. Такая схема полета реализуется в Международном проекте "Венера-Галлей" (ВЕГА), разрабатываемом Советским Союзом на широкой международной основе. В подготовке научной программы проекта участвуют специалисты Австрии, Болгарии, ГДР, Венгрии, Польши, СССР, Франции, Чехословакии и ФРГ (общество им. Макса Планка). Его координация осуществляется Международным научно-техническим комитетом, возглавляемым научным руководителем проекта академиком Р.З.Сагдеевым.

В декабре 1984 г. с советского космодрома Байконур стартуют две космические ракеты, на борту каждой из которых установлен космический аппарат ВЕГА.

Таким образом, на траекторию полета к планете Венера выводятся два независимых космических аппарата ВЕГА с целью большей надежности осуществления научной программы исследований.

В конце 1985 г. при подлете к Венере от космического аппарата ВЕГА отделяется спускаемый аппарат, который входит в атмосферу Венеры и совершает посадку на ее поверхность.

В процессе спуска на заданной высоте от спускаемого аппарата отделяется аэростатный зонд, совершающий затем дрейф в атмосфере Венеры.

Пролетный космический аппарат продолжает свое движение, и с помощью его радиосистемы осуществляется передача данных на Землю во время работы научных приборов, установленных на спускаемом аппарате.

После этого в результате гравитационного маневра и соответствующих коррекций пролетный аппарат направляется для встречи с кометой Галлея, которая состоится 6-12 марта 1986 г.

Предполагается, что пролет космического аппарата произойдет на расстоянии 10 тыс. километров от ядра кометы с подсолнечной стороны.

На аэростатном зонде для приема научной информации устанавливается спутниковый передатчик VLBI, работавший на длине волн 18 см. Его сигналы будут приниматься сетью наземных радиотелескопов, расположенных как на территории СССР, так и в других странах.

Такой же передатчик устанавливается на борту пролетного аппарата для более надежного определения траектории его движения.

В целом проект ВЕГА предназначен для решения трех основных задач:

- исследование атмосферы Венеры, особенно ее облачного слоя, и изучение поверхности планеты;
- изучение циркуляции атмосферы Венеры и ее метеорологических параметров;

— исследование кометы Галлея.

Исследование кометы имеет цель:

- определить физические характеристики ее ядра (размер, форму, свойства поверхности, температуру);
- изучить структуру и динамику околоядерной области комы;
- определить состав газа в околоядерной области (проблема "родительских" молекул);
- определить состав пылевых частиц и их распределение по массам на различных расстояниях от ядра;
- изучить взаимодействие солнечного ветра с атмосферой и ионосферой кометы.

Трехосная система ориентации пролетного аппарата имеет точность около 1° . Он располагает двумя радиолиниями передачи информации со скоростью 65536 и 3072 бит/с. На борту пролетного аппарата находятся следующие специальные системы:

- автоматическая стабилизированная платформа;
- блок управления научной аппаратурой;
- блок логики и сбора информации.

Основная часть научной аппаратуры (оптический комплекс, включая телевизионную систему), которая требует точного наведения на комету, устанавливается на платформе, остальные научные приборы размещаются на корпусе аппарата.

I. ОПТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМЕТЫ ГАЛЛЕЯ

Для обеспечения работ по проекту ВЕГА была разработана инженерная модель кометы Галлея, которая определяет диапазон физических параметров, влияющих на функционирование используемых технических средств, и является основополагающей при их проектировании.

Наиболее важны в инженерной модели два вопроса:

1) характеристики кометы как оптической цели, на которую наводятся приборы платформы;

2) характеристики пылевой комы с точки зрения опасности повреждения космического аппарата и приборов ударами частиц кометного вещества, находящегося в конденсированной фазе.

При разработке инженерной модели кометы Галлея за основу были взяты следующие представления:

1) ядро кометы является консолидированным телом (типа астероида) с преобладанием или значительным содержанием летучих, среди которых главным компонентом является лёд H_2O ; имеются также тугоплавкие вещества (металлы, силикаты), которые полностью или частично находятся в мелкораздробленном состоянии;

2) под действием солнечного излучения из ядра летучие испаряются и образуются потоки газа, увлекающие за собой твердые частицы тугоплавкого вещества; не исключено, что могут увлекаться и ледяные частицы.

Ниже приводятся основные положения инженерной модели, касающиеся ее оптических характеристик кометы, а пылевая кома рассматривается в гл. II.

Под действием дужевого давления потоки газа и пыли, направленные первоначально по радиусу от ядра, отклоняются и заполняют вытянутый объем, ограниченный поверхностью, которая в первом приближении имеет форму параболоида. Газ и пыль рассеивают солнечное излучение. Спектральные и фотометрические характеристики рассеянного излучения позволяют оценить состав и количество вещества в коме и хвосте. Фотометрическая информация о комете Галлея, полученная при предыдущих прохождениях перигелия, очень ограничена: это интегральная визуальная звездная величина в функции расстояния от Солнца. Тем не менее, комбинируя эту информацию с данными о других кометах и базируясь на описанных выше основных представлениях, можно получить ряд важных количественных оценок, описывающих необходимые для инженерной модели физические параметры, такие как распределение яркости в коме и плотность пылевых частиц различных размеров.

В конце 1982 г. были проведены первые наблюдения кометы Галлея в ее нынешнем появлении. Они позволили определить звездную величину ядра и произведение квадрата радиуса на альбедо. Этот параметр равен $R^2 p = 1,35 \pm 0,15 \text{ км}^2$. Принимая альбедо $p = 0,2^{+0,2}_{-0,1}$, имеем оценку радиуса $R = 2,6^{+1,1}_{-0,8} \text{ км}$.

Рекомендуемая с учетом этих данных звездная величина ядра при расстоянии до Солнца 0,82 а.е. (на котором произойдет встреча) и до космического аппарата 10^6 км равна $m_R = 6,0 \pm 0,3$.

Эта величина относится к длине волны 0,7 мкм (эффективная длина волны ТВ-камеры и датчиков наведения) и углу фазы 110° , который будет иметь место при расстоянии $10^6 - 10^7 \text{ км}$. Предполагается, что ядро имеет сферическую форму и по угловым характеристикам отражения аналогично лунной поверхности.

Диапазон спектра, рекомендованный для фотографирования ядра (0,63 - 0,76 мкм), был выбран исходя из того, что в нем известные газовые эмиссии комет наименее интенсивны и, следовательно, можно здесь ожидать максимального контраста ядро/кома.

Распределение яркости в коме вычислялось для двух групп моделей. В моделях группы "А" предполагается, что потоки газа и пыли расходятся от ядра равномерно во все стороны. В моделях группы "Б" сохранялось то же предположение для газа, а для пыли вводилась гипотеза, что потоки ее уходят только с дневной стороны и величина их пропорциональна косинусу угла между нормалью к поверхности ядра и направлением на Солнце. Учитывалось, что скорости пылинок в радиусе < 100 км от ядра постепенно возрастают с увеличением расстояния до него.

Одним из наиболее важных вопросов фотометрической модели является контраст ядро/кома. Под контрастом понимается величина

$$K = \frac{B_1 + B_2}{B_3},$$

где B_1 - яркость ядра на лимбе; B_2 - яркость комы вблизи лимба, но внутри видимой границы ядра; B_3 - то же вне видимой границы ядра. Ожидаемый контраст (при угле фазы 0°) находится в пределах $1,5 < K < 37$ в зависимости от конкретных параметров моделей. Учитывая полное отсутствие наблюдательных данных о строении комы на расстояниях меньше 10^3 км от ядра, нижний предел K определяется неуверенно. Поэтому рекомендуется обеспечить максимально возможную контрастную чувствительность при фотографировании ядра.

Неоднородное испарение на поверхности ядра и нестационарность этого процесса во времени приводят к появлению ярких облаков, "стримеров", оболочек. Эти эффекты описываются при

помощи некоторой статистической модели, параметры которой основаны на анализе фотографий кометы Галлея, полученных в 1910 г.

Имеется эмпирическая зависимость между изуальной звездной величиной кометы и величиной потока газа с поверхности ядра (он определяется по наблюдениям в линии Лайман-альфа). Применяя ее к комете Галлея, можно получить полный поток водородных атомов:

$$Q_H = (5 \pm 3) \cdot 10^{29} \text{ с}^{-1}$$

для расстояния 0,82 а.е. после перигелия (т.е. на момент встречи). В пересчете на массу газа это соответствует

$$\frac{dM}{dt} = (8 \pm 4) \cdot 10^5 \text{ зс}^{-1}$$

Предполагается, что во внутренней части комы газ состоит на 90% из H_2O . Численная плотность молекул на расстоянии 10000 км от ядра оценивается в $2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$, массовая — $10^{-17} \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$. Эта плотность достаточно низка, чтобы не повлиять на движение космического аппарата.

П. ПЫЛЕВАЯ АТМОСФЕРА ВЕЛИЗИ КОМЕТЫ ГАЛЛЕЯ И МЕТЕОРИТНАЯ ОПАСНОСТЬ

Пылевая атмосфера кометы возникает в результате ускорения пылевых частиц газом, сублимирующимся с поверхности ядра кометы. Полную массу газа, испаряющегося с поверхности ядра кометы Галлея, можно получить с помощью данных фотометрических наблюдений кометы. По различным оценкам эта величина лежит в интервале от

$$\dot{M}_g^{\text{ макс}} = 8,2 \cdot 10^6 \text{ г. с}^{-1} \quad (1)$$

до $\dot{M}_g^{\text{ мин}} = 1,46 \cdot 10^7 \text{ г. с}^{-1}$

на расстоянии 0,8 а.е. от Солнца. Обычно предполагается, что в случае кометы Галлея отношение пыль-газ составляет величину 0,5.

Типичная функция распределения пылинок по размерам имеет вид

$$F(a) \approx \frac{\text{const}}{a^u}, \quad (2)$$

где a - радиус пылевой частицы, спектральный индекс u для кометы Галлея составляет величину $4 \leq u \leq 4,2$.

Решения уравнений для расширяющегося газа и пыли кометы аналогичны решениям для солнечного ветра: в этом случае гравитационная сила, действующая на газ со стороны Солнца, должна быть заменена силой трения между газом и пылью.

По аналогии с решением для солнечного ветра можно построить решение, в котором газ, имея сначала дозвуковую скорость, затем непрерывно ускоряется до сверхзвуковой скорости. На расстоянии выше сотни километров от ядра лежит область, где газ и пыль расширяются с постоянными скоростями.

На рис. I представлены результаты расчетов терминальной скорости пылевых частиц как функции их размера a . Для малых частиц (радиус $a \lesssim 1 \text{ мкм}$) терминальная скорость максимальна и приближенно равна $0,7 V_d$ (V_d — терминальная скорость газа). Для больших размеров она уменьшается приблизительно как $1/a^{1/2}$.

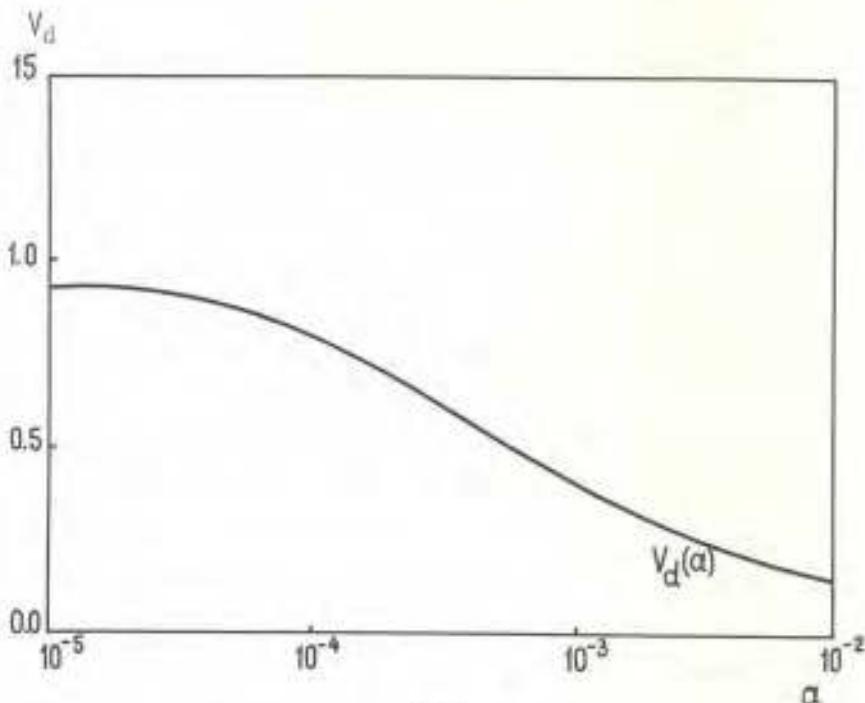


РИС. I.

Во многих пылевых моделях для терминальной скорости пыли используется упрощенная формула, которая приближенно совпадает с результатами численного моделирования:

$$V_d(a) = \frac{7,44 \cdot 10^4}{1 + 10^2 \left(\rho_d a \frac{4 \cdot 10^6}{M_d} \right)^{1/2}}, \quad (3)$$

M_d - масса пыли, высвобождаемой с кометы в единицу времени на расстоянии 0,8 а.е. от Солнца; $\rho_d (2 \cdot 10^{-3})$ - плотность пылинок. Можно предположить, что однородный почти изотропный (в пределах $\frac{2\pi}{3}$ отрадиан) поток пылевых частиц, движущихся с постоянной скоростью, является удовлетворительной моделью для описания реальной ситуации на этих расстояниях.

При своем дальнейшем движении пылевые частицы отбрасываются обратно в хвост радиационным давлением Солнца, так что их траектории заполняют параболоид вращения, который определяется следующим уравнением:

$$1 - 2Gx = G^2(x^2 + y^2). \quad (4)$$

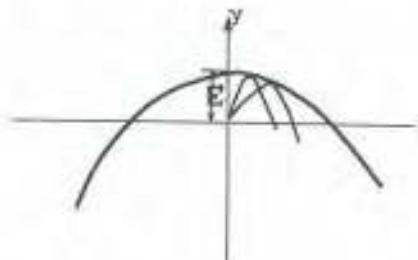


Рис. 2.

Параметр $G = \frac{w}{v^2}$, w - ускорение, обусловленное радиационным давлением,

$$w = \frac{3 h_c}{16 \rho_d a \tau_s^2 c} \bar{U}_{pr}, \quad (5)$$

ν_c - светимость Солнца ($\nu_c = 3.8 \cdot 10^{26}$ Вт), γ_s - гелиоцентрическое расстояние, c - скорость света, Q_{pr} - эффективность радиационного давления. Наибольшее расстояние параболоида от ядра кометы $E = 1/2 G$ определяется соотношением

$$E = \frac{5}{8} \cdot 10^{10} \frac{\rho_d a \cdot M_d / 4 \cdot 10^6}{\left[(\rho_d \cdot a)^{1/2} + 10^{-2} \left(\frac{M_d}{4 \cdot 10^6} \right)^{1/2} \right]^2} Q_{pr} \quad (6)$$

Для достаточно больших частиц пыли параметр E не зависит от плотности и размеров пылинок, так как при этом как ускорение, обусловленное радиационным давлением, так и квадрат скорости пылинки v^2 обратно пропорциональны параметру $\rho_d a$. Величина E для таких частиц составляет $6 \cdot 10^4$ км.

Зависимость E от a становится существенной для пылинок с массами $m < 10^{-8}$ г (при $\rho_d \approx 1.2 \cdot 10^{-3}$). Наименьшие значения E достигаются для очень малых пылинок с массами в интервале от 10^{-12} до 10^{-14} г, для которых становится существенным резонансное увеличение рассеяния света вследствие того, что их размеры сравнимы со световой длиной волны (резонанс M_u). Минимальное значение E сильно зависит как от пылевого потока, так и от рассеивающих свойств пылевых частиц и может быть меньше 10^4 км, так что вопрос о попадании частиц с массами $10^{-14} < m < 10^{-11}$ г на аппарат, проходящий на минимальном расстоянии $\gamma_{min} = 10^4$ км от кометы, остается, в принципе, открытым.

Для иллюстрации на рис.3, 4 приведены результаты вычислений Q_{pr} и величин апексов E для частиц малых размеров. Результаты сильно зависят от материала пылинки, однако ясно, что, по крайней мере, малые частицы с $a < 0.5$ мкм не будут сталкиваться с аппаратом. В то же самое время внутри параболоида существует постоянный поток пыли на аппарат, состоящий из пылевых частиц больших размеров.

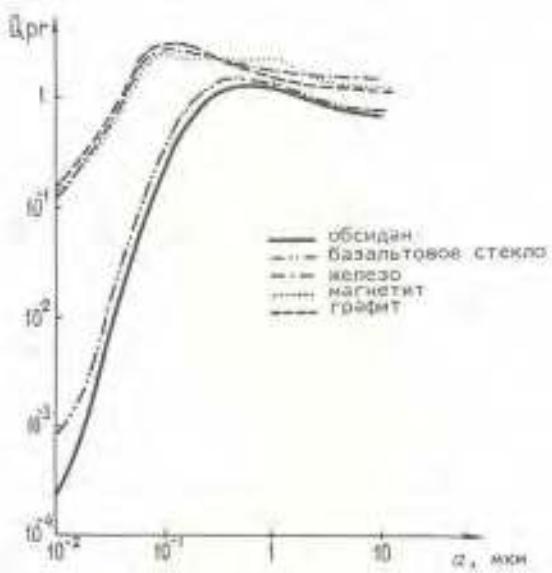


Рис. 3.

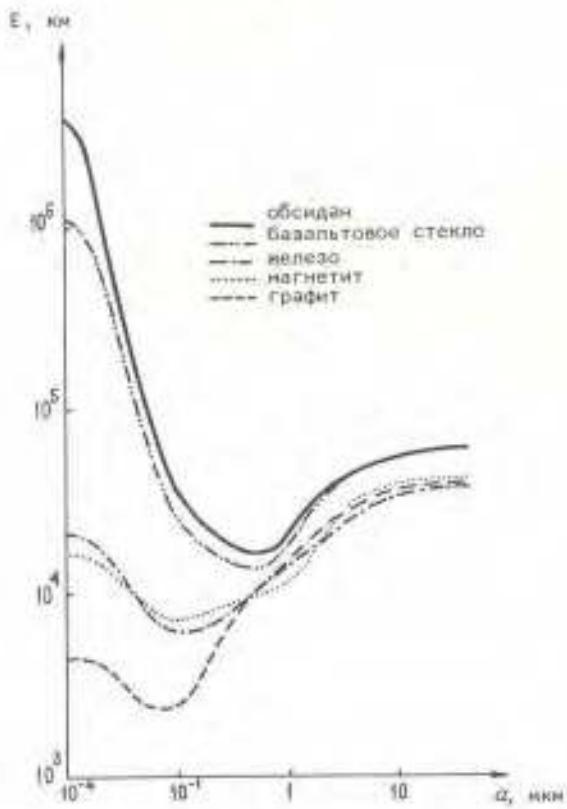


Рис. 4.

Таблица I

Полное количество ударов пылинок в заданном интервале масс или размеров с поверхность аппарата площадью 1 м^2 , а также глубин образующихся кратеров

Интервал масс пылинок	Интервал размеров	Количество уда- ров с площа- $\int = 1 \text{ м}^2$	Глубина кратера
$10^{-8} < m < 10^{-7}$	$1,33 \cdot 10^{-3} < a < 2,85 \cdot 10^{-3}$	$4,48 \cdot 10^3$	$3,3 \cdot 10^{-2}$
$10^{-7} < m < 10^{-6}$	$2,85 \cdot 10^{-3} < a < 6,23 \cdot 10^{-3}$	$3,36 \cdot 10^2$	$7,4 \cdot 10^{-2}$
$10^{-6} < m < 10^{-5}$	$6,23 \cdot 10^{-3} < a < 1,33 \cdot 10^{-2}$	25	$1,7 \cdot 10^{-1}$
$10^{-5} < m < 10^{-4}$	$1,33 \cdot 10^{-2} < a < 2,85 \cdot 10^{-2}$	2,2	0,38
$10^{-4} < m < 10^{-3}$	$2,85 \cdot 10^{-2} < a < 6,23 \cdot 10^{-2}$	0,14	0,84
$10^{-3} < m < 10^{-2}$	$6,23 \cdot 10^{-2} < a < 1,13 \cdot 10^{-1}$	0,01	1,92

В табл. I приведены числа больших частиц с массами $m > 10^{-10}$ г, попадающих на 1 м² поверхности аппарата за все время пролета.

Площадь защищаемой поверхности аппарата (без солнечных панелей) составляет величину ≈ 5 м². Если исходить из условия, что защита должна обеспечить выживаемость аппарата с вероятностью 90%, то, как это следует из таблицы, экраны должны быть рассчитаны таким образом, чтобы защищать аппарат от частиц с массами, большими 10⁻³ г (полная вероятность столкновения с аппаратом больших частиц не превышает 10%).

Вычисления толщины пылевого экрана основаны на различных эмпирических выражениях для глубины кратера, образующегося при ударе пылинки об экран. Наиболее реалистической является оценка глубины кратера, основанная на энергетическом рассмотрении: кинетическая энергия пылинки, ударяющейся об аппарат $\frac{1}{2}mU_0^2$ ($U_0 = 78$ км/с - скорость аппарата), уходит на испарение материала экрана внутри конического кратера глубиной d и радиусом основания $r = \frac{d}{2}$. В этом случае глубина кратера, образованного в полубесконечном экране при ударе пылинки, равна

$$d = \left[\frac{6}{\pi} \cdot \frac{\rho_0 U_0^2}{\vartheta \varepsilon_{ исп }} \cdot \frac{1}{\rho_1} \right]^{1/3} \approx 153a, \quad (7)$$

$\rho_1, \varepsilon_{ исп } -$ плотность и удельная теплота испарения материала экрана (в случае алюминиевого экрана $\rho_1 = 2,7$ г/см³, $\varepsilon_{ исп } = 10^{11}$ эрг/г), $\vartheta -$ численный коэффициент, $\vartheta \approx 4 + 5$. Экспериментальные результаты с удовлетворительной точностью (~30%) описываются соотношением (7).

Из (7) следует, что использование одного экрана реально не обеспечивает требуемую защиту, так как в этом случае для задержания частиц с массой не более 10⁻³ г необходимо иметь экран толщиной 1 см. Более разумным является использование защиты

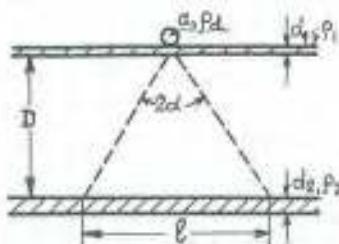


РИС. 5.

с двумя экранами, из которых передний играет роль испарителя (рис.5). При скорости аппарата 78 км/с удельная энергия пылевой частицы, ударяющейся о передний экран ($\sim 10^{13}$ эрг/г), примерно в 100 раз превосходит удельную теплоту сублимации алюминия. Поэтому, пробивая передний тонкий экран, пылинка испаряется и испаряет часть материала экрана. В результате образуется газовая струя, заполняющая конус с большим углом вокруг направления первоначального движения пылинки. Толщина переднего экрана выбирается исходя из условия, что волна разрежения, образующаяся при достижении ударной волной задней стенки экрана, не успевает догнать ударную волну в пылинке и ослабить ее. Чтобы испарить пылевую частицу с массой 10^{-3} г, следует выбрать толщину экрана приблизительно равной $4 \cdot 10^{-2}$ см.

Испаренное вещество экрана и пылинки будут образовывать плазменную струю, истекающую из кратера. Полный импульс струи превосходит импульс пылинки в $\sqrt{2}$ раз. Значение $\sqrt{2}$ является функцией отношения размера пылинки к толщине экрана, и его максимальная величина приблизительно равна 5.

Образование струй приводит к тому, что возмущающее действие пылевого потока на аппарат будет значительно превосходить воздействие газа.

Для условий проекта "Венера-Галлей" импульс, передаваемый аппарату в единицу времени непосредственно пылевым потоком, определяется следующим соотношением:

$$\dot{P}_y \approx 1,5 \cdot 10^2 \frac{4 M}{1,5 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{10^8}{\tau^2} \cdot \frac{S}{s} \cdot [g \cdot cm \cdot c^2].$$

Здесь ΔM - масса пыли (в г), попадающая на 1 м² поверхности аппарата; τ - минимальное расстояние (в км) между аппаратом и кометой; S - площадь аппарата (в м²), нормальная к вектору относительной скорости аппарата.

III. ПЛАЗМЕННАЯ ОБОЛОЧКА КОМЕТЫ

Фотоионизация газа, истекающего из ядра кометы, создает вокруг ядра плазменную оболочку, состоящую из ионизованных молекул и радикалов. Эта оболочка расширяется вместе с газом до тех пор, пока набегающий на комету солнечный ветер не останавливает расширение. Как и в случае взаимодействия солнечного ветра с ионосферой Венеры, мы ожидаем, что в сверхзвуковом потоке солнечного ветра перед кометой возникнет отошедшая ударная волна, а дозвуковое течение солнечной плазмы за ударной волной будет отделено от расширяющейся кометной ионосфери контактной поверхностью или ионопаузой. Однако масштабы области обтекания, картина которой схематически дана на рис. 6, оказываются грандиозными. Последнее связано с тем, что за характерное время фотоионизации $T = 3 \cdot 10^6$ с расширяющаяся со скоростью $V_g = 1$ км/с нейтральная атмосфера кометы успевает уйти на несколько миллионов километров. Поэтому уже на столь больших расстояниях солнечный ветер "нагружается" тяжелыми фотоионами кометного происхождения и начинает постепенно тормозиться. Хотя переход от сверхзвукового к дозвуковому течению не может произходить непрерывно и, следовательно, перед кометой все равно возникает ударная волна, параметры последней оказываются совсем неподходящими для околопланетных ударных волн. Из-за предварительного торможения плазмы число Маха на ударной волне снижается

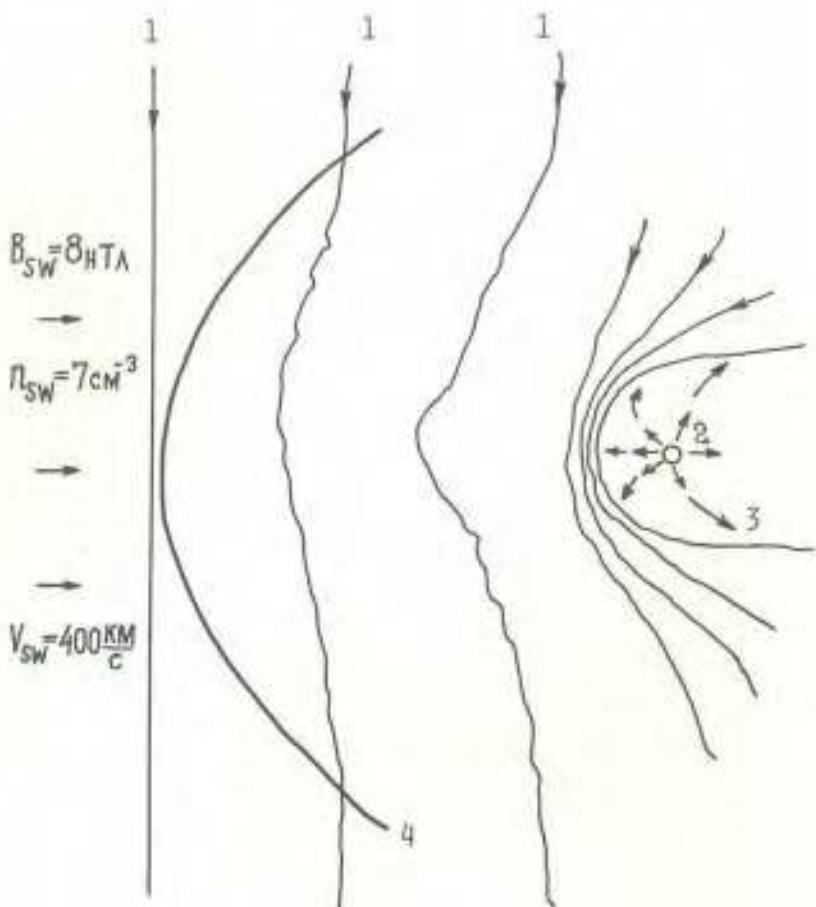


РИС. 6

с типичного для свободного солнечного ветра значения $M = 5 \div 10$ до $M = 2$. При этом толщина фронта ударной волны определяется ларморовским радиусом кометных ионов, а не протонов солнечного ветра и составляет около десяти тысяч километров. Наконец, расстояние фронта ударной волны от ядра кометы R_{sh} зависит исключительно от темпа испарения газа с поверхности ядра и параметров солнечного ветра и оказывается на два-три порядка больше размеров кометной ионосферы (до ионопаузы). За фронтом ударной волны благодаря увеличению плотности нейтральной атмосферы растет число вновь образующихся кометных ионов. В свою очередь,

уменьшение скорости потока плазмы из-за нагружения замедляет вынос этих ионов вниз по потоку и тем самым усиливает эффект нагружения солнечного ветра. В результате массовая плотность плазмы на осевой линии потока (линия "Солнце-ядро кометы") растет катастрофически, а скорость потока в пренебрежении влиянием магнитного поля должна была бы упасть до нуля в точке стагнации потока на расстоянии $R_L \approx 0,1 R_{sh}$ от ядра кометы. На самом деле с ростом плотности и падением скорости растет магнитное поле, вмороженное в плазму, так что магнитные силы оказывают существенное влияние на течение плазмы на стадии, когда ее скорость падает до ≈ 10 км/с (рис. 7). В частности, благодаря быстрому сноса вмороженных силовых линий во внешних областях

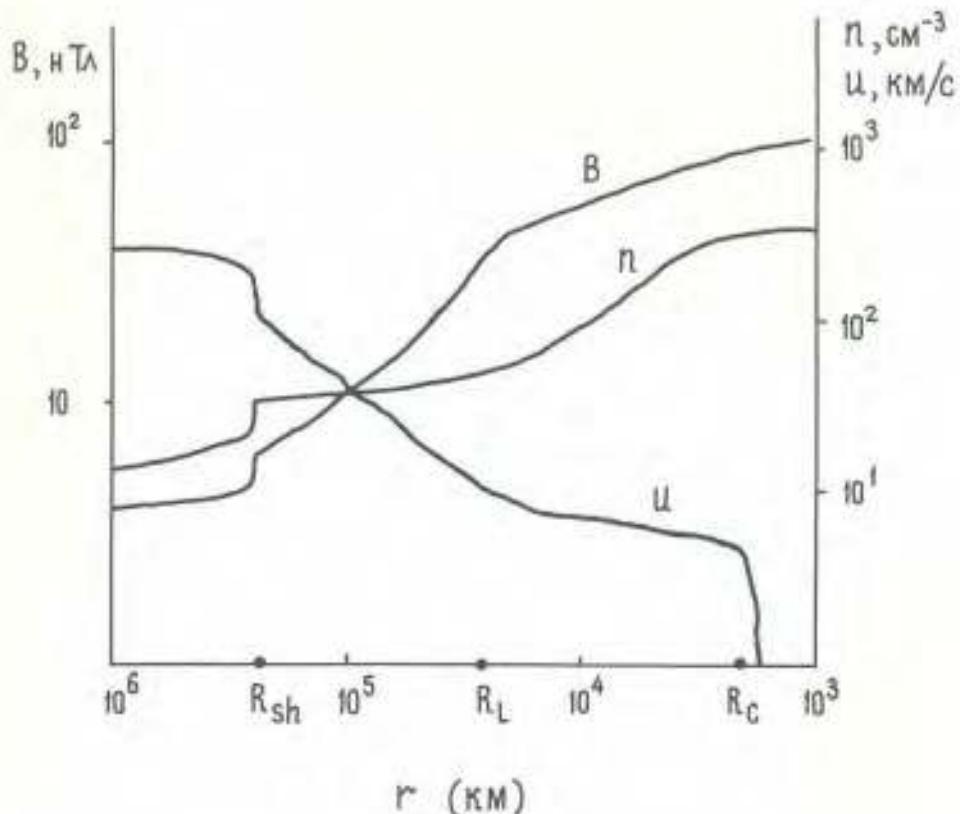


РИС. 7.

обтекания (рис.6) возникает сила натяжения магнитных силовых линий, поддерживающая дальнейшее течение плазмы. Полная остановка течения происходит на расстоянии $R_c \approx 0,1 R_L$ благодаря перезарядке ионов плазменного потока на расширяющейся плотной нейтральной атмосфере кометы. Образующиеся при этом ионы растекаются вдоль магнитных силовых линий из области повышенной плотности на оси потока. В результате между областью течения нагруженного солнечного ветра и ионопаузой, на которой останавливается радиальное растекание от ядра кометных фотомионов, устанавливается магнитный барьер с напряженностью магнитного поля $B \approx 100$ нТл. Изменение плотности плазмы ρ , ее гидродинамической скорости U и напряженности магнитного поля B на оси потока изображены схематически на рис.7 в зависимости от расстояния от ядра кометы для случая типичных параметров плазмы солнечного ветра и принятой модели газовой атмосферы кометы, приведенных в табл.2.

Таблица 2

Параметры солнечного ветра и газовой атмосферы кометы в точке встречи космических аппаратов ВЕНГА с кометой Галлея ($Z = 0,8$ а.е.)

Плотность солнечного ветра, ρ	7 см^{-3}
Скорость солнечного ветра, U	400 км/с
Напряженность магнитного поля, B	8 нТл
Темп испарения молекул воды с поверхности ядра кометы Q_{H_2O}	$2,5 \cdot 10^{29} \text{ молекул/с}$
Скорость расширения атмосферы, U_A	1 км/с
Доля тяжелых молекул (CO_2 , CO) в атмосфере	$\sim 20\%$

Описанная картина качественно не меняется, и в случае очень слабого межпланетного магнитного поля ($B \leq 5 \text{ нТл}$), магнитное поле не успевает усилиться в области нагружения и происходит охлаждение обтекающего комету потока плазмы вследствие перезарядки. Однако максимальная напряженность магнитного поля в зоне обтекания перед ионопаузой оказывается всего вдвое меньше, чем в предыдущем случае.

Модель плазменной оболочки кометы включает в себя как составной элемент модель спектра плазменных волн, возбуждаемых в обтекающем потоке плазмы. В первую очередь здесь следует иметь в виду синтетические электромагнитные колебания с частотами вблизи частоты нижнетибридного резонанса (несколько герц), возбуждаемые имплантированными в солнечный ветер кометными ионами. Электрическое поле этих колебаний может достигать нескольких милливольт на метр перед ударной волной. На порядок или два ниже будет уровень тех же колебаний в районе электронной циклотронной частоты ($\sim 1 \text{ кГц}$) и ленгмировских волн ($\sim 30 \text{ кГц}$), возбуждаемых электронами, которые ускоряются низкочастотной турбулентностью.

IV. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРОЕКТА, ИХ КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Баллистическая схема полета

В основу схемы полета космического аппарата "Венера-Галлея" положена уникальная возможность осуществить полет к комете Галлея с пролетом и гравитационным маневром около планеты Венера. Именно эта возможность и создала условия для разработки космического аппарата, предназначенного для решения трех главных задач:

- продолжение научных исследований в атмосфере и на поверхности Венеры с помощью посадочного аппарата;
- проведение принципиально новых, сравнимо длительных экспериментов в атмосфере Венеры с помощью плавающего аэростатного зонда;
- комплексное исследование кометы Галлея с пролетной траекторией, включая получение телевизионных изображений ее ядра с расстояния порядка 10 тыс.км.

Совершенно очевидно, что каждая из перечисленных задач выдвинула свои требования к схеме полета.

На спускаемый аппарат (СА) вместе с доставляемыми им аэростатным зондом (АЗ) и посадочным аппаратом были наложены ограничения по скорости и углу входа в атмосферу Венеры. Кроме того, для СА были сформулированы определенные требования к району посадки.

Необходимость слежения наземными радиointерферометрическими станциями за трассой аэростатного зонда в атмосфере планеты и приема передаваемой с него на Землю научной информации потребовала, чтобы аэростатный зонд вместе с СА входил в атмосферу на видимой части диска Венеры, и АЗ оставался на ней в течение всего времени дрейфа. Необходимость обеспечения одно-, двухсуточного плавания АЗ потребовала, чтобы точка входа была как можно дальше от подсолнечного меридиана, где из-за неблагоприятных условий АЗ может прекратить свое существование.

Так как спускаемый аппарат может передавать значительный объем информации на Землю только через ретранслятор, то к траектории пролетного аппарата (ПА), который исполняет эту роль, предъявляются самые противоречивые требования. С одной стороны, он должен обеспечить наведение СА вместе с АЗ (не имеющих собственных систем управления для полета в космосе) в атмосферу Венеры с заданными условиями входа. С другой стороны, он не должен входить в атмосферу и, более того, в процессе спуска СА и работы его на поверхности пролетному аппарату необходимо совершенно определенным образом двигаться в зоне связи со спускаемым аппаратом. Но при этом условии ПА не выходит на траекторию, обеспечивающую встречу с кометой, и поэтому нуждается в дополнительном активном маневре после пролета Венеры. Кроме того, все указанные требования должны выполняться для двух практически идентичных космических аппаратов, запускаемых с целью дублирования. Это влечет за собой дополнительные ограничения, связанные с запуском и управлением полетом двух КА.

Выбор траекторий должен осуществляться по комплексному критерию, позволяющему найти компромиссное решение.

Следует учитывать также, что большой объем задач потребовал дополнительных резервов массы для научной аппаратуры, что, в свою очередь, переросло в требование мини-

мальных энергетических затрат на выводение и все последующие маневры: две коррекции при полете от Земли до Венеры, маневр ПА после разделения с СА за двое суток до подлета к планете для увода его на пролетную траекторию и обеспечения условий связи с СА и трех коррекций на участке полета от Венеры до встречи с кометой Галлея. На последние три коррекции следует обратить особое внимание. Это вызвано тем, что полет впервые будет осуществляться к небесному телу, параметры движения которого в момент старта КА еще не будут известны с требуемой точностью. Поэтому намечена обширная программа уточнения координат кометы по наземным наблюдениям уже в ходе полета космических аппаратов. При этом будет производиться обработка наблюдений кометы в 1984/1986 гг. в сравнении с наблюдениями 1910, 1835, 1759 и 1682 гг., и на основе анализа полученных уточнений будут приниматься решения о проведении каждой из трех указанных коррекций. Уточнению координат кометы предшествовала огромная подготовительная работа. Так, в США была проведена обработка более 800 измерений 1910, 1835, 1759 гг. и создана теория движения кометы Галлея. Аналогичная работа была проведена и в СССР.

Наблюдения кометы Галлея в 1982 г. показали достаточно хорошее согласование разработанных теорий с данными ее движения.

С учетом всех требований предлагается следующая схема полета космического аппарата "Венера-Галлей".

Многоступенчатая ракета-носитель выводит КА вместе с разгонной ступенью на промежуточную низкую орбиту ИСЗ, на первом же витке которой в заданный момент выключается разгонная ступень и КА переводится на траекторию полета к Венере (рис.8).

На большей части участка перелета Земля - Венера (рис.9) аппарат осуществляет полет, ориентируясь с помощью солнечного датчика панелями солнечных батарей на Солнце. Положение двух других осей не контролируется. В запланированные моменты времени перед

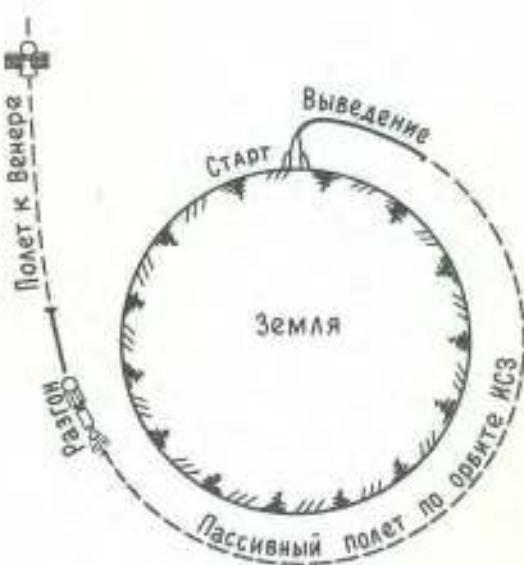


Рис. 8.

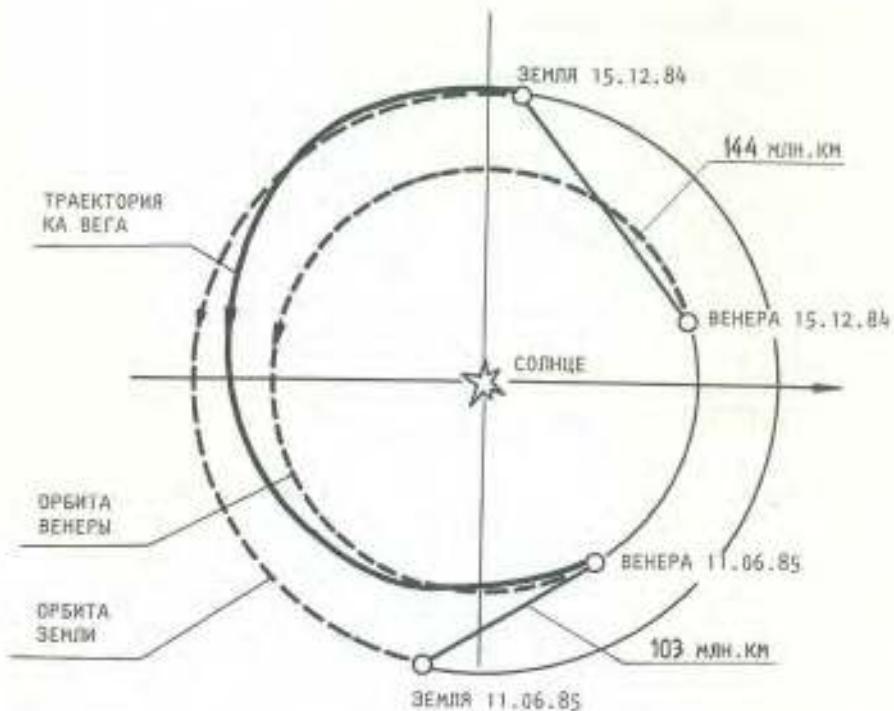


Рис. 9.

проведением коррекций или для некоторых научных исследований включается звездный датчик, и аппарат на время до нескольких часов переходит в режим З-осной ориентации. На рассматриваемом участке проводятся траекторные измерения дальности и доплеровской скорости и на основе их анализа проводятся две коррекции: в I - 2-ю неделю полета и за I - 2 недели до подлета к Венере. Цель этих коррекций - наведение аппарата в заданную точку входа в атмосферу. За 7 - 10 суток до подлета к Венере КА переходит в режим постоянной З-осной ориентации, при которой остронаправленная антенна наводится на Землю, а продольная ось аппарата (ось X) перпендикулярна плоскости Солнце - КА - Земля. Этот режим сохраняется и дальше, вплоть до подлета к комете.

Вблизи планеты, после того как завершено наведение, за двое суток до входа, СА и ПА разделяются и ПА осуществляет маневр увода на пролетную траекторию для создания наилучших условий ре-трансляции сигналов с СА (рис.10).

Одновременно ПА излучает сигналы на волне 18 см, выполняя функции репера, относительно которого по интерферометрическим измерениям определяются координаты АЗ.

АЗ после отделения от СА развертывает и надувает оболочку и начинает полностью автономный полет в атмосфере на высоте

53 км. Произведя метеорологические измерения, АЗ периодически передает полученную информацию на Землю на волне 18 см (система *VlBI*). Радиосигналы этого же диапазона используются для проведения дифференциальных интерферометрических измерений, имеющих целью определение текущих координат АЗ. В этих измерениях предполагается участие как советских, так и зарубежных станций слежения.

После завершения операций у Венеры и формирования достаточно протяженной мерной базы для последующего уточнения траекторных параметров ПА, используемых для определения координат АЗ,

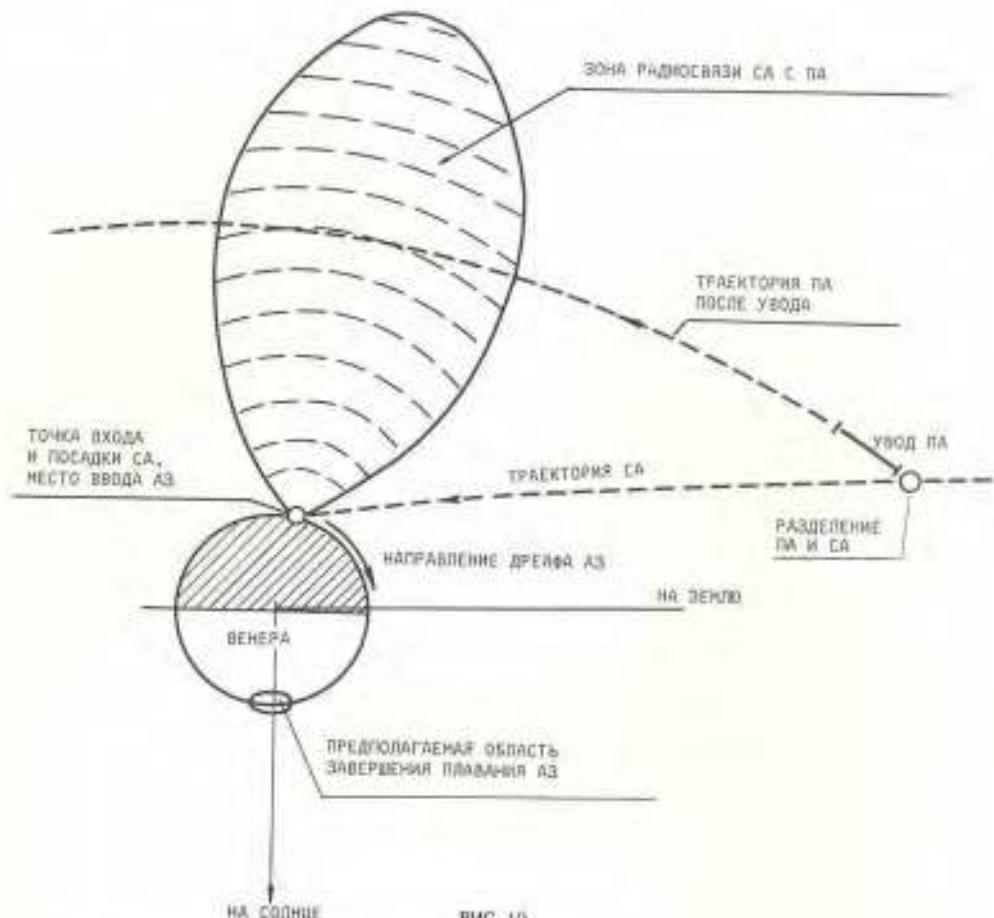


РИС. 10.

через 2–4 недели после пролета Венеры траектория ПЛ корректируется и начинается полет по орбите, обеспечивающей в nominalном случае встречу с кометой Галлея (рис. II).

Кроме этой коррекции, как уже отмечалось выше, планируется проведение еще двух коррекций: в середине перелета и за 2–4 недели до подлета к комете. После проведения последней коррекции автоматическая стабилизирующая платформа (АСП-Г) разворачивается в рабочее положение и производятся проверки и калибровка установленной на ней аппаратуры и, в первую очередь, телевизионной системы (ТВС). Отдельные проверки возможны и при нахождении АСП-Г в транспортном положении.

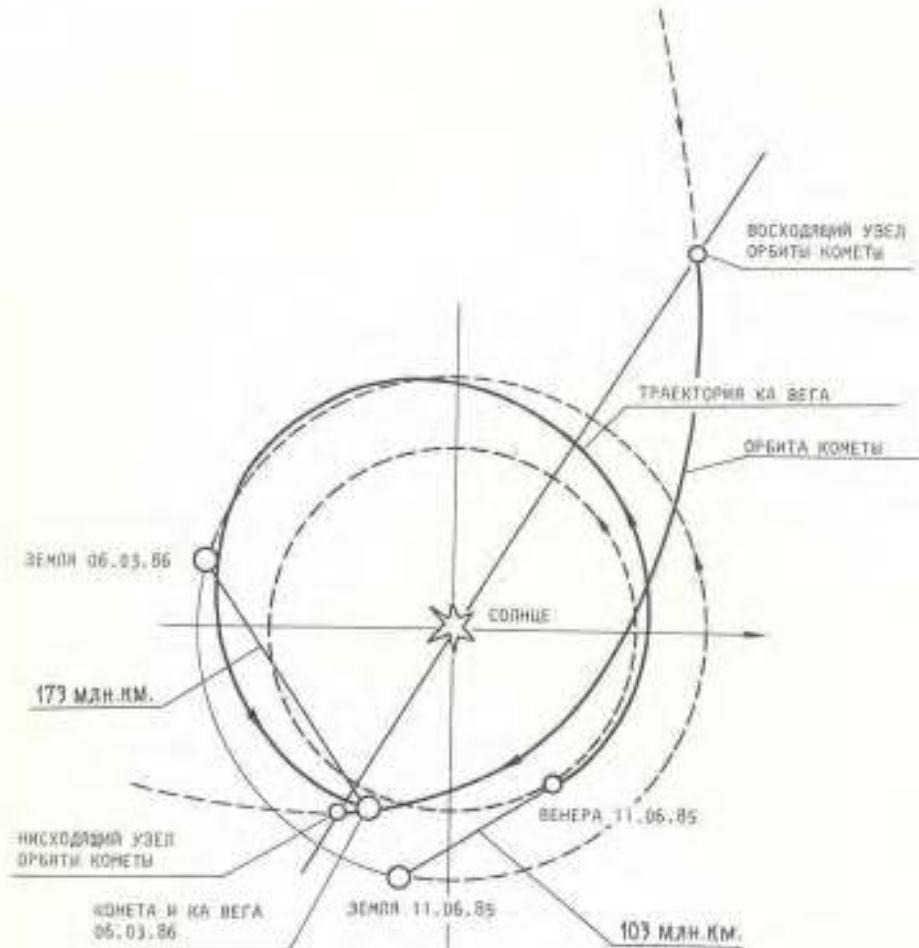


Рис. 11.

За двое (14 млн.км), одни (7 млн.км) сутки и в момент встречи с кометой проводятся соответственно 1-, 2-й и 3-й сеансы научных исследований кометы.

Кинематика движения вблизи кометы показана на рис.12.

В ходе полета около кометы АСЛ-Г, используя телевизионную камеру в качестве датчика кометы и бортовую ЭВМ с алгоритмом уточнения движения центра масс кометы Галлея и отдельных параметров движения ПА вокруг центра масс, осуществляет автоматическое слежение за кометой и обеспечивает этим точное наведение всех установленных на АСЛ-Г научных приборов на ее ядро.

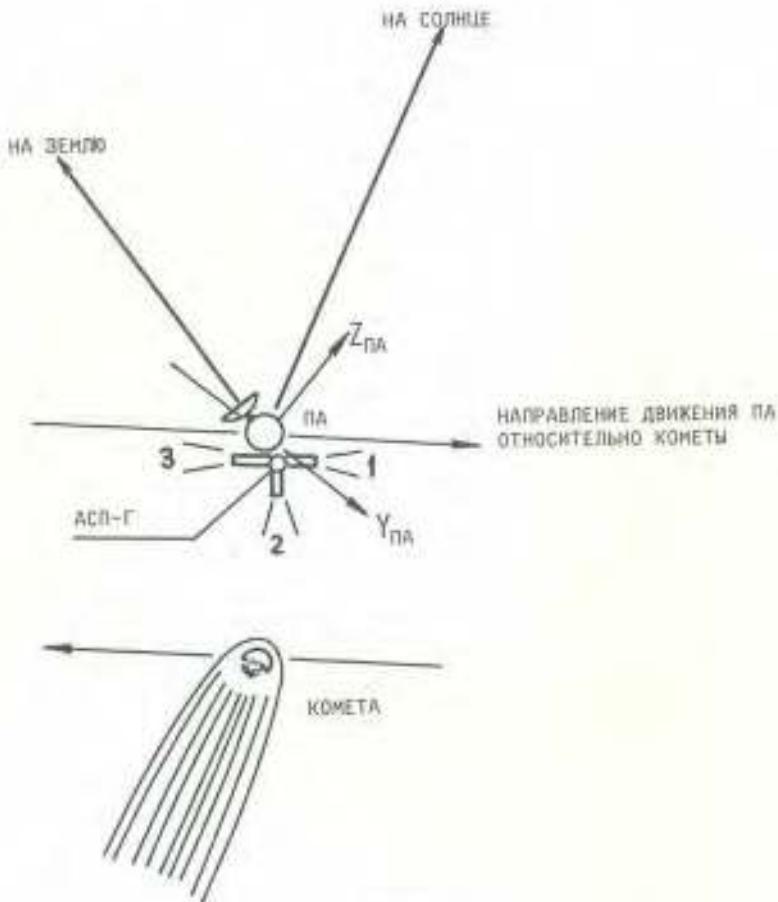


РИС. 12.

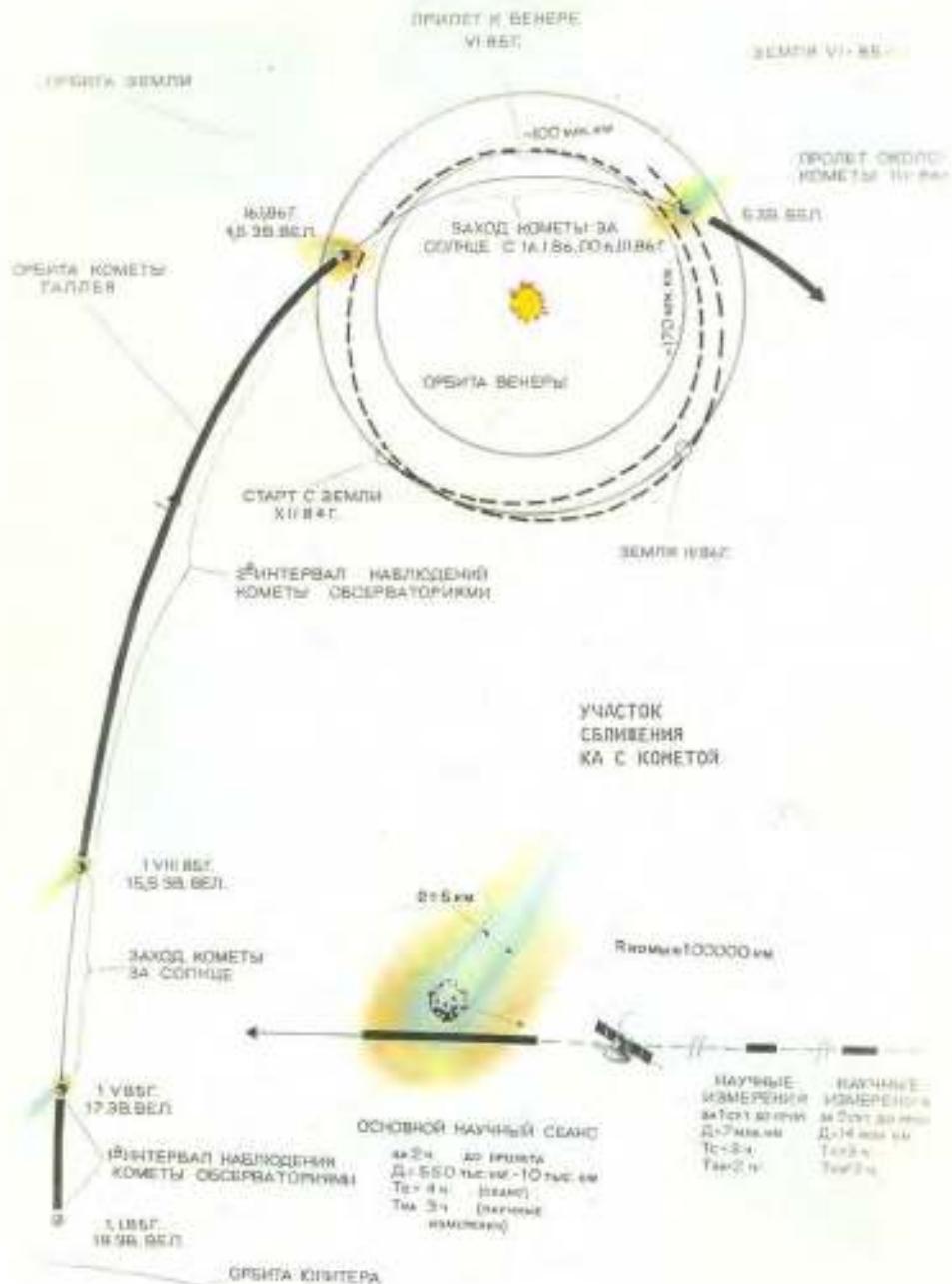
Точность измеренных с близкого расстояния координат кометы примерно на два порядка выше точности этих координат, полученных по обработке наземных наблюдений.

Общая схема полета и основные его параметры представлены на рис.13.

2. Конструкция пролетного аппарата

Станция ВЕГА (рис.14) включает в свой состав пролетный и спускаемый аппараты.

Специфические условия исследования кометы Галлея, а именно, пролет сквозь кому кометы на расстоянии ~ 10 тыс.км от ее ядра, влекут за собой значительные изменения в конструкции станций серии



門號 13

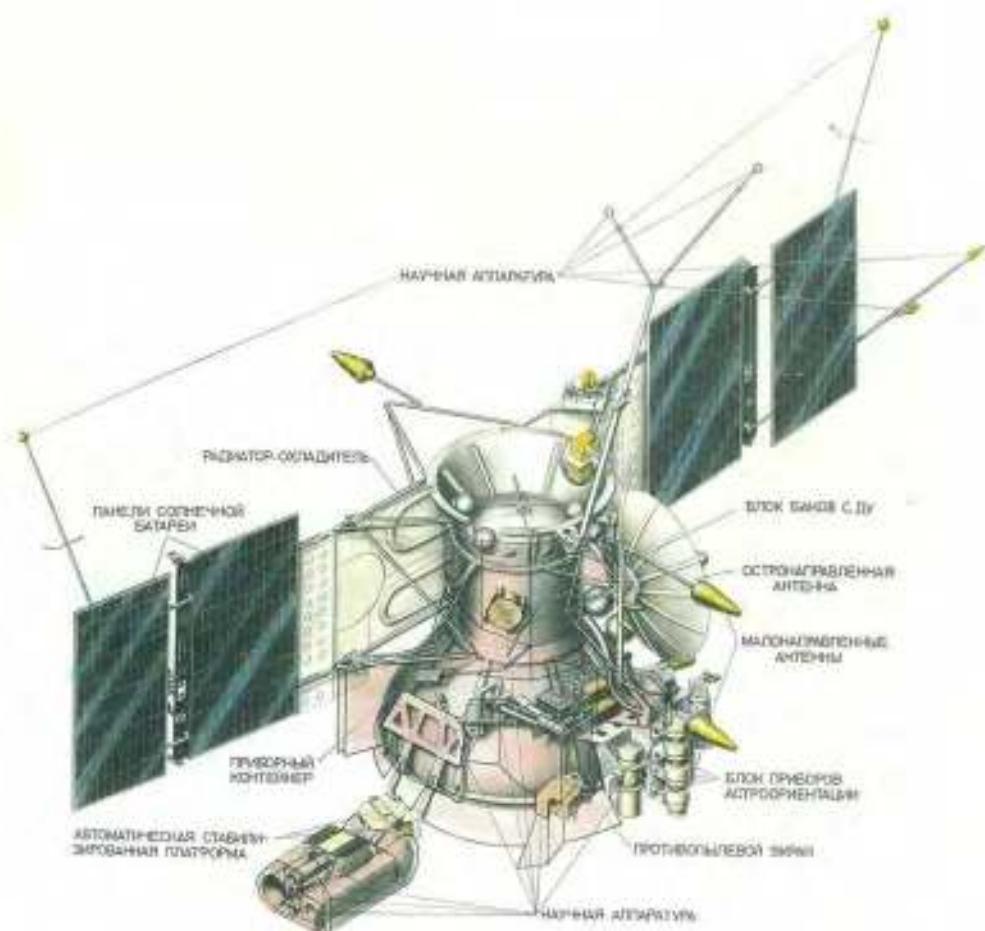
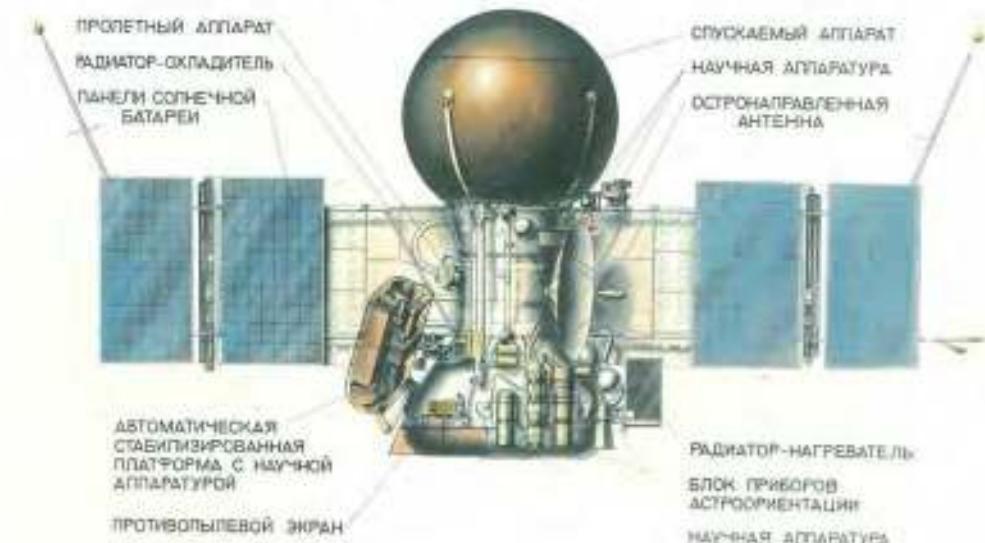


РИС. 14.

"Венера", направленные, в первую очередь, на повышение живучести пролетного аппарата.

Это вызвало необходимость установки на станции брони в виде двуслойных, а в некоторых местах и трехслойных экранов, защищающих жизненно важные места станции, а также научной аппаратуры и бортовой кабельной сети.

Однако эта защита КА при рассмотрении принятой инженерной модели кометы Галлея не может гарантировать от гибели станции вблизи ядра при бомбардировке ее пылевыми частицами. Это условие заставило отказаться от записи научной и служебной информации на запоминающее устройство и перейти на прямую передачу информации на Землю. Это, в свою очередь, заставило внести постоянную ориентацию остронаправленной антенны на Землю во время пролета кометы, а часть научной аппаратуры, изучающей ядро кометы оптическими средствами, перенести на поворотную платформу, специально разработанную для этого аппарата.

Кроме того, полет аппарата внутри ядра кометы не позволяет осуществлять ориентацию станции на этом участке с помощью оптических датчиков и вызывает необходимость осуществить стабилизацию при помощи гирокосмической системы.

Конструктивной основой космического аппарата является блок баков двигательной установки, к которому с помощью конической юбки крепится торовый приборный отсек. К верхнему и нижнему шпангоутам блока баков прикреплены ферменные конструкции панелей солнечных батарей. К верхнему шпангоуту блока баков крепится коническая проставка, на которую устанавливается спускаемый аппарат. В центре блока баков расположена остронаправленная параболическая антенна, ориентированная в сторону Земли при пролете планеты Венера и кометы Галлея. На обращенной к Солнцу во время полета стороне приборного отсека установлен блок астронавигационных приборов с датчиками ориентации на Солнце, звезду Канопус и Землю.

Исполнительные органы системы ориентации и стабилизации с газовыми соплами расположены в основном на панелях солнечной батареи.

Научная аппаратура, функционально представляющая три основные группы экспериментов, соответственно различается по своим конструктивным и компоновочным решениям:

- датчики группы электромагнитных экспериментов (анализаторы плазменных волн высокой и низкой частот, а также магнитометры) вынесены на штангах как можно дальше от корпуса КА;
- датчики приборов, предназначенных для контактных измерений частиц и плазмы кометы, в основном расположены на корпусе станции на стороне, обращенной к набегающему потоку пылевых частиц кометы;
- оптические средства наблюдения за ядром кометы (трехканальный, инфракрасный спектрометры и телевизионная камера) установлены на автоматической стабилизированной платформе.

3. Конструкция автоматической стабилизированной платформы

Автоматическая стабилизированная платформа (АСП-Г) представляет собой точный сервомеханизм с двумя степенями свободы .

Во время полета к комете Галлея платформа находится в транспортном зачекованном положении.

За 10-15 дней до момента максимального сближения с кометой платформа с помощью механизма развертывания АСП-Г переводится из транспортного в рабочее положение по команде с Земли.

Для фиксации платформы в выключенном состоянии и защиты точных сервоприводов АСП-Г от механических нагрузок используются два механизма арретирования с электроприводами.

Научная аппаратура устанавливается на раму, которая крепится к колесу сервопривода . С помощью сервопривода рама с науч-

ной аппаратурой может поворачиваться на угол 80° , а сервоприводом №3 - на угол 273° в перпендикулярном направлении.

Механизмы платформы не герметичны и предназначены для работы в условиях открытого космоса. Подвижные части механизмов покрываются дисульфидом молибдена по специальной технологии. Блоки электроники и электродвигатели механизмов платформы также предназначены для работы в условиях открытого космоса.

Автоматическая стабилизированная платформа работает в следующих режимах:

- разворот в заданное положение по числовым командам с Земли;
- развороты по угловым уставкам, хранящимся в постоянной памяти АСП-Г;
- останов и удержание платформы в заданном положении;
- слежение за кометой Галлея по сигналам, получаемым от телевизионной системы по цифровому каналу;
- слежение за кометой Галлея по сигналам, получаемым от телевизионной системы по аналоговому каналу;
- слежение за кометой Галлея по сигналам от аналогового датчика наведения (АДН).

Вспомогательными режимами работы АСП-Г являются:

- разворот в исходное положение с автоматической калибронкой угловой шкалы;
- аварийный режим движения с шагом $\pm 1^{\circ}$ в любом выбранном направлении;
- разарретирование (снятие механической фиксации с точных сервоприводов) платформы;
- арретирование (механическая фиксация точных сервоприводов) платформы;
- перевод из транспортного положения в рабочее положение с помощью механизма развертывания.

Основные технические характеристики:

масса - 82 кг,

грузоподъемность - 80 кг,

потребляемая мощность - 40 Вт,

угол разворота в плоскости орбиты пролетного аппарата (канал β) $-147 \pm +126^\circ$,

угол разворота в плоскости, перпендикулярной плоскости орбиты пролетного аппарата (канал α), $-60 \pm +20^\circ$,

максимальные угловые скорости по каналам α и β $\pm 1^\circ/\text{с}$,

точность слежения за кометой Галлея по каналам α и β $\sim \pm 8'$,

точность слежения за кометой Галлея по угловой скорости

$\sim \pm 3'/\text{с}$,

точность разворотов по числовым командам с Земли

и установкам из постоянной памяти АСП-Г

$\sim \pm 5'$,

дискретность контроля углового положения АСП-Г

$\sim 15''$.

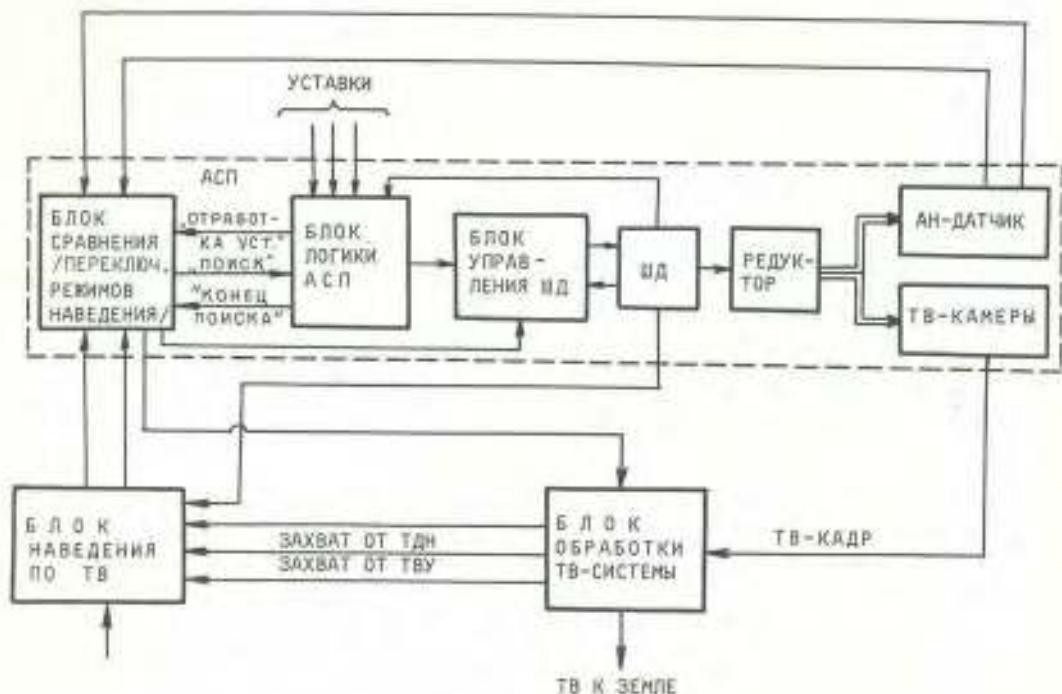


РИС. 15.

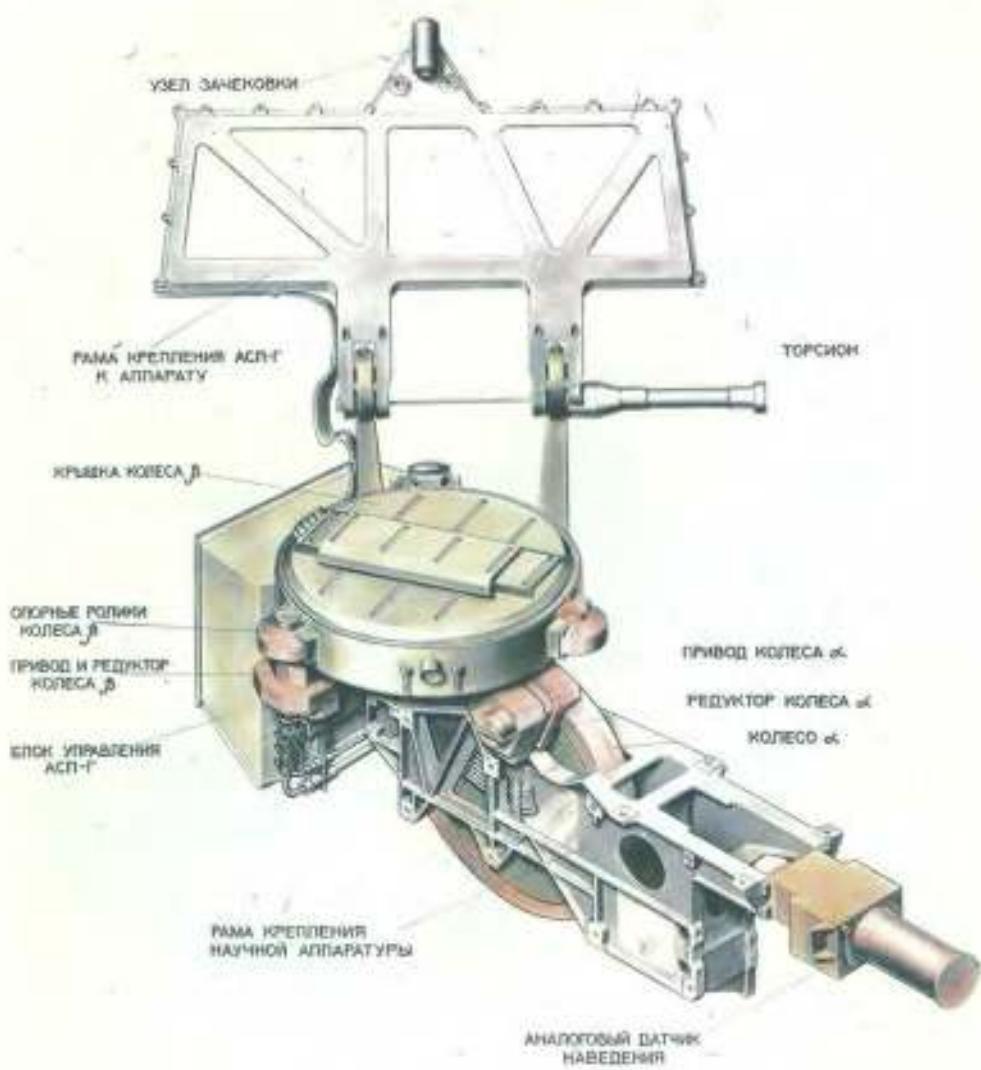


Рис. 16.

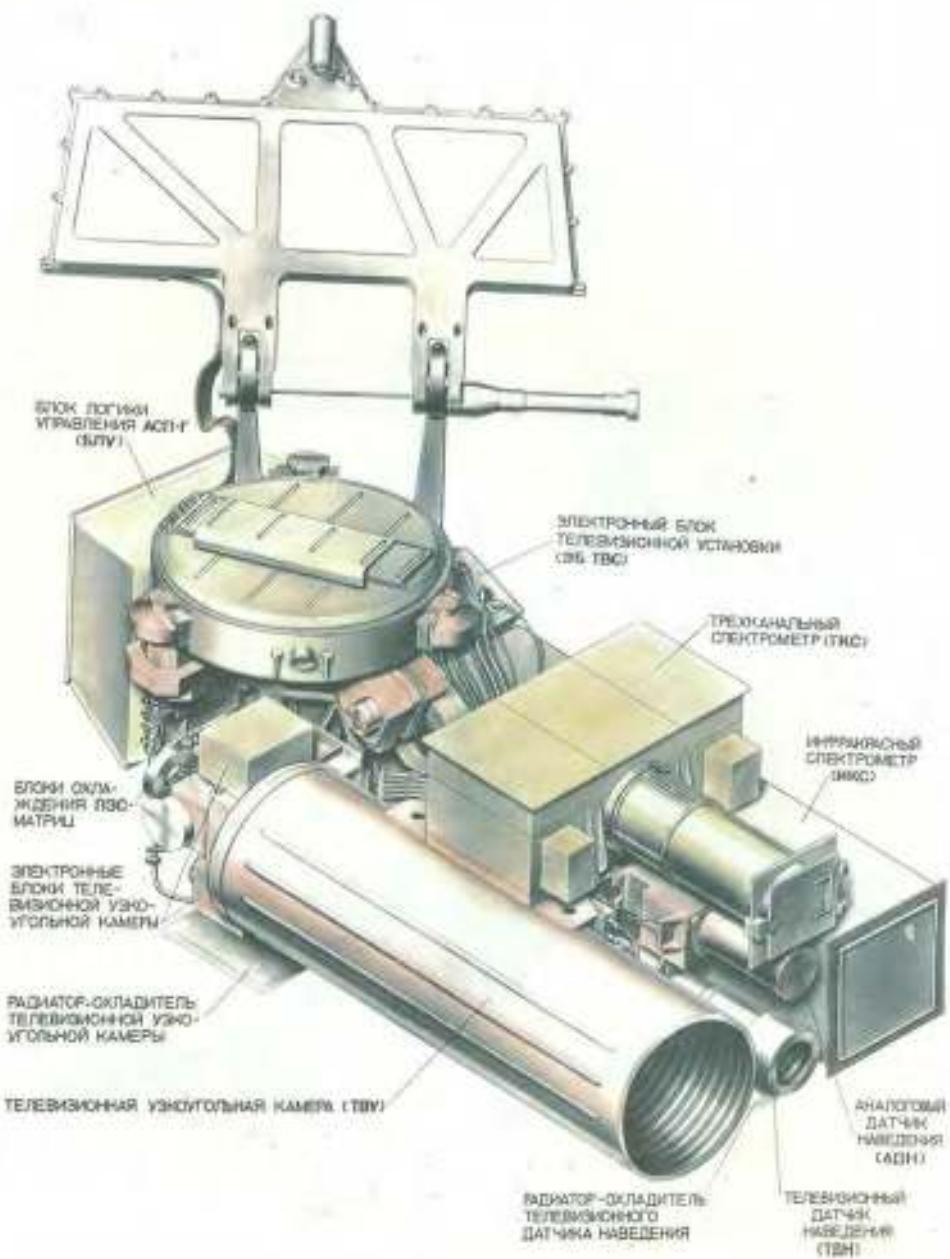


Рис. 17.

Блок-схема системы наведения АСН-Г на комету Галлея представлена на рис.15, общий вид АСН-Г - на рис.16, 17.

Автоматическая стабилизированная платформа разрабатывается специалистами ЧССР при участии специалистов СССР.

4. Конструкция спускаемого аппарата

Спускаемый аппарат (СА) представляет собой автономный космический объект. Он оборудован системами и устройствами, обеспечивающими отделение его от орбитальной станции, спуск и мягкую посадку на поверхность планеты, проведение научных исследований на всем протяжении спуска и после посадки, а также передачу полученной научной и служебной информации на орбитальный аппарат для ретрансляции ее на Землю.

Конструктивно СА (рис.18) состоит из теплозащитной оболочки, внутри которой размещены аэростатный зонд и посадочный аппарат, в верхней части которого установлен парашютный отсек с парашютами.

Теплозащитная оболочка сферической формы диаметром 2,4 м разделена на верхнюю и нижнюю полусфера и предназначена для защиты аэростатного зонда и посадочного аппарата от воздействия всех факторов межпланетного перелета и от высоких температур и давлений при входе аппарата в плотные слои атмосферы Венеры.

В основании нижней полусфера имеется цилиндрическая приставка, к которой крепится посадочный аппарат, а в средней части верхней полусфера - кольцевой шлангуют для крепления аэростатного зонда. Для обеспечения допустимой температуры на обшивку верхней и нижней полусфер наносится теплозащита из сублимированного материала.

Для СА принята баллистическая схема торможения с неориентированным входом в атмосферу планеты как наиболее надежная и удовлетворяющая поставленным задачам. В зависимости от примененных средств торможения процесс спуска аппарата в атмосфере можно

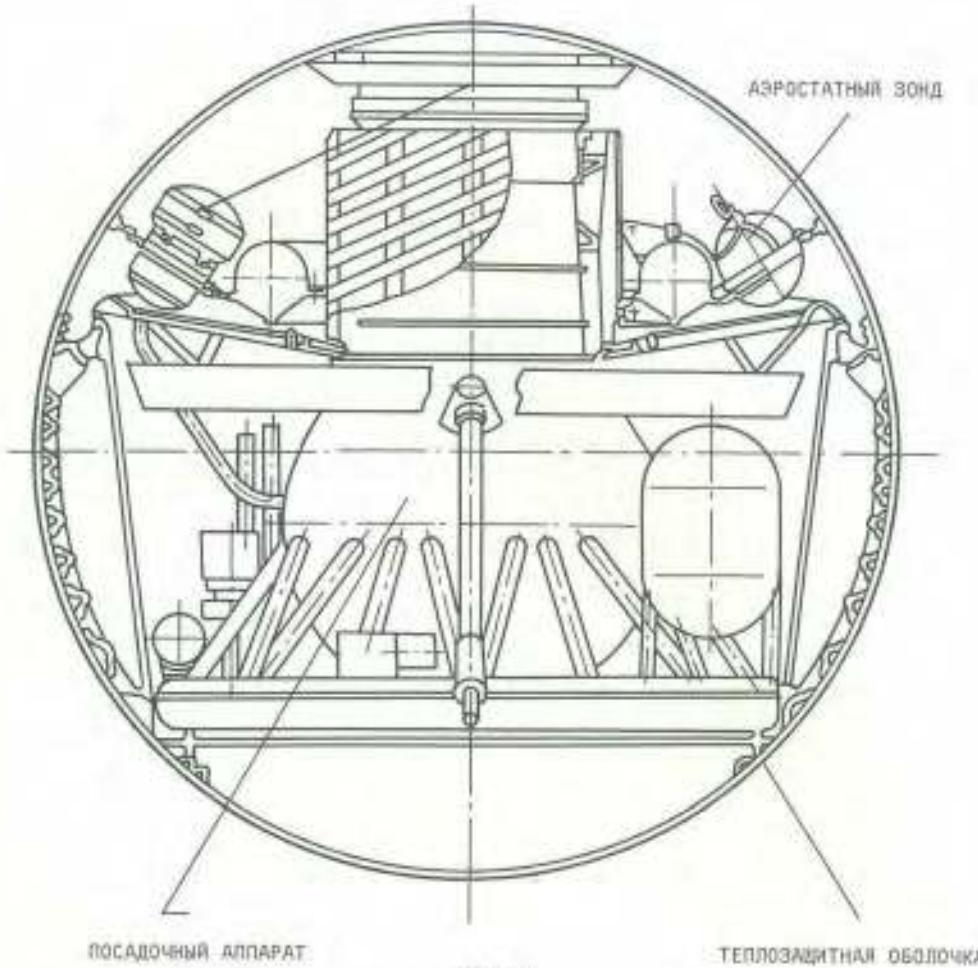


Рис. 18.

условно разбить на три этапа: аэродинамическое торможение, парашютный спуск, снижение на тормозном щитке (рис. I9).

Этап аэродинамического торможения начинается с момента входа СА в атмосферу планеты. На этом этапе происходит основное уменьшение скорости аппарата от второй космической до значений, приемлемых для ввода парашютной системы. При этом СА подвергается воздействию значительной перегрузки, величина которой вначале возрастает, достигает своего максимального значения, а затем уменьшается. На таких изменениях продольной перегрузки основана работа системы

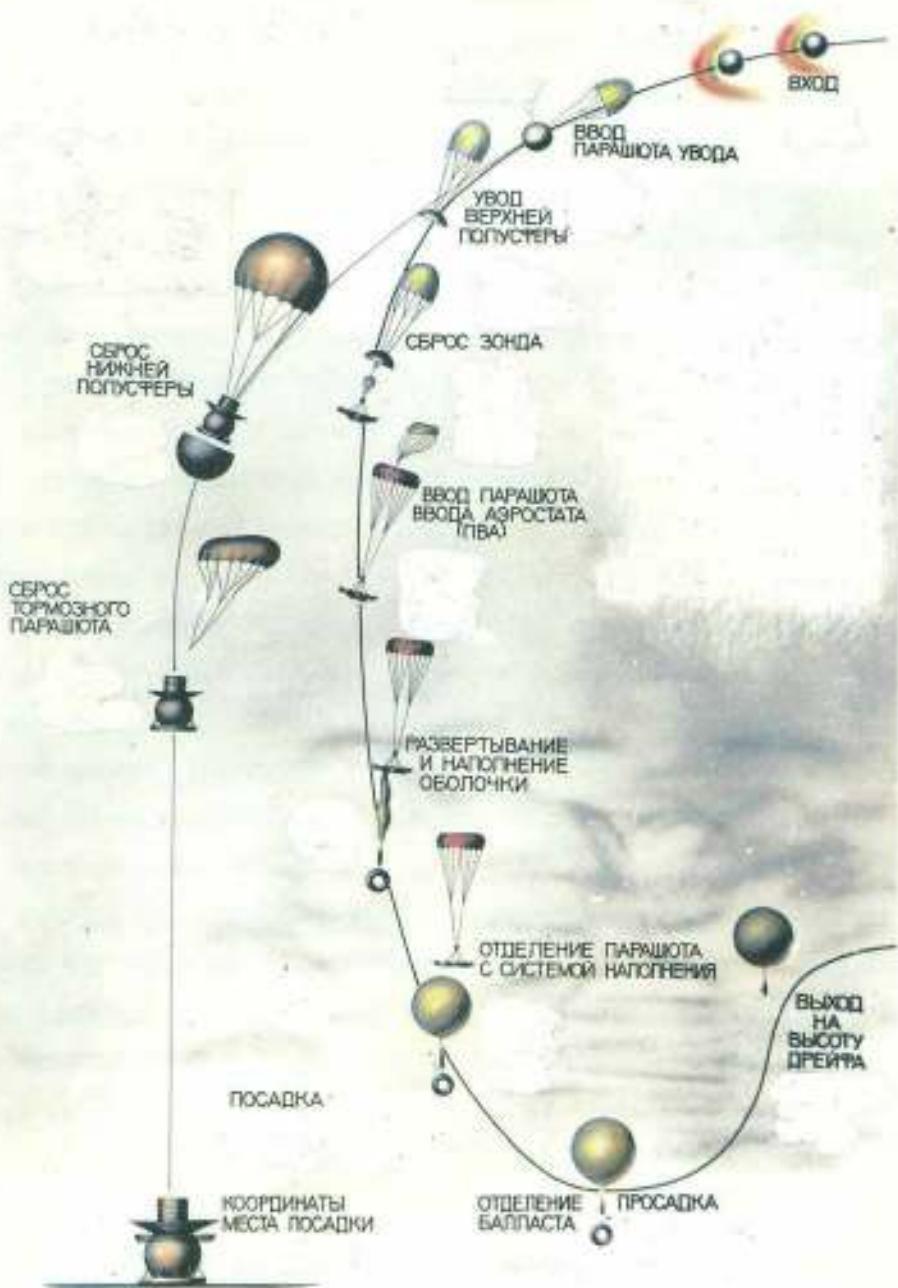


РИС. 19.

автоматики управления парашютной системы, которая начинает функционировать с момента срабатывания датчика линейных ускорений, настроенного на заданную величину продольной перегрузки на восходящей ветви кривой ее изменения. По команде от этого датчика осуществляется разблокировка системы автоматики спуска. При снижении величины продольной перегрузки до выбранного заранее значения на исходящей ветви кривой изменения перегрузки второй датчик выдает команду "Ввод парашютной системы" - на отстрел крышки парашютного отсека. В процессе отделения крышки производится извлечение из парашютного отсека парашюта увода, который наполняется набегающим потоком и уменьшает скорость СА до величины, необходимой для ввода тормозного парашюта. При спуске на парашюте увода по команде производится разрыв связи между полуоберами теплозащитной оболочки, и верхняя полуоберка на парашюте увода вместе с аэростатным зондом отделяется от СА, при этом вводится тормозной парашют СА. После этого происходит отделение нижней полуоберки теплозащитной оболочки. Тормозной парашют обеспечивает плавное снижение посадочного аппарата в облачном слое Венеры. В области нижней границы облачного слоя по команде программино-временного устройства тормозной парашют отделяется, и дальнейший спуск осуществляется на тормозном щитке. Этап спуска на тормозном щитке заканчивается мягкой посадкой на поверхность Венеры. Время спуска в атмосфере ~ 65 мин, время работы на поверхности ~ 15 мин. Координаты места посадки: широта $\varphi \pm 7^\circ$, долгота $\lambda \approx 180^\circ$.

Посадочный (рис. 20) аппарат состоит из герметичного контейнера, отсека научной аппаратуры, антенны, аэродинамического тормозного щитка и посадочного устройства.

Для уменьшения угловых колебаний посадочного аппарата при спуске на аэродинамическом тормозном щитке установлен стабилизирующий конус, а для ликвидации вращения аппарата относительно про-

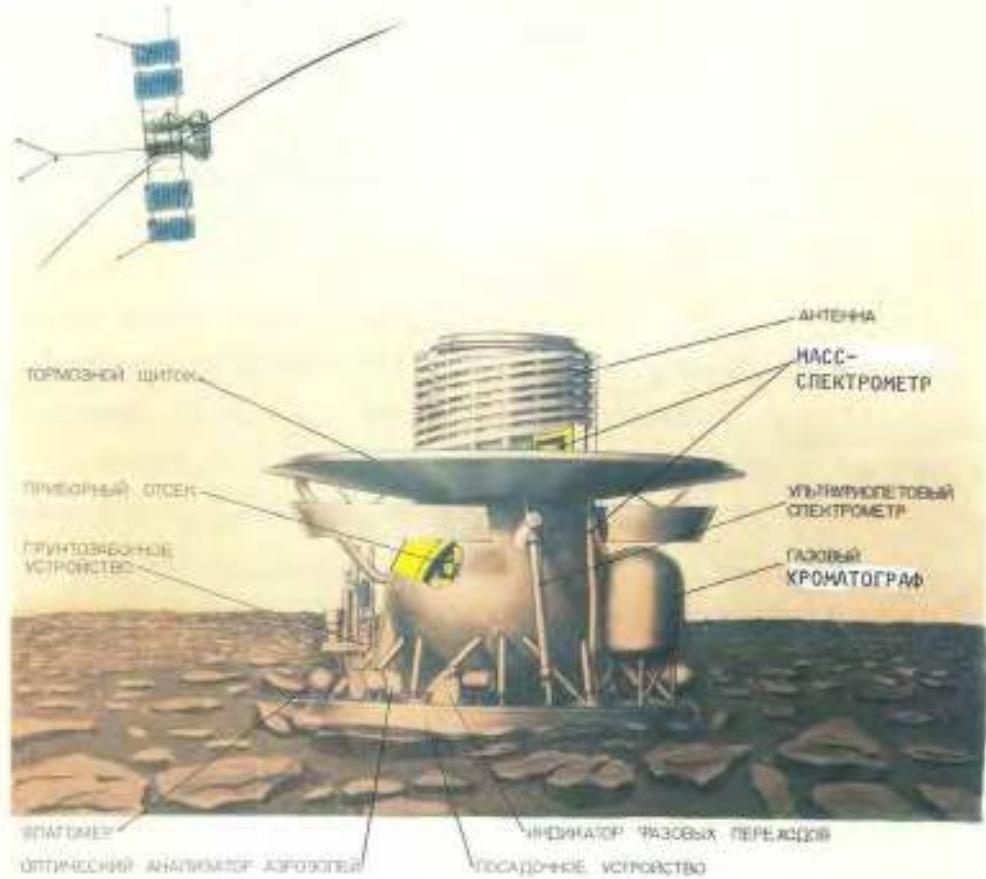


РИС. 20.

дольной оси между приборным контейнером и посадочным устройством установлены демпфирующие ловсти.

Основным силовым элементом посадочного аппарата является приборный контейнер шаровой формы, к которому снизу на ферме крепится посадочное устройство, а сверху на конической проставке устанавливается приборный отсек научной аппаратуры.

В атмосфере проводятся следующие исследования: измерение температуры, давления, скорости ветра и содержания H_2O , исследование поглощения и рассеяния света, регистрация и анализ количественного

содержания элементарных газов, газовых соединений и некоторых изотопов. На поверхности проводятся исследования химического состава грунта, изучения содержания радиоактивных элементов.

Приборный контейнер, работающий в условиях высокой температуры и давления, снаружи и изнутри покрыт теплоизолационным материалом, обеспечивающим температурные условия, необходимые для работы аппаратуры.

Отсек научной аппаратуры цилиндрической формы с двумя эллиптическими донышками рассчитан на работу в верхних слоях атмосферы при температуре и давлении, значительно меньших, чем на поверхности, имеет наружную и внутреннюю теплоизоляцию. После окончания работы аппарата отсек разгерметизируется клапаном, установленным на верхнем донишке. В отсеке размещена аппаратура для научных измерений, а также аппаратура для служебных измерений и контроля за микроклиматом. Снаружи отсека научной аппаратуры на термостойких профилях установлена антенна для связи с орбитальной станцией и передачи полученной служебной и научной информации.

Аэродинамический тормозной щиток крепится к верхней части приборного контейнера. Он обеспечивает быстрое прохождение основной толши атмосферы после отстрела парашотов, ориентацию посадочного аппарата относительно поверхности при спуске на последнем участке и необходимую посадочную скорость.

Посадочное устройство – это тонкостенная оболочка торпедальной формы, прикрепленная фермой к прочному корпусу приборного контейнера. В момент посадки оболочка пластически деформируется, поглощая тем самым энергию удара. Посадочное устройство обеспечивает также ориентированное положение посадочного аппарата после посадки.

Работа СА по определенной программе как автономного космического объекта после отделения его от орбитального аппарата обеспечивается с помощью бортовых систем.

Отделение СА от орбитального аппарата, отстрел крышки парашютного отсека, полуофер и парашютов, резка кабельной сети осуществляется с помощью системы разделения, состоящей из широпатронов, пиронажей и кумулятивных зарядов.

Необходимая последовательность работы систем СА по командам обеспечивается системой электроавтоматики, блоком подрыва пиротехники и автоматикой управления парашютной системы.

Система терморегулирования, состоящая из пассивных элементов (наружная и внутренняя теплоизоляция, экрановая вакуумная теплоизоляция) и элементов, работающих по определенной программе, с помощью приборов контроля микроклимата обеспечивает условия в приборном контейнере и отсеке научной аппаратуры, необходимые для работы аппаратуры.

При спуске посадочного аппарата в атмосфере Венеры и на поверхности необходимый температурный режим поддерживается за счет работы вентилятора, циркуляции газа, отбирающего тепло от горячих стенок контейнера и работающих приборов и охлажддающегося в радиаторе-охладителе.

Питание бортовых систем и аппаратуры обеспечивается расположенной в приборном контейнере химической батареей, которая заряжается солнечными батареями орбитального аппарата за несколько суток до отделения спускаемого аппарата.

5. Конструкция аэростатного зонда

Аэростатное зондирование атмосферы является принципиально новым направлением исследования планеты Венера и позволит ответить на ряд важнейших вопросов, которые не могут быть решены с помощью спускаемых аппаратов.

Исследования атмосферы Венеры, выполненные советскими аппаратами типа "Венера" и американскими "Пионер-Венера" во время спуска на поверхность планеты и дистанционно с орбиты, подтвердили реальность необычного явления, ранее обнаруженного по фотографиям в ультрафиолетовом диапазоне, сделанным с Земли, — вращение всего видимого облачного слоя вокруг планеты со скоростью около 100 м/с. Все измерения на разных широтах от экваториальных до полярных и на дневной и ночной стороне показывают зональное вращение атмосферы планеты в одну сторону: с востока на запад.

До настоящего времени неизвестно, что поддерживает столь быстрое вращение атмосферы. Если предположить, что причиной тому являются приливные волны, то атмосфера должна за сравнительно короткий срок ускорить вращение планеты. Если же предположить, что действует фактор, противоположный моменту сил трения, то возникает вопрос, как он передается от твердой поверхности к атмосфере.

В атмосфере Венеры существует отличный от земного тип циркуляции, исследование его имеет принципиальное значение и для понимания механизмов, влияющих на долгопериодичные вариации климата Земли. Поэтому одной из главных задач проекта "Венера-Галлей" является исследование динамики облачного слоя атмосферы Венеры с помощью аэростатного зонда (АЗ), плавающего на высоте 53 ± 55 км. С борта АЗ в течение 24 ± 50 ч должны измеряться параметры окружающей среды. Ожидается, что за это время АЗ пролетит над планетой расстояние, составляющее около четверти ее окружности.

Аэростатный зонд вводится на ночную сторону планету почти в противосолнечную точку на границе прямой видимости с Землей при условиях обеспечения максимальной прямой радиовиди-

мости с наземных измерительных пунктов и максимальной длительности плавания.

Основными принципами создания аэростатного зонда явились: максимальная автономность его как системы спускаемого аппарата и минимальные доработки конструкции и схемы спуска базового спускаемого аппарата. Этим условиям удовлетворяет разработанный аэростатный зонд, представляющий собой автономную систему, размещенную на силовом конусе, расположенным под верхней полусферой СА (см.рис.18).

Аэростатный зонд вводится в действие в момент отделения от посадочного аппарата верхней полусферы теплозащитной оболочки с зондом на парашюте увода. Последовательность операций ввода АЗ представлена на рис.19. Сброс зонда осуществляется после увода верхней полусферы. Производится отделение крышки парашютного контейнера АЗ, и вводится в действие первый каскад аэростатной парашютной системы – стабилизирующий парашют. На нем зонд совершает автономный спуск до момента срабатывания порогового устройства датчиков или программно-временного устройства. По этим командам осуществляется отделение стабилизирующего парашюта и вводится в действие парашют ввода аэростата (ПВА).

Парашют ввода аэростата обеспечивает торможение АЗ до условий, допустимых для ввода оболочки аэростата. При спуске АЗ на ПВА производится резка аэростатного контейнера, нижняя часть которого, выполнившая роль балласта, опускается и вытапливает оболочку аэростата и гондолу. После успокоения системы по команде временного устройства открывается широклапан наполнения аэростата подъемным газом. По окончании процесса наполнения осуществляется резка и герметизация трубопровода наполнения вблизи верхнего полюса аэростата, и ПВА с системой наполнения отделяется от АЗ.

По команде порогового устройства датчиков сбрасывается балласт. Аэростатный зонд тормозится силой лобового сопротивления и аэростатической силой. Скорость спуска становится равной нулю в точке максимального погружения, затем начинается подъем аэростата на высоту равновесия. Аэростат находится в тепловом равновесии с окружающей средой и под воздействием ветра осуществляется дрейф к терминатору и переход на дневную сторону планеты.

Аэростатный зонд состоит из двух основных систем: системы ввода и аэростата. Система ввода обеспечивает крепление элементов зонда к СА при перелете и входе в атмосферу, торможение и необходимую скорость спуска при извлечении и наполнении оболочки, хранение и подачу в оболочку подъемного газа, разделение иброс систем и элементов конструкции в соответствии со схемой ввода зонда. Аэростат обеспечивает плавание зонда, проведение научных измерений в атмосфере и передачу телеметрической информации на Землю.

В состав системы ввода входят аэростатная парашютная система, системы наполнения, автоматики, разделения, установки. Аэростатная парашютная система состоит из блока стабилизирующего парашюта и парашюта ввода аэростата. Стабилизирующий парашют предназначен для стабилизации АЗ при его сбросе, отделения АЗ от верхней полусфера аппарата и обеспечения условий ввода ПВА. Основной парашют площадью 35 м^2 предназначен для обеспечения режимов снижения АЗ, допустимых для развертывания и наполнения аэростатной оболочки. Система наполнения аэростатного зонда предназначена для хранения запасов газообразного гелия и подачи его в оболочку аэростата. Она состоит из блока шаробаллонов, объединенных коллектором, на котором установлены пироклапан подачи газа в оболочку, дросселирующее устройство, пиротехнический резак разделения трубопровода и запорный клапан оболочки

аэростата. Для телеметрического контроля параметров газа в шаробаллонах установлены датчики давления и температуры.

Система электроавтоматики предназначена для обеспечения ввода аэростата в соответствии с циклограммой АЗ. В ее состав входят программируемое устройство и пороговое устройство датчиков.

Источники питания АЗ предназначены для питания аппаратуры АЗ постоянным током и подразделяются на источник питания широкорадиотехнической системы ввода аэростата, источник питания ПВУ АЗ, источник питания системы сброса балласта и источник питания гондолы.

Система разделения обеспечивает отделение зонда, разделение корпусов контейнеров парашютной и аэростатной систем и сброс балласта. В систему разделения входят: клапан разгерметизации парашютного контейнера и отделения его крышки, разрывные болты, пиронож-приставка, узел сброса балласта, система отделения АЗ от верхней полусфера, система отделения крышки тора АЗ, узел отделения полосы оболочки, широчка ввода ПВА, пиронож резки бортовой кабельной сети, пускоотсечной клапан.

Система установки АЗ на аппарат включает в себя силовой конус, являющийся несущим элементом конструкции АЗ, закрепленный на верхней полусфере с помощью пироболтов. В нижней части силового конуса расположен торовый контейнер, внутри которого размещаются оболочка аэростатной системы с полосами, подвеска и гондола. На поверхности торового контейнера, обращенной к корпусу тормозной парашютной системы посадочного аппарата, установлены салазки, выполняющие функции упоров для обеспечения безударного схода зонда при уводе верхней полусферы. В верхней части силового конуса установлены блок шаробаллонов и контейнер аэростатной парашютной системы.

Аэростатный зонд как система состоит, в свою очередь, из двух систем: аэростатной, включающей в себя оболочку аэростата с полосами и подвеску, и гондолы, состоящей из метеокомплекса, радиосистемы и блока питания, установленных на несущей конструкции (рис.21,22).

Оболочка аэростата обеспечивает плавание гондолы с научными приборами и предназначена для хранения подъемного газа (гелия) в течение заданного времени, а также для передачи создаваемой газом подъемной силы на гондолу. К проработке был принят закрытый герметичный аэростат, имеющий квазиоферическую равнонапряженную оболочку диаметром 3,4 м. Оболочка аэростата включает в себя мягкую оболочку, собранную из полотнищ, и два жестких полоса, нижний и верхний, предназначенные для герметичной заделки концов полотнищ и обеспечения механической связи оболочки с гондолой и ПВА. В качестве основного конструкционного материала для аэростатной оболочки выбрана фторлоновая лакоткань с нанесенными на нее слоями лака.

Гондола с приборами метеокомплекса и радиокомплекса предназначается для измерения температура, давления атмосферы, вертикальной компоненты относительной скорости ветра, плотности облачного слоя, освещенности и обнаружения световых вспышек и передачи научных измерений на Землю. Гондола АЗ представляет собой трехзвенник, состоящий из: антеннофидерного устройства конической формы; блока радиосистемы и метеокомплекса, размещенных в металлических контейнерах в форме параллелепипеда, жестко скрепленных между собой (к нижней части контейнера блока радиосистемы шарнирно прикреплена штанга, на которой установлены датчики научной аппаратуры); источника питания, размещенного также в металлическом контейнере, в нижней части которого имеются два узла для крепления блока сброса балласта.

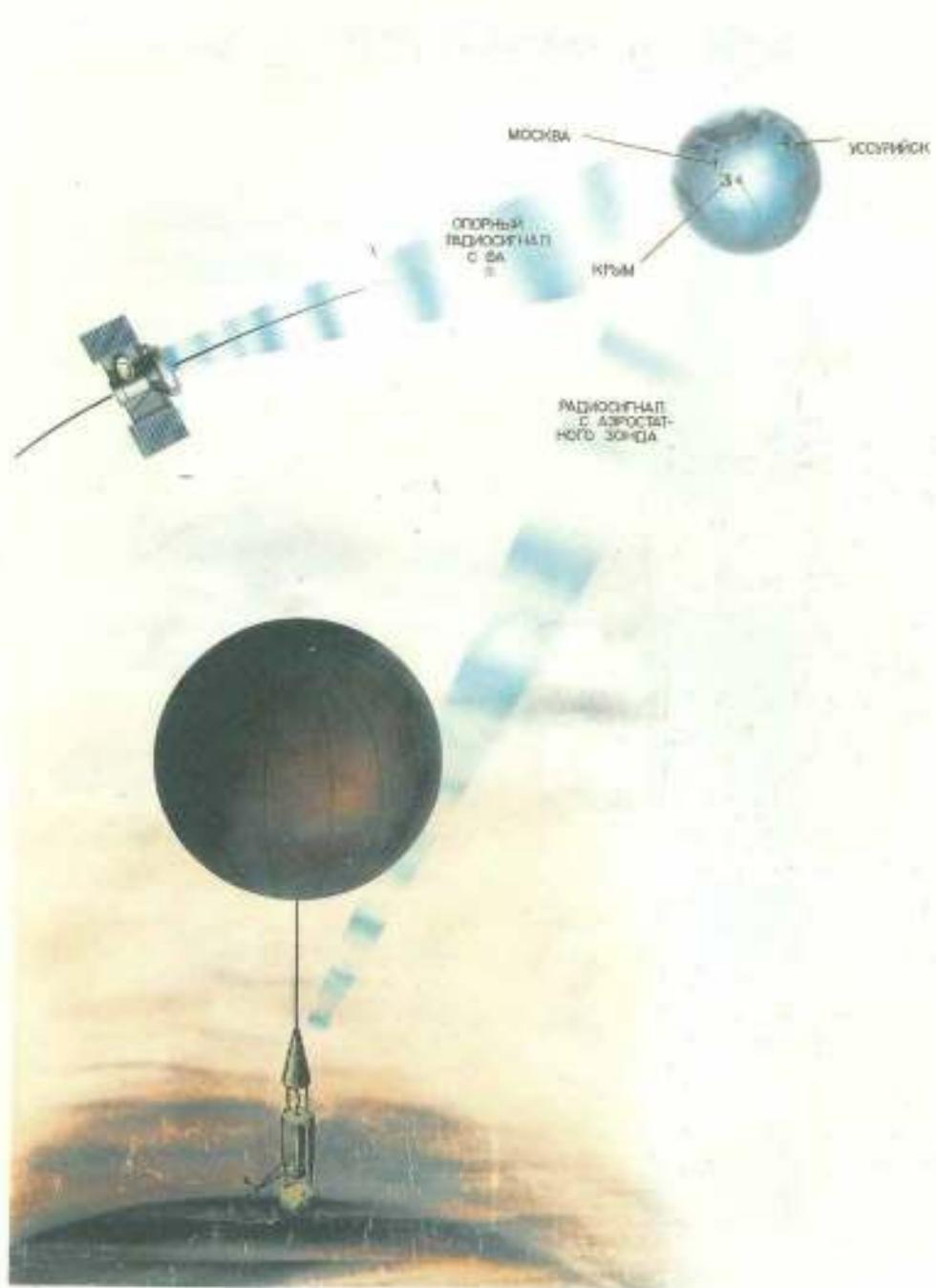


Рис. 21.

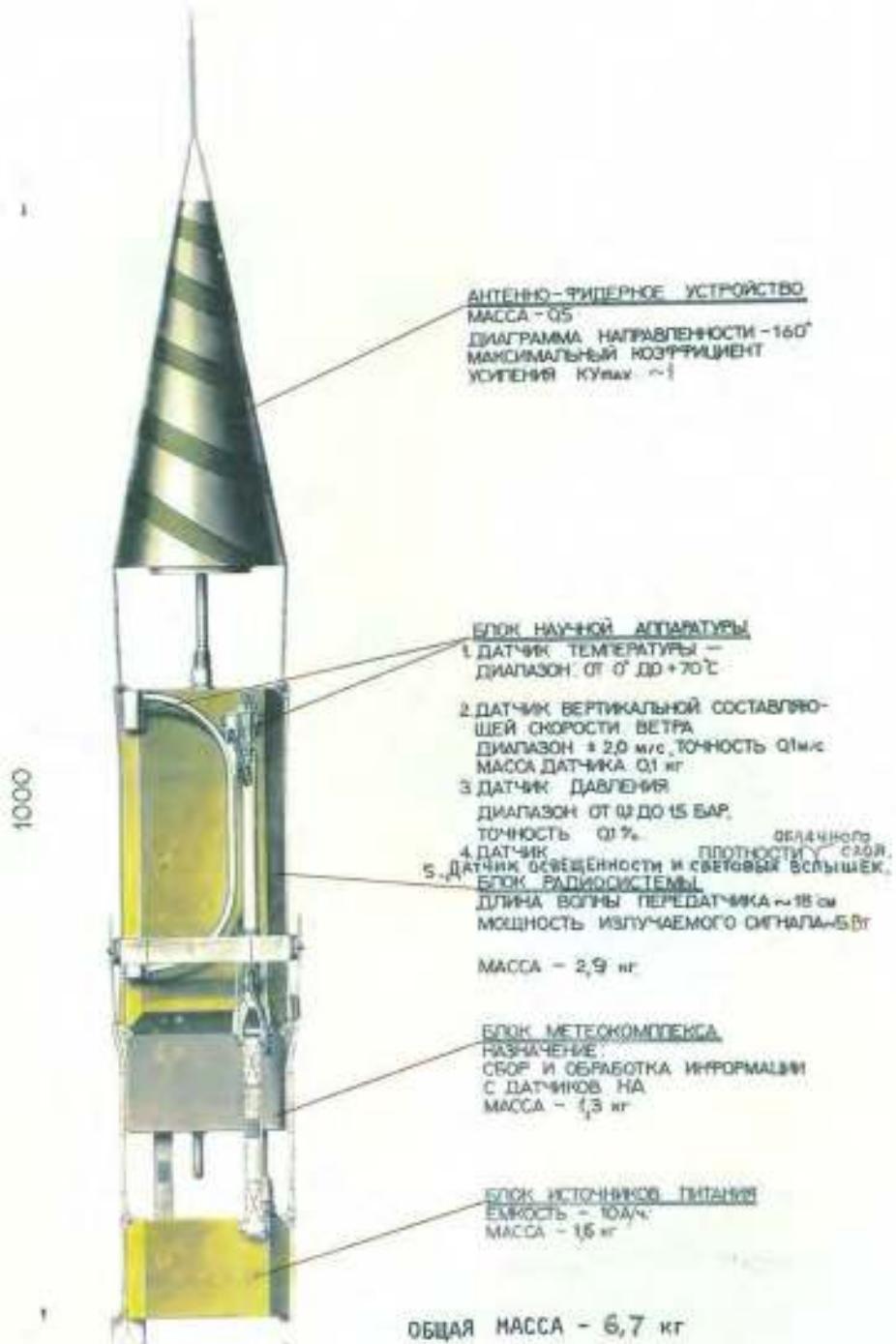


РИС. 22.

Все три звена гондолы гибко соединены между собой при помощи капроновых лент. Гондола АЗ крепится к нижнему полюсу аэростата при помощи капронового фала длиной 12 м.

Измерение координат и скорости аэростатного зонда в течение всего времени полета проводится следующим образом:

- методом дифференциальной радиointерферометрии с большой базой при помощи наземной сети радиотелескопов определяются две компоненты скорости АЗ и две координаты в плоскости, перпендикулярной линии навигации (скорости и координаты измеряются относительно спорного источника сигналов пролетного аппарата);
- по доплеровскому смещению частоты сигнала измеряется радиальная компонента скорости АЗ относительно наземной приемной антенны;
- при помощи датчиков на борту АЗ измеряется высота плавания АЗ и вертикальная компонента скорости ветра.

Перечисленные выше измеряемые параметры с учетом элементов орбиты пролетного аппарата, определяемых штатными средствами траекторных измерений, позволяют найти следующие характеристики вдоль трассы полета АЗ:

- координаты (широта, долгота и высота плавания) и скорость АЗ (зональная, меридиональная и вертикальная компоненты);
- вертикальная компонента скорости ветра;
- среднее значение и пульсации температуры окружающей среды;
- давление окружающей среды;
- вариации плотности облаков;
- корреляция пульсаций вертикальной и горизонтальной компонент скорости ветра (турбулентный коэффициент трения);
- корреляция пульсаций температуры и вертикальной компоненты скорости (турбулентный коэффициент теплопроводности);

- корреляцию пульсаций метеопараметров и плотности облаков;
- скорость диссипации турбулентной энергии;
- турбулентный коэффициент диффузии;
- локальное значение вертикального градиента температуры.

Кроме того, с борта АЗ измеряется средняя освещенность и регистрируются световые вспышки.

Радиосигналы АЗ на длине волн 18 см (система *VAB*) , передаваемые непосредственно на Землю, должны приниматься международной сетью радиотелескопов, включаящий наиболее крупные и средние по размерам антенны в Европе, Азии, Северной и Южной Америке, на юге Африки и в Австралии. Большие антенны необходимы для приема телеметрической информации АЗ в течение всего времени его полета и для измерений координат и скорости АЗ на диске Венеры методом радиолинтерферометрии с большой базой. Меньшие по размерам антенны должны работать совместно с большими антеннами и служат для обеспечения точности и увеличения времени измерений координат и скорости АЗ за счет создания дополнительных баз.

6. Научная аппаратура аэростатного зонда

Датчик температуры – термометр сопротивления, изготовленный из никелевой фольги, наклееной на тонкую полiamидную подложку. Размеры чувствительного элемента 0,7x0,7 см. Сопротивление ~ 50 Ом.

Два датчика устанавливаются на штанге на расстоянии ~ 40 см от корпуса гондолы и на 12 м выше оболочки АЗ.

Датчик давления – кварцевый резонатор, собственная частота колебаний которого зависит от механических напряжений, обусловленных внешним давлением.

Датчик вертикальной компоненты скорости ветра. Механический пропеллерный анемометр с двумя опtronными парами и модулято-

ром света для измерения частоты и направления вращения, лопасти анемометра разворачиваются после раскрытия штанги.

Датчик плотности облачного слоя (дальности видимости) – нефелометр обратного рассеяния, в котором излучаются импульсы света на волне $\lambda = 0,9 \text{ мкм}$ и регистрируется обратное рассеяние на аэрозолях из объема воздуха, расположенного на расстоянии $\sim 1 \text{ м}$ в стороне от датчика.

Дополнительные датчики: температуры нефелометра, и наличия световых вспышек.

Все датчики, кроме дополнительных, опрашиваются практически в одно и то же время, периодически с интервалом через 75 с, информация от них записывается в память. В режиме ТМ передается на Землю тот объем информации, который был собран за предыдущие 30 мин.

7. Международная сеть радиотелескопов

Для того чтобы обеспечить прием научной информации от АЗ, созданы две сети радиотелескопов, одна советская, координируемая ИКИ АН СССР, вторая – международная, координируемая КНЕС (Франция) (рис. 23).

Советская сеть включает следующие радиотелескопы диаметрами:
Балатония^{*)} 70 м, Уссурийск-70 м, Медvezky озера – 64 м,
Пушкино – 22 м, Симеиз – 22 м, Улан-Удэ – 25 м.

Международная сеть, созданная на основе приемных станций
NASA/JPL DSN, включает радиотелескопы с диаметрами:
Голдстоун^{*)} – 64 м, *NASA/JPL DSN*, (США),
Канберра^{*)} – 64 м, *NASA/JPL DSN*, (Австралия),
Мадрид^{*)} – 64 м, *NASA/JPL DSN-INTA* (Испания).

^{*)} Радиотелескопы, принимающие телеметрическую информацию АЗ.



РИС. 23.

Гринбэнк	- 43 м,	<i>NRAO</i>	(США, сеть <i>VLBI</i>),
Аресибо	- 300м,	<i>NAIC</i>	(Пуэрто-Рико),
Форт-Дэвис	- 26 м,	<i>GKAS</i>	(США, сеть <i>VLBI</i>),
Пентиктон	- 26 м,	<i>PKAO</i>	(Канада),
Атибайя	- 14 м,	<i>INPE-CNES</i>	(Бразилия),
Эйфельсберг	- 100 м,	<i>MP</i> , ФРГ	(Европейская <i>VLBI</i> - сеть),
Онсала	- 26 м ,	Швеция	(Европейская <i>VLBI</i> - сеть),
Хартбестех	- 26 м ,	<i>CSIR</i>	(Ю.Африка),
Паркс	- 64 м,	<i>CSIRO</i>	(Австралия)

Международная сеть будет координироваться и управляться Научным оперативным центром в Тулусе (Франция). Прием и регистрация сигналов АЗ осуществляется независимо советской и международной сетями. После этого происходит обмен данными на различных уровнях обработки для получения глобальной сети, включаящей базы, образованные советскими и международными станциями. Сотрудничество базы необходимо для повышения точности измерений координат и скорости и обеспечения круглосуточных измерений.

Международная сеть должна решить две задачи:

1. Для пролетного космического аппарата – определить положение и скорость аппарата с помощью дифференциальных интерферометрических измерений относительно квазаров станции *ФСН/УРЛ*.
2. Для азростатного зонда – определить поперечные компоненты положения и скорость зонда по отношению к пролетному аппарату.

Обработка всех *VLB1*- данных, поступающих с советской сети станций, будет производиться в Москве, а обработка данных международной сети станций будет осуществляться коррелятором *NASA/УРЛ/САЛТЕСН*.

Радиальные компоненты скорости определяются по доплеровским измерениям. Одновременно определяется высота полета зонда и скорость изменения высоты по прямым телеметрическим измерениям. Телеметрические сигналы принимаются и записываются на станциях *ФСН* и станции в Евпатории. Производится обмен записями и магнитными лентами после демодуляции и декодирования. Эти данные затем декоммутируются, калибруются и обрабатываются в центрах обработки в Москве и в Тулузе.

Интерпретация данных будет осуществляться Международной научной группой (СССР, США, Франция).

Ожидается, что научные данные по этому эксперименту будут получены к январю 1987 г.

У. СОСТАВ НАУЧНЫХ ПРИБОРОВ, ЦЕЛИ НАУЧНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ИХ ОПИСАНИЕ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. ПРОЛЕТНЫЙ АППАРАТ

1.1. ТЕЛЕВИЗИОННАЯ СИСТЕМА (ТВС)

Телевизионная система пролетного аппарата предназначена для автоматического обнаружения и автосопровождения кометы Галлея, получения и передачи на наземные пункты приема информации монохроматических и спектрональных изображений кометы.

Получаемая с помощью ТВС информация должна обеспечить решение следующих научных задач: обнаружение кометы, определение ее размеров и оценка альбедо ее ядра; изучение структуры и динамики центральных областей комы.

Телевизионная система обеспечивает также получение данных, необходимых для формирования сигналов управления движением поворотной платформы АСП-Г, на которой устанавливается трущина оптических научных приборов для изучения кометы. В этом случае ТВС выполняет роль датчика в системе автоматического слежения за кометой, а также обеспечивает геометрическую привязку измерений, проводимых другими научными приборами.

Построение съемочной системы для указанных целей проводилось с учетом фотометрической модели кометы и траектории сближения, условий передачи информации на Землю, требований по управлению АСП-Г, а также специфических технических ограничений, налагаемых на научную аппаратуру автоматических межпланетных станций.

Так, пространственное разрешение ТВС определяется ожидаемыми размерами ядра кометы и минимальным расстоянием пролета, при котором необходимо оценить размеры, форму и внутреннюю структуру ядра. Такие оценки возможны в случае, если линейный размер δ разрешаемой ТВС элементарной площадки на поверхности ядра и размер ядра R находятся в соответствии $R/\delta \geq 5+10$, т.е. при минимальном размере ядра $R = 1$ км и расстоянии пролета ядра 10^4 км угловой размер элемента разложения поля зрения ТВС должен составлять $(1+2) \cdot 10^{-5}$ рад, или $2 + 4''$. Размер поля зрения ТВС не должен быть менее $15'$, что определяется, в первую очередь, величиной систематической ошибки наведения по углу $\Delta\psi \approx \pm 5'$ и максимальными ожидаемыми размерами ядра и околосдерной области, которые оцениваются величиной около $5'$. С другой стороны, сочетание задачи наблюдения ядра с задачей обнаружения кометы и управления платформой на разных стадиях полета требует увеличить угол поля зрения до 2° , детальность наблюдения (разрешающая способность) в котором должна быть соизмерима с размерами ядра или околосдерной области ($\sim 0,5'$).

Очевидно, что требования по углу поля зрения и разрешающей способности с точки зрения наведения АСЛ-1' на ядро кометы на разных этапах пролета отличаются друг от друга примерно на порядок, поэтому ТВС имеет две камеры с соответственно различными фокусными расстояниями объективов (1200 и 150 мм).

При подлете к комете сюжет и условия съемки будут существенно меняться. На больших расстояниях ядро невелико по сравнению с размерами элементов дискретизации полей зрения ТВ-камер и, несмотря на то что яркость ядра может превышать яркость комы в 20 - 100 раз, ядро не будет определять величины требуемой для съемки экспозиции. По мере сближения размеры ядра становятся соизмеримыми с размерами элементов дискретизации, и яркость ядра начинает влиять на выбор экспозиции, а затем и

определяет ее. Этот процесс, естественно, должен сопровождаться адаптацией ТВС, так как динамический диапазон передаваемых на Землю величин яркости для каждого изображения ограничен и составляет около 10^2 (7-разрядное аналого-цифровое преобразование). Возможный перепад регистрируемых ТВС яркостей комы и ядра, с учетом вероятных ошибок, оценивается величиной $10^5 \div 10^6$, поэтому ТВС обеспечивает более чем 10^4 -кратную автоматическую смену времени экспонирования (в диапазоне $0,01 \div 163$ с), а также, в двух из четырех каналов, — дополнительное 10^2 -кратное изменение экспозиции сменными фильтрами.

В соответствии с имеющимися сведениями о комете Галлея в рабочем спектральном диапазоне ТВС выделены несколько интервалов (рис. 24). В частности, по предварительным оценкам съемку ядра целесообразно производить в интервале $6300 \div 7600 \text{ \AA}$, где ожидается минимальная интенсивность газовых эмиссий и, соответ-

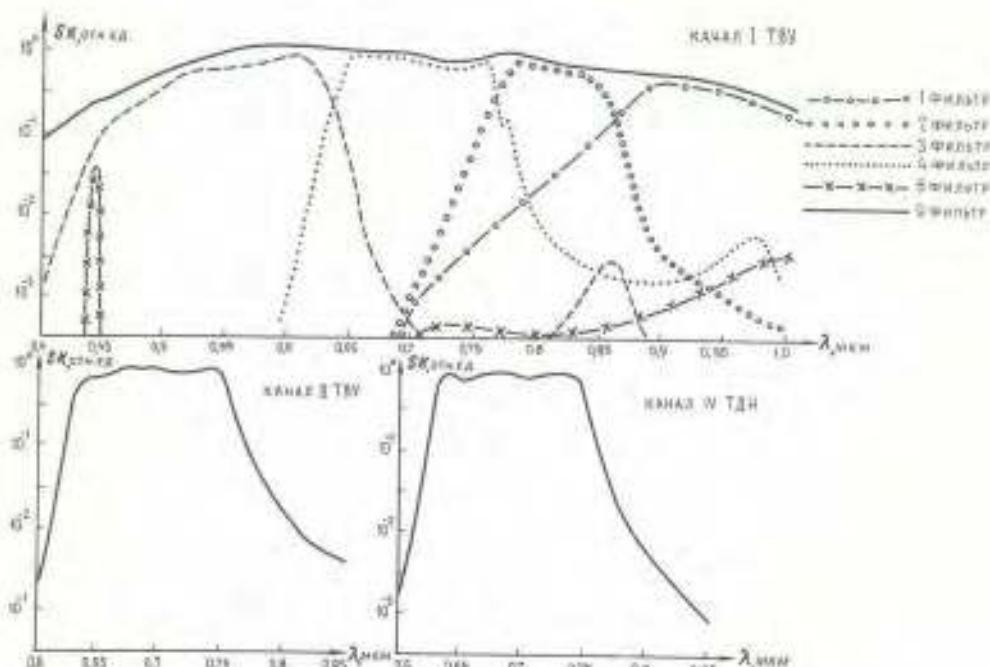


РИС. 24.

ственno, наибольший контраст ядро/кома. Изображение комы интересно получить в области полос Свана в интервале $4000+6300 \text{ \AA}$; кроме того, съемка будет производиться и в очень узком ($\sim 45 \text{ \AA}$) спектральном интервале вблизи 4440 \AA (интервал "blue dust")^o. В ближней ИК-области для съемки кометы используются интервалы $7600+8600 \text{ \AA}$ и $8600+11000 \text{ \AA}$ ^o. Имеется также возможность съемки и в полном рабочем спектральном диапазоне – $4000 + 11000 \text{ \AA}$.

Тип телевизионной системы в значительной степени определяется тем, что КА "Венера-Галлей" имеет трехосную стабилизацию и в период пролета направление на комету меняется в плоскости орбиты КА в пределах $\pm 110^\circ$ и по нормали к плоскости орбиты в пределах $\pm 60^\circ$. Это значит, что при практически любой архитектуре ТВС нельзя обойтись без механического перемещения оптической оси камер относительно корпуса КА, т.е. без использования поворотной платформы, а также то, что ТВС должна быть кадровой.

В соответствии со сказанным выше ТВС проекта "Венера-Галлей" реализована как кадровая двухкамерная четырехканальная телевизионная система с накоплением, использующая в качестве приемников изображения матричные охлаждаемые фотопреобразователи с переносом заряда – ПЗС, позволяющие получать изображение форматом 512×512 элементов.

В состав ТВС входят ТВ узкоугольная камера высокого разрешения (ТВУ) (рис.25), ТВ широкоугольная камера-датчик наведения (ТДН) и блок электроники (БЭ ТВС). ТВУ обеспечивает получение изображений с максимальным пространственным разрешением. ТДН позволяет получать обзорные изображения.

БЭ ТВС (общий для обеих камер) служит для управления камерами, обработки информации, получаемой ими, передачи информации по радиолинии на Землю, а также реализации алгоритма управления АСП-Г.

БЭ ТВС имеет в своем составе двухпроцессорную систему обработки

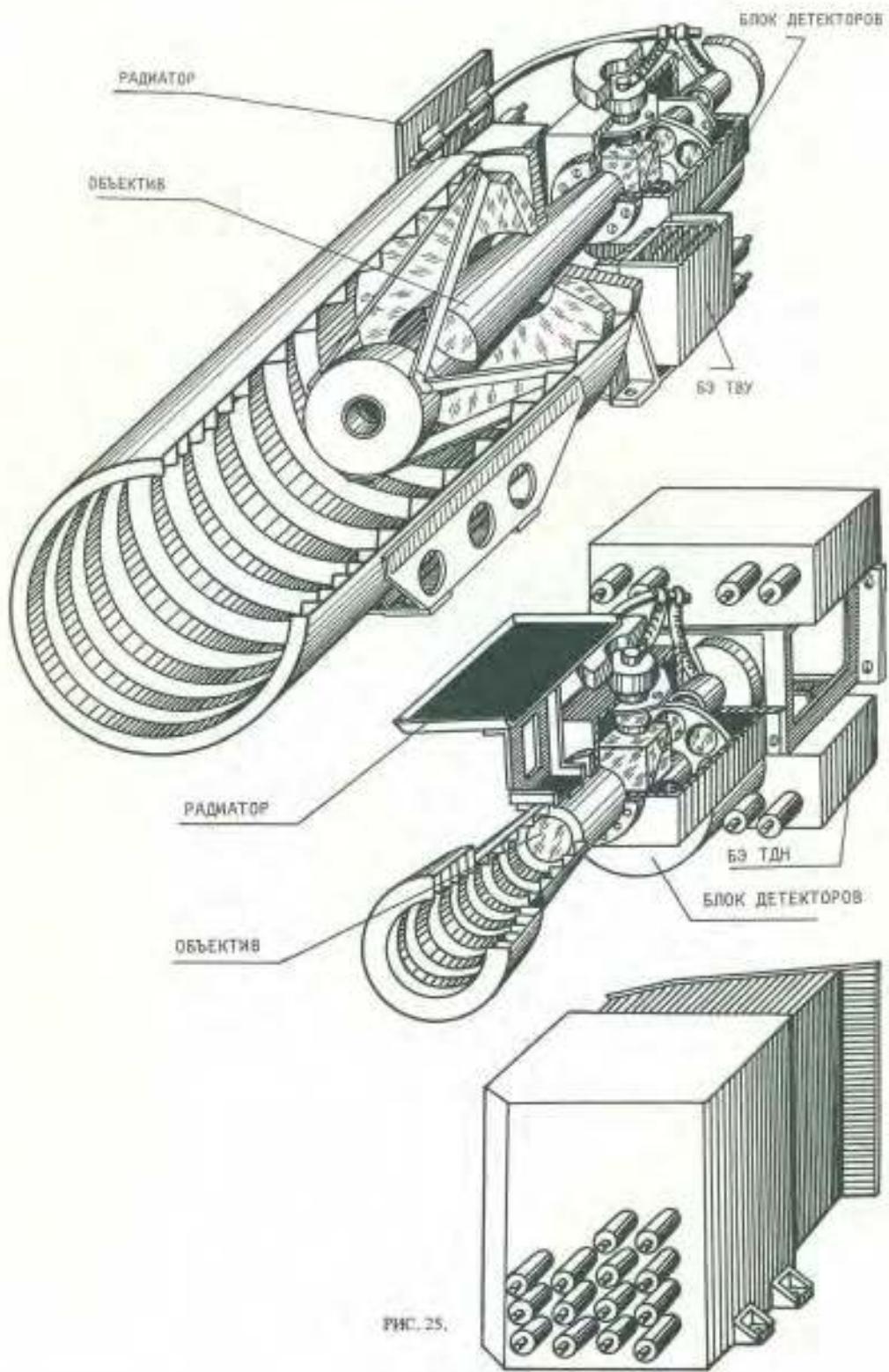


Рис. 25.

видеоинформации, вторичные источники питания (ВИ), а также интерфейсы связи ТВС с внешними устройствами – БУНА, БМСИ, АСП-Г.

Основные технические характеристики ТВС приведены в табл. 3

Принципы функционирования ТВС. Обобщенная функциональная схема ТВС показана на рис.26.

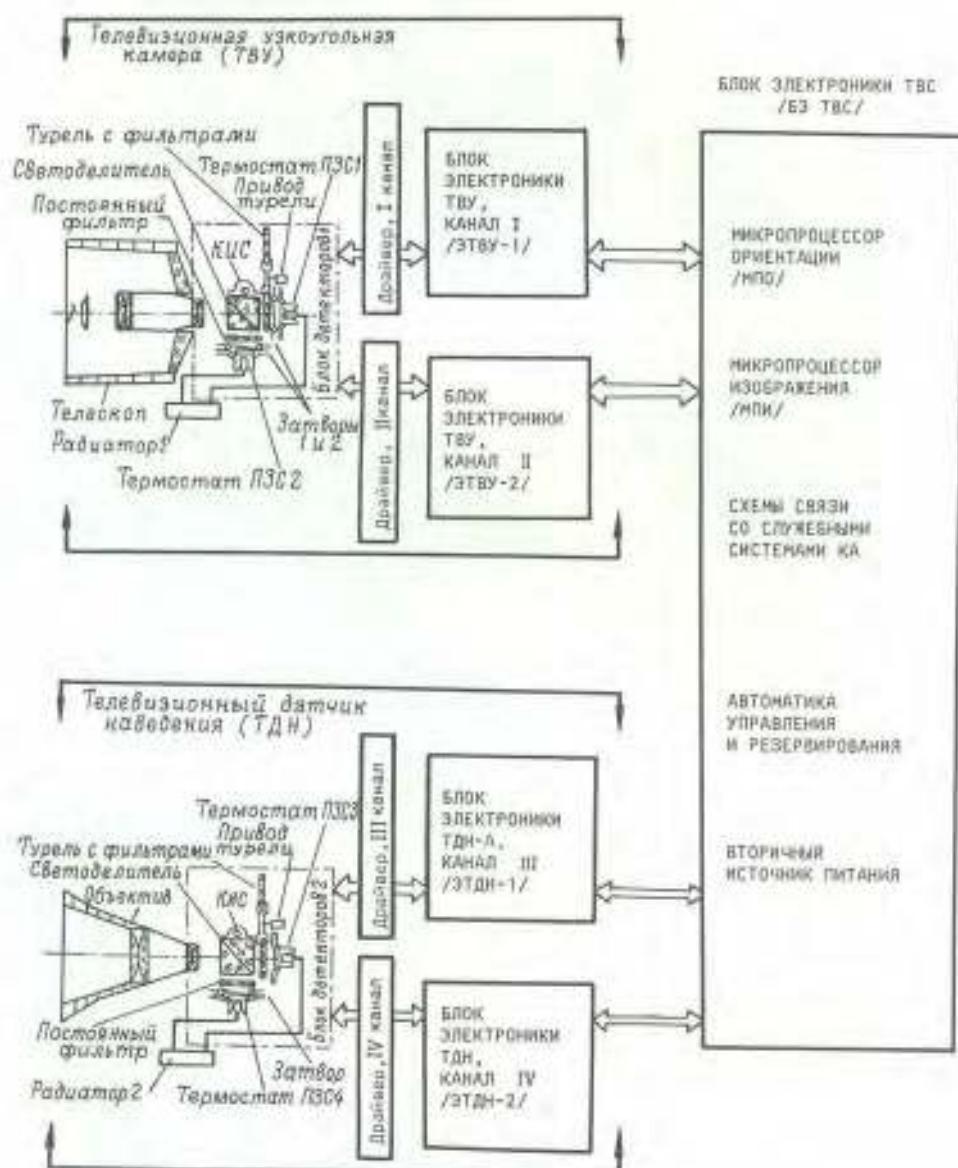


РИС. 26.

Таблица 3

Основные характеристики телевизионной системы проекта
"Венера-Галмей"

Тип ТВС	Многозональная, кадровая система с накоплением		
	Телевизионная узкоугольная камера (ТУК)		
Состав ТВС	Телевизионный датчик наведения (ТДН) Блок электроники ТВС (БЭ ТВС)		
Масса	31,5 кг		
Электропотребление	До 25 Вт		
Оптика	ТУК: зеркально-линзовый телескоп	ТДН: линзовый объектив	
Фокусное расстояние, мм	1200		150
Диаметр, мм	240		50
Относительное отверстие	1:5, зфф. 1:6,5		1:3
Число каналов изображения	2		2
Спектральные фильтры	8 фильтров в диапазоне 400-1100 нм	Фиксиров. фильтр 630-760 нм	Фиксир. фильтр 630-760 нм Набор из 7 фильтров 630-760 нм и фильтра 400-1100нм
Затвор	Электромеханический		
Шкала времени экспонирования	0,01 - 163 с		
6+800 мс			
Управление каналами	От БЭ ТВС		
			Автономное
Приемник изображения	ПЗС-матрицы с числом элементов 512x 512 Размер элемента 18 x 24 мкм		
			512x256

Угол поля зрения, угл.мин.	26,4x39,6	2IIIx3I6	2IIIxI58
Разрешающая способность, угл. с/эл	3,Ix4,I	24,75x33	99xI32
Средства бортовой обработки данных	Двухмикропроцессорная система с равноправным доступом к любому из трех каналов изображения и возможность передачи изображения от четвертого канала		Устройство аналого-цифровой обработки данных
Объем памяти программ	a) для наведения - 24Kx(8+4) разрядов б) для обработки - 12Kx(8+4) разрядов		
Объем оперативной памяти	a) для наведения - 8Kx(8+4) разрядов б) для обработки - 4Kx(8+4) изображения разрядов		
Объем памяти изображения	a) для наведения - 4Kx8 разрядов б) для передачи - 16Kx8 изображения разрядов		
Передача изображения	Методом "Плавающего окна" размером 128x128 элементов, образованного вокруг наименее яркой точки изображения	Полное изображение 128x128 элементов (с интегрированием 4 x 2 элемента)	
Программа научных съемок	Набор фиксированных программ для всех сеансов съемки кометы. Предусмотрена возможность модификации программы съемок в широких пределах по командам с Земли		

Продолжение таблицы 3

Критерий обнаружения кометы	Обнаружение центра яркости наиболее яркой области изображения, с учетом индивидуальных характеристик приемника изображения	Осуществляется путем поиска центра яркости наиболее яркой области кометы
Автосопровождение кометы в сеансе пролета	Осуществляется на основе фильтрации вычисляемых координат кометы по методу Калмана с прогнозированием взаимного положения платформа-комета на время до 15 мин.	
Резервирование системы передачи изображения	Путем использования режима непосредственной передачи информации с любого из трех каналов, минуя микропроцессорную систему	
Резервирование системы обнаружения и автосопровождения кометы	Переход по команде на управление платформой от аналогово-цифрового устройства, использующего видеосигнал от III канала	
Передача служебной и видеинформации по БРЛ	Осуществляется со скоростью 32 кбит/с 8-разрядным кодом или 12-разрядным помехозашщщенным кодом	
Контроль работоспособности телевизионной системы	Осуществляется тестированием аппаратных средств программным путем с использованием встроенного излучателя	

ТВУ и ТДН построены по идентичным оптическим схемам, отличающимся параметрами объективов. В обеих камерах используется по два однотипных приемника изображения. ТВС содержит четыре независимых канала (I, II – ТВУ, III, IV – ТДН). В трех каналах дозирование времени экспонирования приемников изображения реализуется с помощью электромеханических затворов.

В канале III приемник изображения работает по стандартной схеме телевизионного режима, без применения электромеханического затвора. Это приводит к уменьшению в два раза поля зрения.

Введенные в канале III отличия вызваны необходимостью организации независимого канала получения изображения, предназначенного для резервного (аналогового) контура управления АСП-Г.

В оптических трактах каналов I и II установлены подвижные турели, обеспечивающие смену светофильтров – по восемь позиций. В ТДН фильтры предназначены для регулирования светового потока, поступающего на приемник изображения.

Сменные фильтры в ТВУ предназначены для получения спектрально-избирательного изображения кометы.

В канале III во всех режимах работы производится самостоятельный анализ видеосигнала.

Телевизионные каналы I, II и IV имеют равноценный выход на систему обработки данных с выходом на микропроцессор ориентации (МПО) и микропроцессор изображения (МПИ). МПО с рядом периферийных устройств обеспечивает формирование сигналов для управления движением АСП-Г на основе анализа распределения и динамики яркости в поле зрения.

МПИ управляет реализацией программы научных съемок и обеспечивает формирование телеметрических кадров для передачи информации по радиолинии на Землю.

Математическое обеспечение МПО позволяет осуществлять автоматическое управление движением АСП-Г на всех этапах пролета кометы, а

также управление по командам в случае решения дополнительных научных задач.

Для повышения надежности обнаружения кометы предусмотрены операции селекции и исключения дефектных элементов, а также учет результатов калибровки ПЭС-матриц.

Управление АСП-Г по информации, получаемой камерным каналом III, осуществляется через схему быстрой обработки видеосигнала, формирующей на своем выходе аналоговые управляющие сигналы, пропорциональные отклонению центра тяжести поля яркости от оптической оси. Канал III совместно со схемой быстрой обработки видеосигнала образует самостоятельный датчик наведения ТДН-А, обеспечивающий управление АСП-Г в случае выхода из строя МПО.

В зависимости от текущей фазы полета, а также по заданным с Земли командам ТВС может функционировать в различных режимах.

В штатном рабочем режиме осуществляются:

- проведение научных съемок кометы в соответствии с программой текущего сеанса и передача информации по радиолинии;
- управление АСП-Г;
- проведение периодических самопроверок технического состояния отдельных устройств и системы в целом и передача данных на Землю.

В период полета КА к комете периодически проводятся циклы полной автоматической проверки ТВС с передачей результатов на Землю. В этом режиме возможно вмешательство с Земли с целью проверки выполнения отдельных функций.

В промежутках между сеансами научных съемок ТВС переводится в дежурный режим, характеризующийся минимальным потреблением энергии от бортовой сети. Основной задачей ТВС в этом режиме является удержание в памяти микропроцессоров данных, необходимых для автоматического начала и проведения очередного сеанса.

Режим прямого сброса включается автоматически в случае неисправности МПИ или ЗУ изображения или по команде с Земли. В этом ре-

жные данныечитываются с ПЭС-матриц в темпе передачи и формат передаваемого кадра соответствует полному считываемому полю, т.е. 512x512 элементов.

Приближении с кометой после перевода АСЛ-Г в рабочее положение могут проводиться сеансы ТВ-съемки участков небесной сферы в заданном направлении, в частности Юпитера, позволяющие уточнить положение осей навигации камер ТВС относительно АСЛ-Г и КА.

За двое суток до пролета кометы, на расстоянии приблизительно $14 \cdot 10^6$ км, проводится окончательная проверка ТВС и первые съемки кометы в научных целях. За одни сутки до пролета, на расстоянии около $7 \cdot 10^6$ км, проводится аналогичный сеанс.

При пролете кометы проводится основной сеанс съемки. Этот сеанс начинается за 2 ч до расчетного момента максимального сближения с ядром кометы.

После пролета планируется проведение двух сеансов, в основном аналогичных первым двум сеансам.

Программа научных съемок учитывает темп изменения масштаба изображения кометы и время получения соответствующих кадров приближении с кометой и основана на чередовании нескольких основных серий передаваемых кадров. Указанные серии предусматривают передачу с ТДН- и ТВУ фрагментов размером 128x128 элементов для различных спектральных интервалов и полных кадров (512x512). В нескольких сериях для изучения комы планируется съемка с экспозициями, существенно превышающими необходимые для получения изображений ядра.

Всего за пять сеансов съемок кометы на Землю будет передано около 1400 изображений (в пересчете на кадры 128x128 элементов), из них за 40 мин пролета зоны максимального сближения с ядром – около 250.

В целях повышения надежности выполнения задачи наведения ТВС обеспечивает следующие варианты формирования управляющего воздействия на АСЛ-Г:

- управление по угловым уставкам на основе команд с Земли;
- управление по угловым уставкам на основе данных, заложенных в память микропроцессора;
- управление по угловым уставкам, рассчитанным ТВС по изображениям кометы;
- управление по прогнозируемым значениям угловой скорости и углов, рассчитанным на основе измерения положения кометы в поле зрения ТВС;
- управление по данным, полученным ТДН-А.

В качестве точки наведения ТВС использует:

- положение максимума яркости в наиболее яркой области изображения в каналах I, II и IV;
- центр тяжести фигуры яркости в канале ТДН-А.

Точность измерения координат точки наведения при работе с каналами медленного телевидения не хуже $30''$. Максимально допустимая погрешность по прогнозируемой скорости не превышает 10%. Максимальная погрешность прогнозирования углового положения не превышает $3'$.

В создании ТВС принимали участие специалисты БИР, СССР и Франции.

1.2. Вычислительный интерактивный комплекс обработки космической видеинформации (ВИК)

Вычислительный интерактивный комплекс (ВИК) предназначен для обеспечения в эксперименте "Венера-Галлеи" и других космических экспериментах визуализации, экспресс- и научной обработки ТВС-информации.

ИК обеспечивает решение следующих задач:

- прием ТВС-информации и выделение ТВ-кадров;
- архивации информации на магнитных носителях (цифровая и видеозапись);
- быструю визуализацию изображений на экране дисплея;
- коррекцию изображений по результатам калибровки ТВС;
- обработку изображений с целью повышения их качества;
- регистрацию изображений на фотографическом носителе;
- проведение научной обработки информации по согласованным программам.

ИК (рис. 27) содержит в своем составе следующие аппаратные средства:

- комплекс ЗВМ повышенной надежности типа СМ 1420 с внешними устройствами (алфавитно-цифровые дисплеи, графический дисплей, АЦП, устройство внешней памяти (УНП) на сменных магнитных дисках, УНП на базе макомпьютера на магнитной ленте, цветные видеоконтрольные устройства);
- средства интеграции комплекса;
- специализированные периферийные устройства (экспериментальные цветные дисплеи, устройства ввода/вывода изображения на фотографический носитель, лазерный анализатор структуры фотоснимков, видеомагнитофоны).

Периферийные устройства ИК обеспечивают:

- ввод данных в ИК с линии цифровой связи, с цифровых магнитных видеозаписей, путем считывания фотоснимков, от специализированных внешних устройств;
- вывод данных на экраны цветных дисплеев, получение черно-белых и цветных фотографических изображений, цифровую запись на магнитных носителях и распечатки на АЦП.

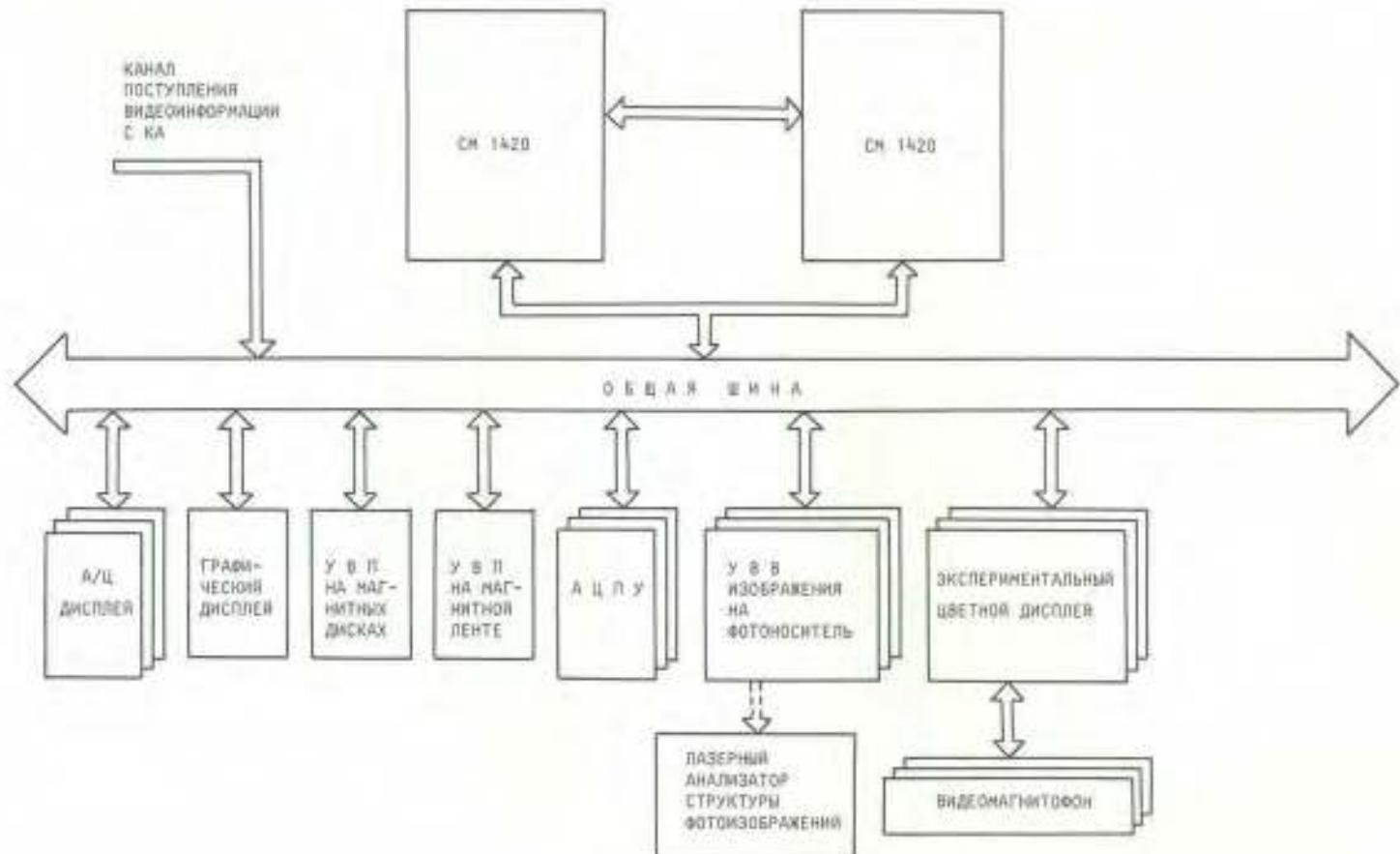


РИС. 27.

БИК имеет следующее программное обеспечение:

- операционная система реального времени;
- базовая система обработки изображений и библиотека программы общего назначения;
- специализированная библиотека программ для обработки теленизированной информации в эксперименте ВИТА;
- автономные дисплейные системы обработки изображения.

Программное обеспечение БИК может дополняться программными модулями для обеспечения тематической обработки видеосигнализации.

В разработке БИК и его эксплуатации принимали участие специалисты НРБ, ГДР, СССР и Франции.

I.3. ИНФРАКРАСНЫЙ СПЕКТРОМЕТР (ИКС)

Проект "Венера-Галлей" предусматривает уникальную возможность исследования излучения внутренних областей кометы в инфракрасном диапазоне на длинах волн 2,5 - 12 мкм. Оно осуществляется с помощью инфракрасного спектрометра (ИКС), изготовленного во Франции. Прибор имеет два спектральных канала с разрешающей способностью $\lambda/\Delta\lambda = 50$ для анализа химического состава вещества комы (в газовой и пылевой фазе) и канал с пространственной модуляцией изображения для измерения размеров, температуры и излучательной способности ядра. Эксперимент позволит идентифицировать наиболее важные молекулы, покидающие ядро (первичные или родительские молекулы), и измерить их поток. В этом эксперименте впервые будут получены данные о тепловом балансе кометного ядра.

Описание прибора

Согласно существующим моделям, даже наиболее обильных первичных молекул в кометах не так уж много. Поэтому для их обнаружения необходимо иметь высокое спектральное разрешение. Тем не менее была выбрана ограниченная разрешающая способность $\lambda/\Delta\lambda = 50$ как компромисс между требованиями задачи и техническими возможностями. Эта разрешающая способность может быть получена при использовании кольцевого интерференционного фильтра (КИФ). Применение КИФ в космической инфракрасной спектрометрии позволяет создать спектральный прибор с минимальной массой и объемом при высокой надежности. В ИКС применяется КИФ с быстрым вращением. При этом КИФ используется как внутренний модулятор. Чтобы избежать сильных переходных процессов в электронике, развертка спектра сделана плоской, она идет от λ_2 к λ_1 , а затем обратно от λ_1 к λ_2 при вращении фильтра. Технология изготовления фильтра такова, что при этом необходимо иметь $\lambda_2 \approx \lambda_1$. Ограничение размеры прибора не позволяют использовать более двух спектральных каналов. Были выбраны интервалы 2,5 – 5,0 мкм и 6 – 12 мкм; в пределах обоих находятся полосы излучения первичных молекул. Коротковолновый канал (ККК), кроме того, может быть использован для обнаружения полос льда H_2O , а длинноволновый (ДНК) – для идентификации ряда минералов, в том числе силикатов.

В дополнение к спектральным каналам, прибор имеет так называемый канал изображения (ЮИ), предназначенный для исследования ядра кометы. В действительности не предполагается получать изображение в традиционном смысле слова, измеряются только некоторые важные параметры – размер, форма, температура и оптические свойства в ИК-диапазоне. Для этого достаточно иметь угловое разрешение около $1'$, а поля зрения 1° . Оказалось допустимым

использовать простую модуляцию изображения, не применяя растрового механизма или диссектора. Модулятор избранного типа выполняет одновременно функции прерывателя и может использовать ту же механику, что и КИФы.

В состав ИКС входит телескоп. Световой пучок после телескопа делится на три вторичных пучка. Один из них используется для КИ, два других - в спектральных каналах. Каждый пучок проходит через одно из трех колец модулирующего диска и собирается на одном из трех охлаждаемых приемников. Кольцо, соответствующее КИ, представляет собой кодирующую решетку, два других кольца - КИФы.

Основные параметры прибора представлены в табл.4 и 5, на рис.28 дана упрощенная схема прибора, а на рис.29 - схема фокального оптического блока.

В приборе используется телескоп системы Ричи-Кретьена. Первичное зеркало имеет световой диаметр 140 мм. Эквивалентное фокусное расстояние равно 538,1 мм. Вторичное зеркало имеет диаметр 56 мм, оно ограничивает размеры пучка и действующую светосилу (как обычно в инфракрасных телескопах). Абберация обеих зеркал оптимизирована на расстояние 20' от оси. На края поля зрения размеры кружка рассеяния в 5 раз больше дифракционного.

Выходящий из телескопа пучок отклоняется плоским зеркалом M_4 , а затем делится пластиной S_1 (германий с противострахованным покрытием на задней стороне). 36% света стигматически отражается и образует пучок КИ, остальные 60% проходят через пластину, образуя пучки КНК и ДНК, разделенные дихроической пластиной S_2 . Пучок КНК проходит через линзу L_x , отражается зеркалом M_2 и линзой L_3 , фокусируется на детекторе, а ДНК фокусируется на другом детекторе линзой L_1 . При помощи абсолютно черного излучателя и точечного источника осуществляется

Таблица 4

Основные параметры прибора ИКС

Диапазоны длин волн:

длинноволновый спектральный канал (ДВК).....	6-12 мкм
коротковолновый спектральный канал (КВК)	2,5 - 5 мкм
канал изображения (КИ)	7 - 14 мкм

Спектральная разрешающая способность... $\lambda/\Delta\lambda = 50$ для ДВК и КВК,
 $\lambda/\Delta\lambda = 2,5$ для КИПространственное разрешение (КИ) около 3 см на расстоянии от ядра 10^4 см

Рабочие температуры:

конструкция	300 К
приемники	77 К

Телескоп:

первичное зеркало	140 мм
вторичное зеркало	56 мм
эквивалентное фокусное расстояние	538,1 мм
поле зрения	1°
угловое разрешение	лучевое
Линзы, разделительные пластины, фильтры	германий с интерференционными покрытиями

Приемники:

канал изображения	$HgCdTe$.(.....)	фотосопротивление
спектральные каналы:		

длинноволновый	$HgCdTe$ (.....)	фотовольтаический
коротковолновый	$InSb$.(.....)	фотовольтаический

Полная масса 18 кг

Внешние габариты 990x280x240 мм

Энергопотребление:

в режиме измерений	≤ 18 Вт
в дежурном режиме	≤ 4 Вт

Поток информации 1920 бит/с

Таблица 5

Некоторые характеристики оптики и приемников прибора ИКС

Параметры	Канал изображения	Спектральные каналы	
		ДВК	КВК
Диапазон длин волн,			
МКМ	7 - 14	6-12	2,5 - 5
Геометрический фактор, см ² .ср	0,046	0,038	0,045
Пропускание, %	10	25	30
ИК-фон на приемнике, Вт	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$9,7 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$
Фотонный шум, Вт/ $\sqrt{\text{Гц}}$	$1,3 \cdot 10^{-12}$	$1,4 \cdot 10^{-12}$	$4 \cdot 10^{-13}$
Размеры приемной площадки, мм ²	2x2	2x2	2x2
Ожидаемое значение ЭМШ (в пике спек- тральной характе- ристики), Вт/ $\sqrt{\text{Гц}}$	$2 \cdot 10^{-11}$	$4 \cdot 10^{-11}$	$2 \cdot 10^{-11}$
в полосе частот	$\Delta\nu = 6000 \text{ Гц}$	$\Delta\nu = 200 \text{ Гц}$	$\Delta\nu = 200 \text{ Гц}$

внутренняя калибровка прибора. Излучение от них собирается линзой L_4 , отражается от зеркала M_2 и падает на пластину S_f . Стигматическое изображение ядра формируется на кодирующей решетке, лучи каналов КВК и ДВК формируются так, чтобы обеспечивалось максимальное спектральное разрешение. Пучки всех трех каналов поступают на приемники через окно криостата.

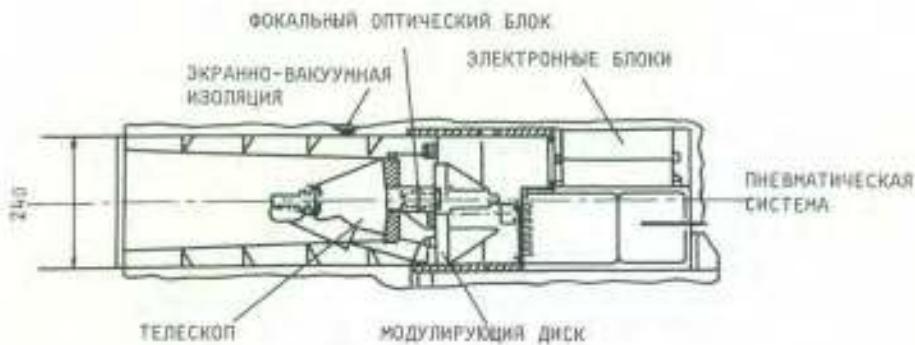


РИС. 28.

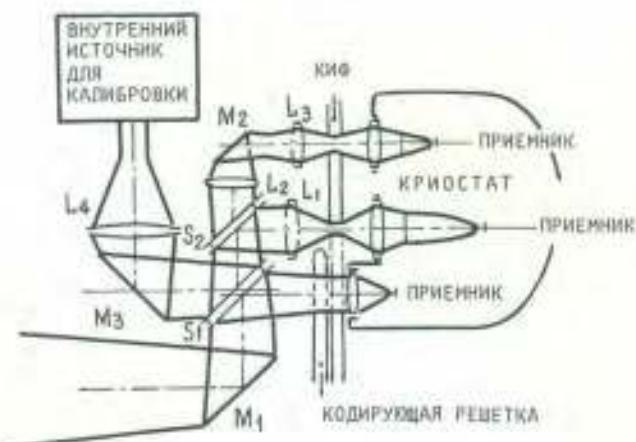


РИС. 29.

Канал изображения

Канал изображения (ИИ) предназначен для определения размеров ядра и потока его теплового излучения. Предполагается, что ядро имеет размеры порядка нескольких километров, температуру от 180 до 250 К и окружено относительно горячей пылью и газом.

Измерения осуществляются посредством непрерывной регистрации (во время приближения к комете) частотной компоненты углового распределения яркости в двух ортогональных направлениях и двух

спектральных диапазонах (7 - 10 и 10 - 14 мкм), что при изменении расстояния до ядра эквивалентно частотному анализу его изображения.

Спектральные каналы

Эксперимент обеспечивает получение спектров комы одновременно в диапазонах 2,5 - 5 и 6 - 12 мкм при помощи двух КИФов с постоянной разрешающей способностью $\lambda/\Delta\lambda = 50$. Диэлектрическая разделительная пластина S_2 разделяет пучки спектральных каналов. Входным зрачком является вторичное зеркало, что обеспечивает минимизацию фона. Линза L_1 дает изображение вторичного зеркала на ЮФ'е, а фокус телескопа отображается на бесконечности. Линзы L_2 и L_3 дают изображение фокуса телескопа на КИФ'е, а на бесконечности отображается входной зрачок.

Последовательность операций во время проведения

эксперимента

Во время перелета на прибор подается дежурное питание для подогрева, крышка остается закрытой. Один раз в два месяца передаются данные о состоянии прибора, при этом проводится вся последовательность операций, предусмотренная при пролете кометы, кроме охлаждения. Неохлажденные приемники будут измерять инструментальный фон на пределе чувствительности. Научные данные при этом получать не предполагается.

При пролете кометы Галлея планируется провести пять сеансов измерений. Во время каждого из этих сеансов будет проводиться номинальная последовательность операций, однако охлаждение будет включаться только во время первого (ожидаемый сигнал от кометы пренебрежимо мал) и третьего (прохождение на минимальном расстоянии). Детекторы охлаждаются до температуры 77 К, при этом используется холодильник Джоуля-Томсона. Номинальная последовательность приводится ниже.

1. $T = T_0$, открывается крышка телескопа, включается электроника, устанавливается в течение нескольких часов тепловой режим прибора.

2. $T = T_0 + 14 \text{ ч } 40 \text{ мин}$, включается охлаждение, приемники выходят на рабочий температурный режим (77 K) через 15 мин.

3. $T = T_0 + 15 \text{ ч}$, включаются приемники, затем в течение 2 ч идут измерения (в 3-м сеансе - 3 ч) с короткими перерывами, когда калибруется электроника.

Во время третьего сеанса ожидается, что расстояние будет минимальным в момент $T_0 + 17 \text{ ч}$, следовательно, измерения начнутся с расстояния $5,6 \cdot 10^5 \text{ км}$ и окончатся на расстоянии $2,8 \cdot 10^5 \text{ км}$ после пролета на минимальном расстоянии от ядра 10^4 км .

На рис.30 дан ожидаемый сигнал канала изображения в зависимости от расстояния для нескольких значений радиуса ядра.

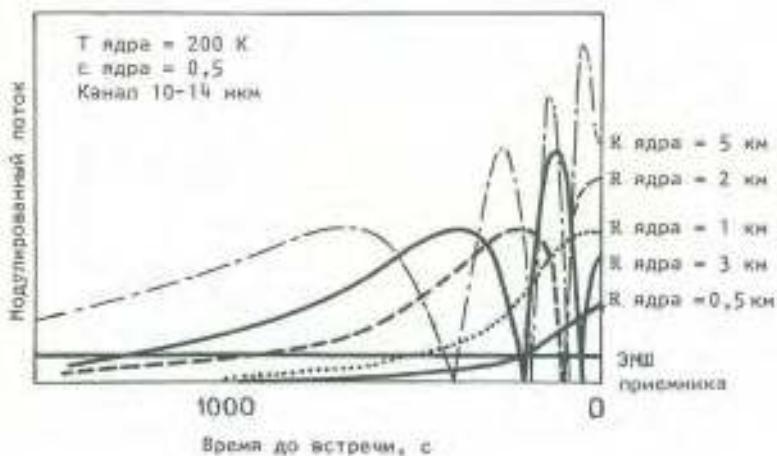


РИС. 30.

На рис.31 дан синтетический спектр внутренней комы ядра, вычисленный для расстояния 10^4 км от ядра и 0,8 а.е. от Солнца и поля зрения 1° (при наведении на ядро). Поток молекул, истекающих из ядра, принят равным $2 \cdot 10^{29} \text{ мол} \cdot \text{с}^{-1}$. Диаметр наблюдаем-

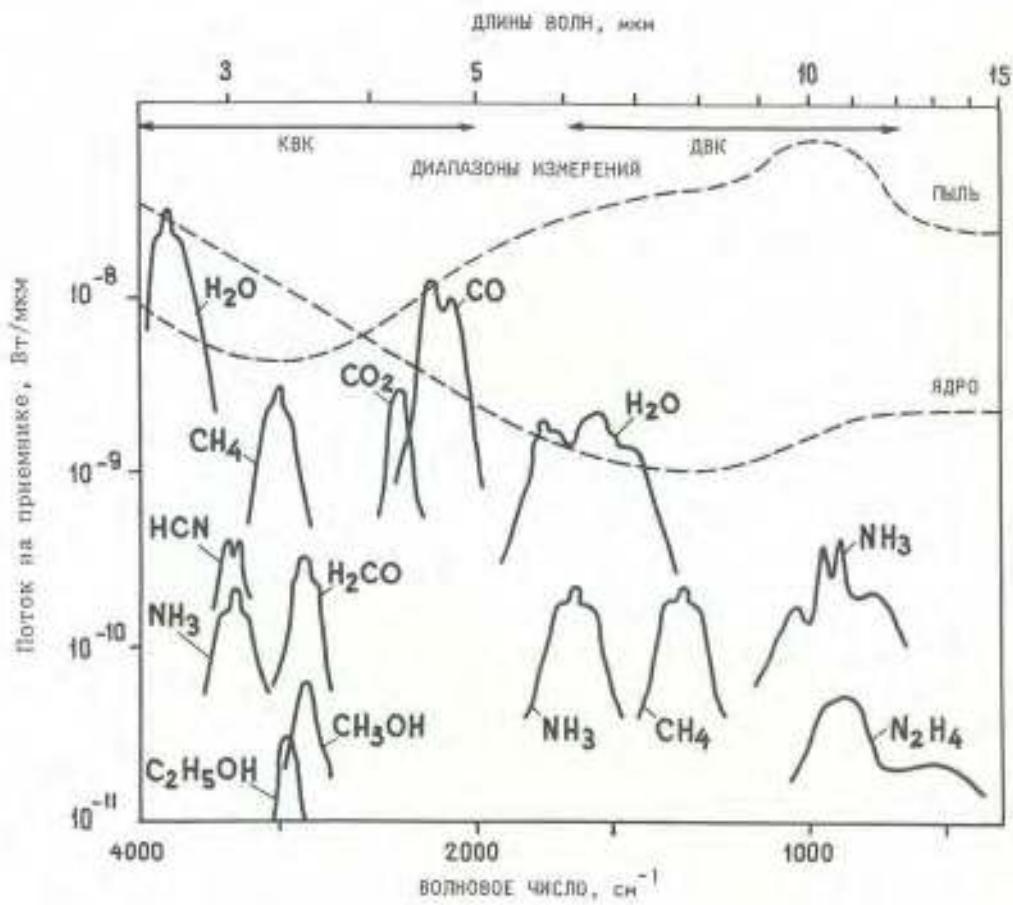


Рис. 31.

мой области около 100 км. На рис. 31 обозначены полосы излучения молекул H_2O , CO_2 , CH_4 , NH_3 и H_2CO . Может наблюдаться также радикал OH. Если модельные величины содержания этих компонент (заложенные в расчет) правильны, то большая часть этих молекул будет обнаружена прибором ИКС.

Рисунок показывает также, что разрешающая способность 50 достаточна для разделения большинства молекулярных полос при времени накопления несколько секунд. Указаны также потоки, ожидаемые от ядра и кометной пыли. Расчетные кривые для ядра, синтетические спектры и потоки получены в предположении $T = 200$ К, $\mathcal{E} = A = 0,5$, $R = 5$ км

(температура, излучательная способность, альбедо, радиус ядра, соответственно).

На рис. 32, 33 представлен общий вид прибора.



РИС. 32.

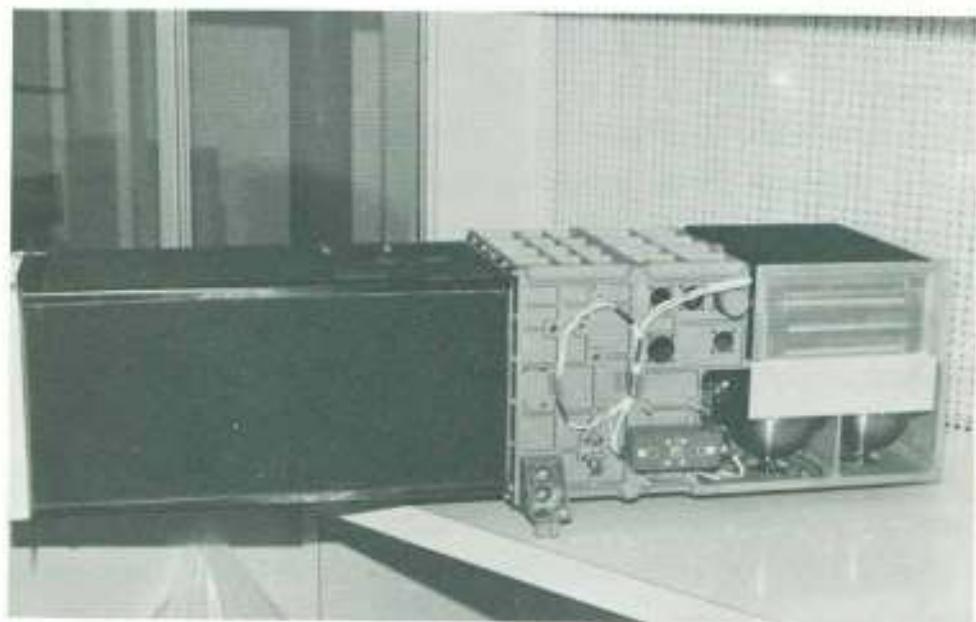


РИС. 33.

Прибор был предложен, разработан и изготовлен во Франции, там же он прошел калибровку. На различных стадиях в подготовке эксперимента принимали участие советские учёные; планируется совместная обработка результатов.

I.4. ТРЕХКАНАЛЬНЫЙ СПЕКТРОМЕТР (ТКС)

Научными задачами данного эксперимента являются:

- детальное спектроскопическое исследование химического состава различных областей комы и хвоста кометы;
- спектральное и поляризационное исследование пылевой компоненты;
- обнаружение первичных молекул;
- получение спектров ядра и/или околоядерной области.

Природа свечения комет

Практически вся масса кометы сосредоточена в ядре, которое представляет собой смесь льдов различных летучих соединений и нелетучей компоненты (пыль, камни). В результате нагревания ядра солнечным излучением льды испаряются, увлекая с собой пыль и создавая поток первичных газов. Далее под действием ультрафиолетового излучения Солнца происходит постепенная деградация кометных газов от первичных молекул к атомам, радикалам и ионам. Этот процесс сопровождается флуоресценцией, по спектру которой можно обнаружить образующиеся частицы и сделать количественные оценки.

Кроме спектра флуоресценции, в излучение кометы значительный вклад вносит рассеянное на частицах пыли. В центре кометы может быть существенным отражение солнечного света ядром кометы. Все три упомянутых источника излучения и, кроме

того, излучения первичных газов, не обнаруженные в обычных условиях, являются объектом исследования в описываемом эксперименте.

Спектр флуоресценции атомов, радикалов, ионов

В последние пятнадцать лет наземные наблюдения спектров комет в видимой области были дополнены экспериментами на ракетах и спутниках, что позволило получить высококачественные спектры в ультрафиолетовой области вплоть до 120 нм. К настоящему времени обнаружены:

молекулы CO, OH, C₂, C₃, CN, CH, HCN, NH, NH₂, CS, S₂;
атомы H, O, C, S, атомы металлов,
ионы CO⁺, CO₂⁺, H₂O⁺, C⁺, CH⁺, OH⁺, N₂⁺, ионы металлов.

Основное отличие этого эксперимента от традиционных спектроскопических измерений комет в том, что в нем предполагается получение детальной спектроскопической информации по отдельным сравнительно малым областям кометы. Это позволит проследить пространственно-временную последовательность распада кометного вещества и дать более обоснованные заключения о химической природе и количествах первичных продуктов, динамике и структуре комы.

Например, для вторичных компонент максимум $n(z)z^2$ должен наблюдаваться на расстоянии от ядра

$$z_{\max} = \frac{V \tau \tau_0}{\tau - \tau_0} \ln \frac{\tau}{\tau_0},$$

где τ_0 , τ — времена жизни первичной и вторичной молекулы, V — скорость истечения. Времена жизни различных веществ на I а.е. приведены в табл. 6. Таким образом, по измеренному z_{\max} и известному значению τ можно найти τ_0 и тем самым дать отождествление родительской молекулы. Скорость истечения должна

быть одинаковой для всех родительских молекул и также может быть получена из результатов измерений.

Таблица 6

Вещество	H_2O	NH_3	HCN	CH_3NH_2	N_2H_4	CH_3CN	CH_4
τ (с)	$7,3 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^4$	$9 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	$\geq 3,5 \cdot 10^6$	$> 10^5$
Вещество	C_2H_4	O_2H_2	C_2N_2	$C_2(CN)_2$	HC_2CN	H_2O_2	
τ (с)	$> 1,5 \cdot 10^4$	$> 1,5 \cdot 10^5$	$\geq 2 \cdot 10^5$	$\geq 10^5$	$1,3 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^3$	
Вещество	$P(CN)$	$P(C_2)$	C_2N	O_2	OH	H	
τ (с)	$5 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^6$	
Вещество	CO_2	O_2	NO	N_2	O	CO	
τ (с)	$2 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$	

Пусть родительская компонента имеет относительное содержание α и время жизни τ_0 ; ее концентрация

$$n_0(\tau) = \frac{\alpha Q}{4\pi\tau^2\nu} e^{-\frac{\tau}{\tau_0\nu}}.$$

Если дочерний молекула имеет время жизни τ , то простой расчет дает ее концентрацию

$$n(\tau) = \frac{\alpha Q}{4\pi\tau^2\nu} \frac{e^{-\frac{\tau}{\tau_0\nu}} - e^{-\frac{\tau}{\tau\nu}}}{\frac{\tau_0}{\tau} - 1}.$$

Более сложные соотношения такого типа можно получить для дальнейших продуктов распада.

Определение количества излучающего вещества производится по его излучательным факторам, некоторые из них приведены в табл. 7.

Таблица 7

Вещество	H	O	N	C	S	Fe	Al	Ca	Na	Ni	Cr	Mn	
$\lambda (\text{\AA})$	1216	1304	1200	1657	1810	3859	3962	4227	5893	3770/91	4254	4031	
g_{Φ} , квант/с	5-3	5-7	4-6	1,1-5	-	1,4-2	4-2	0,31	0,88	4-2	4-2	4-2	
Вещество	T_e	κ	Co	Sc	Cu	Li	Sr	Ca^+	T_e^+	Sc^+			
$\lambda (\text{\AA})$	5193/5210	7699	3527	4022	3248/74	6708	4607	3933	3349/61	3614/31			
g_{Φ} , квант/с	7,5-2	1,93	1,6-2	0,8	0,1	8,7	0,81	0,27	0,06	0,1			
Вещество	CO	CS	OH	NO	CN	NH	CN	Se	N_e^+	CO^+	CO^+		
$\lambda (\text{\AA})$	1510	2600	3090	2149	3880	3360	4314	3271	3914	4264	2190		
g_{Φ} , квант/с	8-8	-	1,2-3	3-6	7-2	6-3	3-2	4-3	4-2	1,3-3	1,2-4		
Вещество	CO_2^+		H_2O^+										
$\lambda (\text{\AA})$	2890		7024										
g_{Φ} , квант/с	3-3		0,22										

Спектр рассеяния пыли

Согласно теории рассеяния света аэрозольными частицами, спектр и поляризация рассеянного излучения при том или ином угле фазы связан с распределением частиц по размерам и со спектральной зависимостью показателя преломления и поглощения. Наземные наблюдения при различных углах фазы возможны только для разных положений кометы на орбите, когда характеристики кометы существенно неодинаковы. Наблюдения с пролетного аппарата устраниют эту трудность и дают возможность проведения измерений в широком интервале углов фазы. Совокупность спектральных и поляризационных измерений в составе прибора позволяет определить основные характеристики аэрозольной компоненты в различных областях кометы.

Спектр ядра и/или околоядерной области

Возможность наблюдения ядра кометы определяется количеством пыли в околоядерной области. Если ее оптическая толщина меньше единицы, то ядро должно вносить вклад в яркость околоядерной области. При шаге сканирующего устройства $8'$ (25 см) на расстоянии пролета 10^4 км этот вклад может быть обнаружен. Полученный спектр ядра вряд ли даст возможность отождествления его состава, но будет получена важная дополнительная информация в решении этой проблемы.

Таблица 8

Параметр	УФ	В	ИК	П
Область спектра, нм	120-290	280-700	900-1800	560 ± 920
Разрешающая способность, $\lambda/\Delta\lambda$	100	100	70	70
Порог чувствительности для однократного измерения, релей	200	200	$\sim 10^8$	$\sim 10^5$
Размер поля зрения при расстоянии 10^4 км, km^2	75x3	75x3	300x30	300x30

Спектр первичных газов

Можно привести ряд доводов в пользу существования в составе кометных ядер льдов H_2O , CO_2 , CO , CH_2O , H_2N^+ , CH_3CN , N_2H_4 , C_2 , H_2 , C_4H_2 , CS_2 , CH_4 , NH_3 и т.д. И только молекулы CO были обнаружены спектроскопически. Поэтому обнаружение тех или иных родительских газов является важной и нерешенной проблемой. В обсуждаемом эксперименте предполагается ее решение с помощью спектра флуоресценции в ближней инфракрасной области, где возможно колебательное возбуждение первичных молекул. Наилучшие возможности открываются для воды, ожидаемое газоизделение которой составляет $2 \cdot 10^{29} \text{ c}^{-1}$. Расчеты дают излучательный фактор полосы $1,38 \text{ мкм}$ $\beta = 10^{-5} \text{ c}^{-1}$, ее интенсивность при $\gamma \approx 50 \text{ км}$ оказывается равной $1 MR$, что соответствует порогу чувствительности прибора при однократном измерении. При многократных измерениях можно рассчитывать на дальнейшее улучшение порога чувствительности на порядок величин, что не исключает обнаружение некоторых других родительских молекул.

Состав и основные характеристики прибора

Прибор состоит из телескопа со сканирующим устройством и трех спектральных каналов (см. табл. 8): ультрафиолетового (УФ), видимого (В) и инфракрасного (ИК). Конструкция инфракрасного канала предусматривает проведение поляризационных измерений (П) в двух длинах волн, а также включает систему регистрации малых колебаний оптической оси прибора.

Сканирующее устройство обеспечивает последовательность измерений в кадре размером $2 \times 1,5^\circ$ ($350 \times 250 \text{ км}^2$ при $\gamma \approx 10^4 \text{ км}$). В этом кадре имеются 7 строк и 15 позиций в каждой строке. Интервалы между строками $20'$, между позициями в строке $8'$. Время прове-

дения цикла измерений в одной позиции 5 с, время снятия полного кадра 8 мин 45 с.

Прибор представляет собой моноблок массой 14 кг.

Устройство прибора (рис.34)

Телескоп и сканирующее устройство

Телескоп представляет собой комбинацию параболического и гиперболического зеркал, по схеме Кассегрена. Его эффективный диаметр 100 мм, фокусное расстояние 350 мм, диаметр вторичного зеркала 43 мм, расстояние между зеркалами 112 мм. Защитная система (бленда) препятствует возникновению паразитной внеосевой засветки прибора. Зеркала покрыты слоями алюминия и фторида магния, они обеспечивают коэффициент отражения $\sim 50\%$ на 130 нм. Во избежание загрязнения оптики бленда телескопа снабжена защитной крышкой одноразового действия, которая будет открыта после последней коррекции траектории аппарата. Двухкоординатное сканирующее устройство обеспечивает малые повороты вторичного зеркала по двум осям. Для этой цели используется шаговый двигатель и миниатюрный кулачковый механизм. На держателе вторичного зеркала укреплена контрольная лампа для проверки функционирования прибора и контроля его чувствительности.

В фокальной плоскости телескопа находятся три щели с двумя поворотными зеркалами, которые направляют световые пучки к трем каналам прибора.

УФ и видимый каналы

Устройство этих каналов аналогично, и они расположены симметрично относительно оси прибора. Оптика каждого канала включает вогнутую голограммическую дифракционную решетку, которая строит на фотокатоде приемника разложенное в спектр изображение входной щели прибора. Для уменьшения габаритов прибора использованы плоские поворотные зеркала, не показанные на рис. 34.

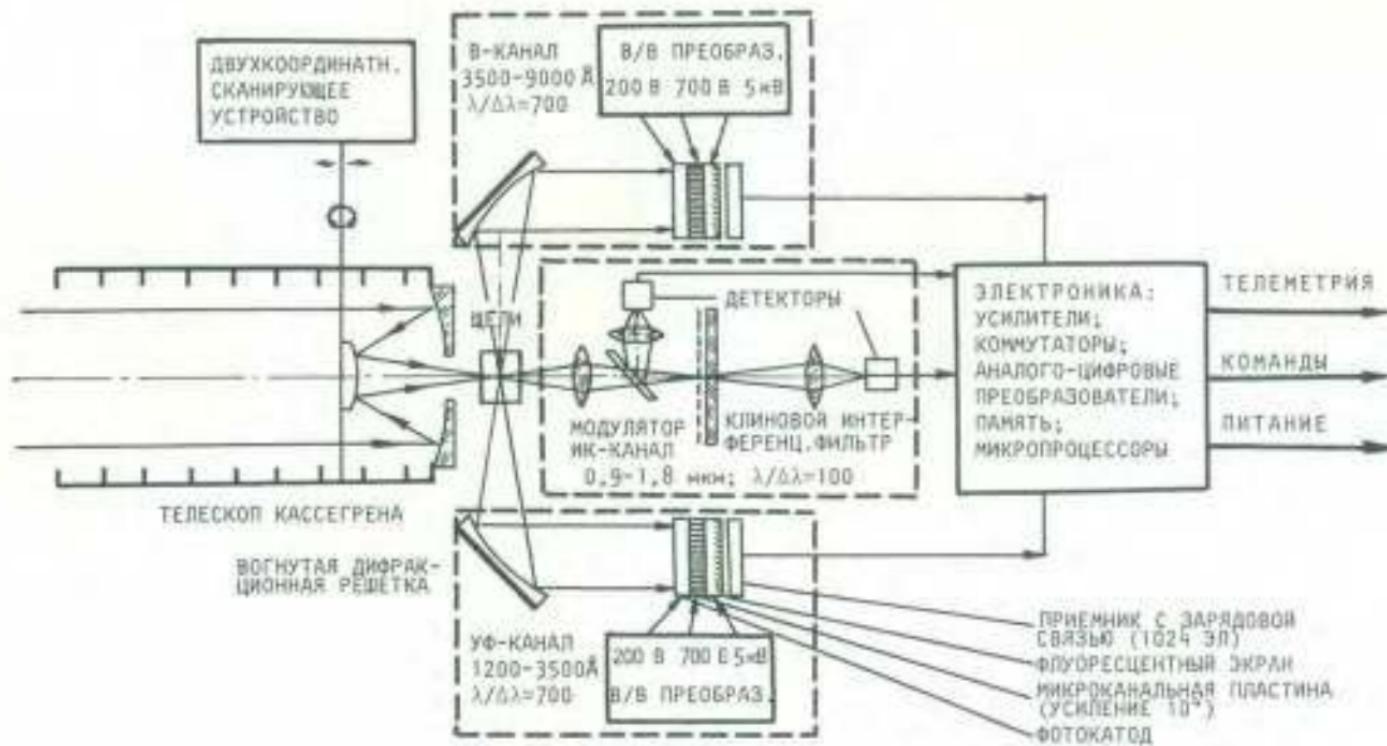


РИС. 34.

Фототок, возникший в каждом участке фотокатода приемника, усиливается в $\sim 10^4$ раз с помощью микроканальной пластины. Микроканальная пластина представляет собой набор очень малых (характерный размер 10 мкм \times 1 мм) электронных умножителей. На ее выходе электроны ускоряются электрическим полем до энергий в несколько килозавтровольт и затем возбуждают свечение люминесцентного экрана. Это свечение передается посредством волоконной оптики на линейный приемник с зарядовой связью (ПЭС), состоящий из 1024 элементов. Каждому элементу соответствует определенная длина волны в спектре. Сигнал от каждого элемента усиливается, измеряется и записывается в виде числа в определенной ячейке памяти. Каждый цикл измерений длительностью 5 с включает запись девяти спектров длительностью 0,4 с каждый. Первый спектр используется для выбора одного из четырех значений коэффициента усиления микроканальной пластины, которые отличаются примерно в 10 раз, восемь спектров суммируются для повышения чувствительности прибора. В оставшееся время производится вывод телеметрической информации с прибора.

Для расширения динамического диапазона видимого канала и предотвращения насыщения детектора используется нейтральный фильтр с пропусканием 1%, ввод которого осуществляется по команде от интегрального ИК-канала.

Инфракрасный канал и поляризационное устройство

Эти узлы прибора используют клиновый переменный интерференционный фильтр, в котором каждому направлению радиуса и, следовательно, каждому углу поворота соответствует определенная длина волны, в которой фильтр прозрачен. Следовательно, при вращении фильтра происходит развертка спектра излучения. Две секции фильтра заняты постоянными фильтрами на длины волн 570 и 920 нм. Каждый из них разбит на три десятиградусные зоны,

которые снабжены поляроидами с разным направлением поляризации. Таким образом осуществляются поляризационные измерения в приборе.

Часть отраженного переменным фильтром света улавливается с помощью дополнительных линз и фотоприемника для контроля полного (интегрального) излучения в ближней ИК-области. Оно должно быть пропорционально количеству пыли, т.е. приближенно обратно пропорционально квадрату расстояния оптической оси прибора от ядра кометы. Поэтому измерения в интегральном канале позволяют регистрировать малые смещения оптической оси, которые очень важны при интерпретации данных наблюдений.

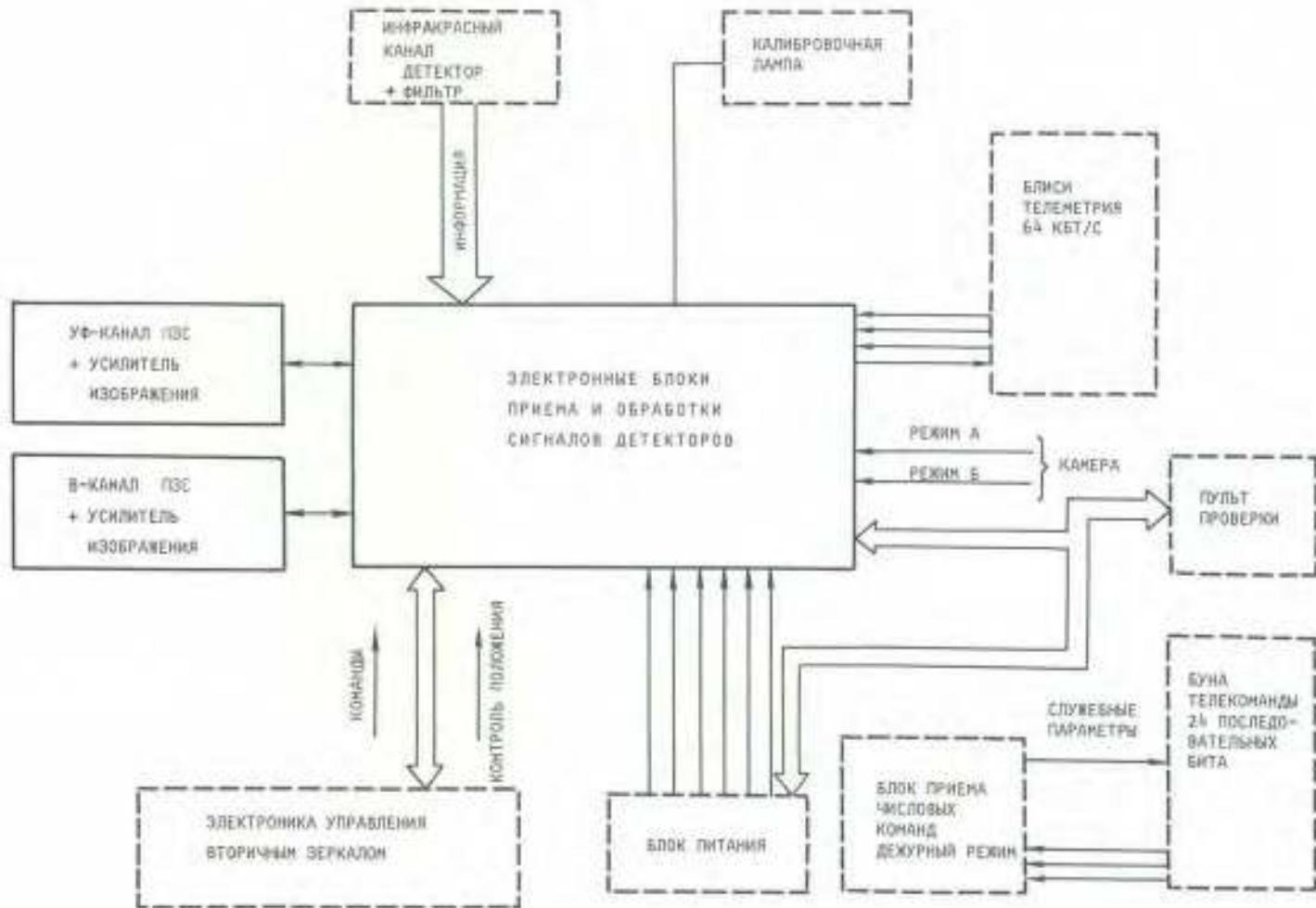
Каждая из указанных на рис. 34 линз соответствует двухкомпонентной системе, они предназначены для обеспечения наилучшего сбора света на приемники (германевые фотодиоды).

Обнаружительная способность квантовых приемников излучения пропорциональна $e^{\frac{hv}{kT}}$, поэтому в ИК-области спектра она на много порядков величины ниже, чем в видимом и ультрафиолетовом диапазоне.

Электроника и вспомогательные системы

Общая схема электронных блоков прибора показана на рис. 35. Поскольку основной объем информации поступает с УФ-и В-каналов, то информация с ИК-канала и вспомогательных систем вводится в соответствующие блоки, формирующие информацию с УФ-и В-каналов. Ряд вспомогательных электронных систем (питание прибора, прием команд, контроль температуры и терморегулирование, контроль чувствительности) также показан на рис. 35.

Рис.36 представляет схематический разрез прибора, рис.37 - его фотографии с некоторыми снятными крышками.



JMC-35

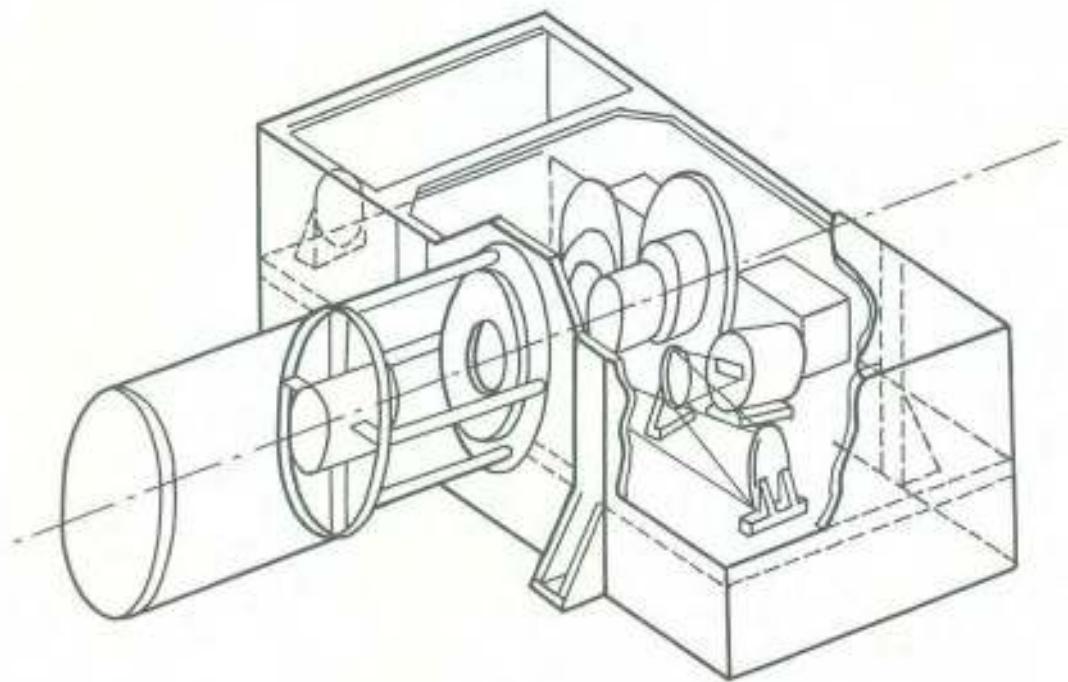


FIG. 36.



FIG. 37.

Контрольно-проверочная аппаратура

Разработано три вида контрольно-проверочной аппаратуры:

- система *ESET* на базе миникомпьютера, которая позволяет осуществить графический, визуальный и цифровой вывод информации с прибора и включает имитатор излучения (ртутную лампу с диффузно-отражающим экраном);
- контрольно-испытательная аппаратура ТКС (КИА - ТКС), которая позволяет осуществить последовательный контроль любого параметра прибора;
- пульт проверки ИК-канала ТКС (ПП - ИК - ТКС), который позволяет осуществить последовательный контроль любого параметра советской части прибора до установки узлов и блоков болгарского и французского изготовления.

Прибор разработан и изготовлен специалистами НРБ, СССР и Франции.

I.5. ПЫЛЕУДАРНЫЙ МАСС-АНАЛИЗАТОР ПУМА

Задача пылеударного масс-анализатора (ПУМА) - исследование элементного состава, размера и концентрации пылинок в хвосте кометы Галлея. Новизна эксперимента в том, что это первое прямоконтактное измерение физических и химических свойств кометной пыли.

К настоящему времени все данные о составе пылевых частиц получены из спектроскопических наблюдений в видимом и инфракрасном диапазонах. Эти измерения дают ценную астрофизическую информацию о скорости образования, размере и скорости движения пылевых частиц. Но результаты, полученные с помощью этих методов, зависят от принятых в расчетах допущений о концентрации и составе частиц. Поэтому знание элементного состава, концентра-

ции, размера частиц, полученное прямым измерением, значительно уточнит картину явлений в ядре и хвосте кометы. Особый интерес для выяснения происхождения пыли представляет возможность измерения содержания малых составляющих, например, Li и изотопных соотношений $^{7}Li/^{6}Li$, $^{12}C/^{13}C$, $^{11}B/^{10}B$. Эксперимент также дает информацию о следах более сложных молекул.

Прямая информация о пылевых кометных частицах может быть получена в экспериментах с регистрацией ударов и последующим исследованием их элементного состава. В приборе ПУМА эта задача решается путем анализа ионного состава плазмы, образующейся при столкновении пылевой частицы (скорость ее 80 км/с) с мишенью.

Предполагается осуществлять анализ времепролетным методом, основанным на различии во времени пролета базового расстояния ионами разных масс, но одинаковой энергии. Измерение этого времени позволяет определить массу ионов. Успешное применение метода для регистрации пылевых частиц определяется тем обстоятельством, что время образования плазменных структур при высокоскоростном ударе мало ($\sim 10^{-9} - 10^{-8}$ с), а время пролета ионов от мишени до коллектора значительно больше, и для реальных размеров прибора оно составляет $4 \cdot 10^{-6} - 40 \cdot 10^{-6}$ с (ионы $^{1}H^+$ и $^{113}Ag^+$, соответственно).

Схема анализатора ПУМА и диаграмма токов на электродах представлена на рис. 38А,Б. Высокоскоростной удар приводит к ионизации атомов пыли и мишени М. При этом из-за наличия возбужденных атомов и ионов возникает световая вспышка. Образовавшиеся ионы вытягиваются сеткой 1 (потенциал мишени +1020 В, сетки 1 - 2000 В, сетки 2 - 0 В), затем движутся в дрейфовом промежутке 4, отражаются в электростатическом зеркале - рефлекторе 5, попадают во второй дрейфовый промежуток 6 и на коллектор 7 (вторичный электронный умножитель ВЭУ). Для фокусировки ионов используют

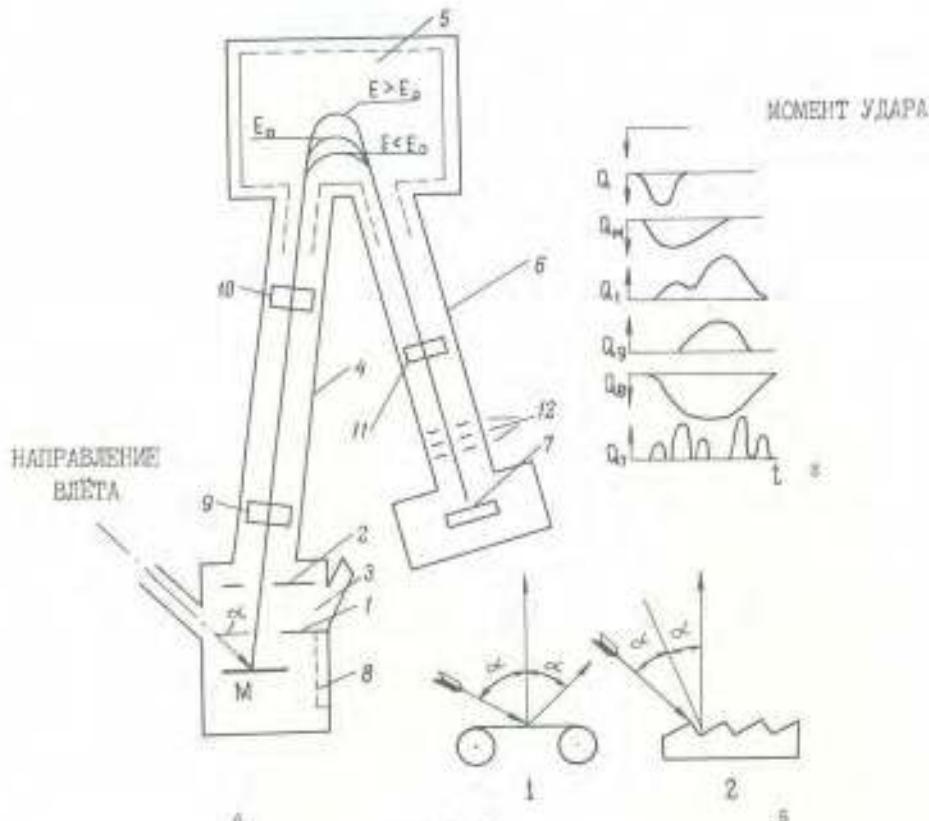


РИС. 38.

ся электростатические линзы 9, 10, 11. Рефлектор 5 и сеточный блок 12 (три сетки: наружные имеют потенциал корпуса, потенциал внутренней + 1000 В) используются для временной фокусировки ионов одной массы на коллекторе (обеспечение одновременности прихода на коллектор). Для того чтобы точно определить время пролета ионов от мишени до коллектора, необходимо обеспечить надежный сигнал о моменте удара пылевой частицы. Формирование этого сигнала старта осуществляется с использованием техники совпадений сигналов от мишени, ускоряющей сетки I и световой вспышки (фотоэлектронный умножитель ФЭУ 3). Амплитуда сигналов с тех же электродов, первой линзы и улавливающей сетки 8 определяется общим числом образовавшихся ионов и характеризует массу пылевой частицы.

Разрешение и динамический диапазон времепролетного масс-спектрометра (способность регистрации расположенных рядом массовых пиков с разными амплитудами) определяются неодновременностью прихода ионов одной массы на коллектор из-за разброса в энергии. Согласно теоретическим и экспериментальным данным, энергетический разброс зависит от массы частицы и возрастает для "больших" частиц. Поэтому для регистрации пылинок с "большими" и "малыми" массами выбрано две моды работы анализатора (переход от одной моды к другой происходит каждые 30 с).

1) диапазон масс $10^{-16} - 10^{-14}$ г (общее число ионов, образовавшихся на мишени, $\sim 10^4 - 10^5$). Ионы имеют энергетический разброс $\sim 10 - 20$ эВ. Временная фокусировка осуществляется здесь рефлектором (см.рис.38).

Принципы работы рефлектора показаны на рис.38,а. При отражении в зеркале ионы с большей энергией (средняя энергия ионов E_0 определена потенциалом мишени) имеют соответственно большую длину пути, и, следовательно, большее время пролета. С другой стороны, в пространстве дрейфа (4,6) эти ионы имеют меньшее время пролета. Это дает возможность путем подбора формы поля в рефлекторе добиться того, чтобы "быстрые" и "медленные" ионы прибывали на коллектор практически одновременно (временной разброс порядка времени старта), и получить высокое массовое разрешение. Потенциалы электродов прибора в этом режиме: мишень +1020 В; рефлектор +1100 В, задерживающая сетка +1000 В.

2) диапазон масс $10^{-14} - 10^{-10}$ г (число ионов $10^7 - 10^{11}$), энергетический разброс достигает 800 - 1000 эВ. В этом случае потенциал рефлектора и сетки устанавливается равным +1000 В. Ионы с энергией, большей 1020 эВ, гибнут на рефлекторе (эта энергия определяется геометрией прибора), а ионы с энергией, меньшей 1000 эВ, отсекаются задерживающей сеткой I2. Коллектора достигают ионы с малым энергетическим разбросом

(~ 20 эВ), которые " сфокусированы " полем рефлектора.

Таким образом, прибор ПУМА позволяет определить элементный состав (по времени пролета), массу пылевой частицы по амплитуде сигналов с электродов и частоту ударов (концентрацию).

Конструкт вно прибор ПУМА состоит из трех блоков: датчика, блока обработки, блока питания и управления. Блок обработки представляет собой микропроцессор, который содержит в памяти несколько программ работы прибора и производит первоначальную обработку данных для передачи на Землю. Блок питания и управления вырабатывает высокостабилизированное напряжение питания электронных схем, включает блок обработки, двигатель мишени, разгерметизирует прибор. Прибор датчика включает:

- узел входного патрубка, предназначенного для пропускания пылевых частиц к мишени и защиты от светового излучения Солнца и кометы. Крышка патрубка открывается по команде с Земли за 10 дней до сближения с кометой. До этого момента в блоке датчиков поддерживается постоянный перепад давления 100 торр (выше атмосферного), что сохраняет чистоту внутренней поверхности датчика и мишени;

- мишень, выполненную из атомно-чистого серебра. Для двух летних моделей ПУМА изготовлены разные типы мишеней. Первый тип - плоская мишень из фольги, разбитой на несколько секций, заключенная в кассету (подобную кассете обычного фотоаппарата) (рис.38,51). Второй тип - структурная мишень. Это пластинка серебра с нанесенным на него рельефом (рис.38,52). Такой профиль рельефа выбран для получения максимального выхода ионов в направлении оси анализатора (направление преимущественного вылета ионов близко к зеркальному относительно направления падения пылинки на мишень). Чистота мишени определяется только герметичностью корпуса прибора;

- анализатор с линзами, рефлектором и сеточным блоком;

- детектор ионов (ВЗУ) с автономным питанием и ионным стимулятором для калибровки умножителя в полете (за 5 - 10 дней до подхода к комете). Динамический диапазон 10^6 перекрывается динодным логарифмическим усилителем;
- узел фотоэлектронного умножителя (регистрация световой вспышки с автономным источником питания и усилителем);
- высоковольтные источники питания мишени, рефлектора и сеток;
- усилители сигналов с мишени и сеток с генераторами полетного теста;
- узел переключения и контроля напряжения на рефлекторе для двух режимов работы.

Объем информации, получаемой от прибора, весьма велик, а передача ее на Землю ограничена каналами телеметрии (10000 бит/с). Поэтому в блоке обработки используется специализированный микропроцессор, который производит скатие информации и отбор ударов (событий) с измерением и передачей массового спектра. Технические возможности прибора ПУМА позволят вблизи кометы получить данные о составе $10^3 - 10^4$ частиц в диапазоне масс $3 \cdot 10^{-16} - 5 \cdot 10^{-10}$ г при максимальной частоте получения массовых спектров 12 c^{-1} (ударов 100^{-1}).

Циклограмма работы во время полета прибора следующая: на трассе перелета один раз в два месяца передается контрольная информация о состоянии прибора. За 10 дней до подлета к комете открывается крышка входного патрубка и калибруется ВЗУ. Прибор работает в сеансе "Комета" 3 ч. Для проверки работы прибора в целом и отдельных его блоков разработана контрольно-испытательная аппаратура (КИА), которая позволяет создавать набор имитирующих сигналов, воспроизводящих форму и последовательность сигналов в рабочих условиях.

Калибровка прибора проводилась на установке лазерного моделирования высокоскоростного удара и на ускорителе пыли.

На рис. 39. приведен типичный калибровочный спектр удара по серебряной мишени железной пылинки со скоростью 8 км/с.

Измерения, проводимые на этом ускорителе, дали возможность исследовать работу прибора для случая регистрации "малых" частиц. Лазерное моделирование высокоскоростного удара позволило изучить характеристики прибора при регистрации "больших" частиц и экспериментально проверить эффективность использования тормозящей сетки для увеличения разрешения.



РИС. 39.

По данным этих испытаний, прибор ПУМА обеспечивает диапазон регистрации пыли массой от 10^{-16} до 10^{-10} г. Элементный состав каждой пылинки можно устанавливать с точностью 0,1% при разрешении $R = \frac{M}{\Delta M} = 300$ в массовом диапазоне I - II а.е.м. Масса прибора 19 кг. Энергопотребление 30 Вт. Общий вид прибора представлен на рис. 40. Прибор ПУМА разрабатывался по международной кооперации СССР, ФРГ, Франция.

I.6. МАСС-СПЕКТРОМЕТР НЕЙТРАЛЬНОГО ГАЗА (ИНГ)

Прибор состоит из двух блоков - датчика ИНГ-Д и электронного блока ИНГ-Э, соединенных между собой кабелем. Датчик включает в себя два независимых масс-спектрометра, работающих на

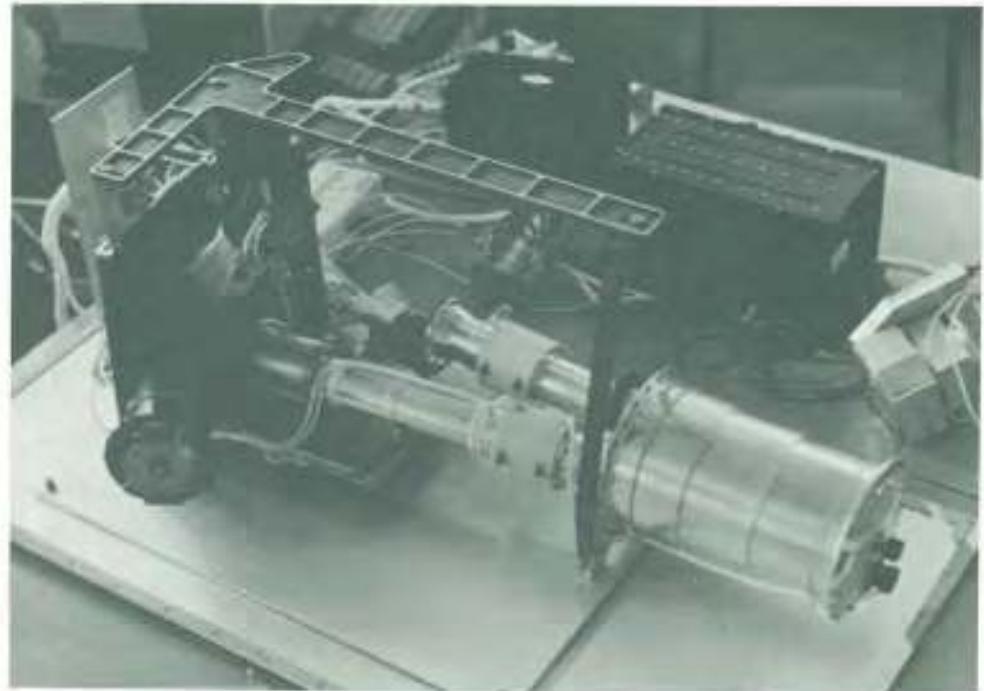


Рис. 40.

разных принципах. Датчик может вращаться в пределах 120° , и по команде с Земли его можно установить в любое угловое положение в этом диапазоне. Вся конструкция датчика смонтирована на неподвижной плоской поворотной платформе. Вращение датчика осуществляется при помощи миниатюрного шагового двигателя.

Цель проведения эксперимента

Целью эксперимента является определение физических и химических процессов, протекающих в атмосфере кометы Галлея на различных расстояниях от ядра, и распределение отдельных компонент нейтрального газа атмосферы кометы.

Несмотря на то что комету Галлея можно назвать "старой", так как она сделала, по крайней мере, 15 оборотов в солнечной системе, бурное выделение ее газа и пыли говорит о том, что она сохра-

няет характер "молодых" комет, у которых обнажены свежие слои материала ядра.

Очевидно, что точные измерения нейтрального состава весьма затруднены большой относительной скоростью космического аппарата и кометы, низкой плотностью отдельных компонент атмосферы кометы и малым временем проведения измерений.

Основные компоненты нейтральной атмосферы кометы

По результатам ряда наблюдений в качестве доминирующей молекулы, контролирующей скорость выделения газа из ядра кометы, считается молекула H_2O (возможная родительская молекула для H и OH). Последующие УФ-наблюдения кометы Котоутека и кометы Веста показали, что, по крайней мере, в атмосферах новых комет могут присутствовать углеродсодержащие молекулы, например CO и CO_2 . Наличие больших количеств CO и CO_2 предполагалось для таких очень активных объектов, как кометы Мерхадзуза и Юмасона. Такое поведение основных компонент показывает, что принятая в настоящее время кальцит-гидратная модель может оказаться сильным упрощением значительно более сложной картины. В соответствии с этой моделью ледяной конгломерат кометы представляет собой смесь $CO \cdot 6H_2O$, $CO_2 \cdot 6H_2O$, $CH_4 \cdot 6H_2O$ и т.д. Выделение газа из ядер комет происходит весьма нерегулярно, об этом свидетельствуют многие динамические эффекты, например, лучи и вариации яркости расширяющихся гало, морфологические структуры кометных пылевых хвостов. Многие эффекты можно объяснить как механическими свойствами поверхностей ядер, так и неоднородным составом. Поэтому весьма важно определить, в какой степени однороден молекулярный состав ядер. Это могло бы прояснить вопрос об условиях на фазе образования этих объектов. Важно также обнаружить менее летучие органические компоненты, обнажающиеся на поверхности в виде зерен и затем измельчающиеся во внутренней коме. Предлагаемый акопе-

римент должен обнаружить эти два фактора, поэтому весьма важно иметь возможность различать сложные органические соединения; сведения о продуктах распада и пространственном распределении ограничивают возможные варианты теорий строения поверхности ядра.

Поскольку ранее в оптических и УФ-наблюдениях измерялись только концентрации атомов H, C и O, а не CO и CO₂, надежные данные об этих молекулах отсутствуют. В результате проведения эксперимента можно получить сведения не только о физико-химической природе атмосферы и ядра кометы, но и о химических и тепловых условиях в солнечной туманности на стадии образования комет. Например, из отношения [CO]/[H₂O] можно получить данные о тепловых условиях в процессе образования комет, если образование молекул и последующая их конденсация в комете происходила в результате взаимодействия газ-пыль.

При расширении атмосферы кометы происходят химические реакции, в результате которых родительские молекулы распадаются на радикалы и атомные фрагменты – осколки (H₂O – на H, O и OH; CO и CO₂ на C и O). На рис. 41 показана модель атмосферы кометы Галлея на расстоянии от Солнца 1 а.е., построенная для фотохимически равновесных условий. Очевидно, что по мере удаления от ядра происходит фрагментация молекул. Эта модель построена в предположении простых родительских молекул; при получении сведений о более сложных родительских молекулах модель необходимо изменить.

В табл. 9 в столбце 1 приведены модельные значения концентраций H₂O, CO, CO₂ и их дочерних атомов на различных расстояниях от ядра. В столбце 2 указано время, необходимое для накопления 100 отсчетов основных компонент состава при предполагаемой чувствительности прибора. Из таблицы видно, что значимые данные можно получить на расстояниях $\sim 5 \cdot 10^5$ км от ядра, т.е. за 3 + 4 ч до встречи с кометой; это позволит изучить физическую структурунейтральной комы и происходящие в ней химические процессы.

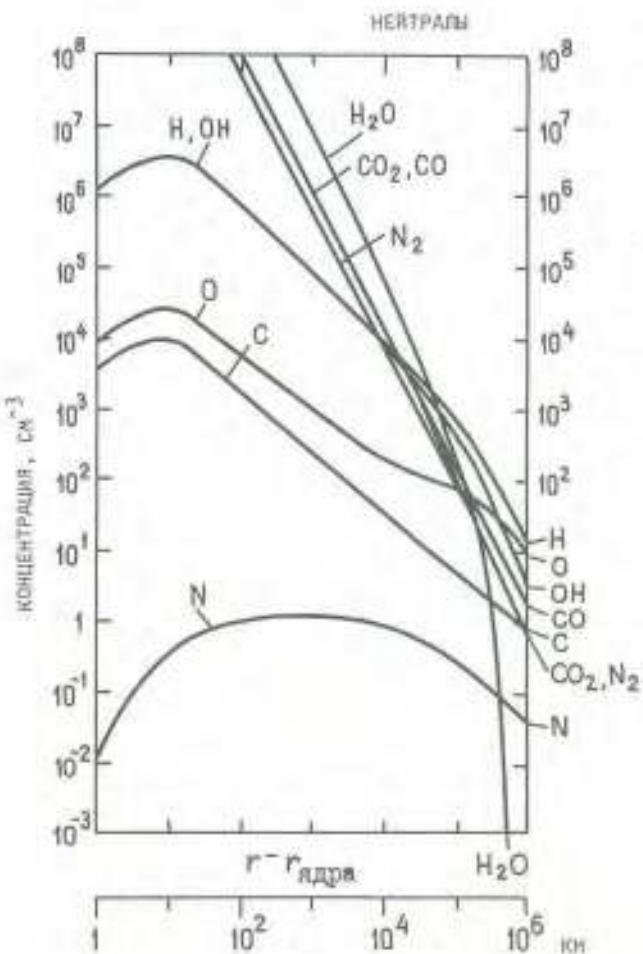


Рис. 41.

Неосновные компоненты нейтральной атмосферы кометы

Молекулы, отличные от H_2O , составляют, по-видимому, $10 \pm 30\%$ и ответственны за специфические химические и астрономические процессы. До проведения УФ-наблюдений отсутствие сведений об основных компонентах (O , OH , C , ...) препятствовало созданию модели атмосферы кометы и получению сведений о родительских молекулах. Развитие модели тормозится отсутствием данных о пространственном распределении основных компонент и о специфических химических реакциях.

Таблица 9

Ожидаемые концентрации основных компонент нейтральной атмосферы и
времена накопления 100 отсчетов
расстояние, км

Атомы, молекулы	Масса, (а.е.и.)	Расстояние, км														
		10^6		3×10^5		10^5		3×10^4		10^4		3×10^3		10^3		
		1	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	1	2
H	I	15	100	1.6×10^2	9	7.9×10^2	1,8	3.2×10^3	0,04	1.0×10^4	<0,01	3.2×10^4	<0,01	1.0×10^5	<0,01	1.0×10^5
C	I2	I	1400	2	700	4	350	15	93	32	44	1.0×10^2	I4	3.0×10^2	5	
O	I6	8	170	32	32	7.9×10^1	18	1.2×10^2	12	2.0×10^2	7	4.0×10^2	3.5×10^3	1.0×10^3	I,4	
OH	I7	2,5	560	79	I8	6.3×10^2	2,2	2.0×10^3	0,7	1.0×10^4	0,14	3.2×10^4	0,04	1.0×10^5	<0,01	
H ₂ O	I8	0	***	6,3	220	3.2×10^2	4,4	5.0×10^3	0,28	7.9×10^4	0,02	1.0×10^6	<0,01	1.0×10^7	<0,01	
CO	I8	I,6	900	2.0×10	70	1.0×10^2	I4	1.3×10^3	I	1.6×10^4	0,1	1.0×10^5	0,01	1.0×10^6	<0,01	
CO ₂	44	I	1400	1.0×10	I40	1.0×10^2	I4	1.3×10^3	I	1.6×10^4	0,1	1.0×10^5	0,01	1.0×10^6	<0,01	
PC ₂ /C ₂ ^k	24-26	0	***	2.7×10^{-3}	***	I,4	I000	6.0×10	23	8.2×10^2	I,7	1.0×10^4	0,14	1.0×10^5	0,014	
PCN/CH ₃ ^k	26-27	0	***	0,13	6000	4,9	290	8.9×10	I6	9.3×10^2	I,5	1.1×10^4	0,14	1.0×10^5	0,014	

* PC₂ – родительская молекула C₂ (по-видимому, C₂H₂)

** PCN – родительская молекула (по-видимому, HCN)

*** – скорость счета прибора недостаточна

Столбец I – концентрация, $\log_{10} (n \text{ см}^{-3})$

Столбец 2 – время накопления (с) для получения 100 отсчетов.

Интерес к неосновным компонентам (CN , C_2 , C_3 , CH , NH , N_2 , CS и др.) объясняется не только тем, что они могут составлять заметную часть атмосферы кометы и представлять родительские молекулы (CH_4 , NH_3 , H_2N , C_2H_2 и др.). Последние наблюдения кометы Галлея в 1910 г. обнаружили много специфических особенностей, например, лучи и гало в коме. Такие явления могут быть связаны с энергетическими химическими процессами (включая взрывные), энергетическим источником которых, по-видимому, является Солнце. Другим возможным объяснением могут быть какие-либо специфические особенности материала ядра или же (неясные в настоящее время) процессы, связанные с неустойчивостью системы газ-пыль-плазма. Поэтому для понимания химических процессов в коме необходимо точное знание количеств всех компонент атмосферы.

Изотопный состав

Определение отношений изотопов $\text{C}^{13}/\text{C}^{12}$ и D/H может подтвердить возможную связь между межзвездным веществом и кометами, образовавшимися на периферии солнечной туманности, и связь между кометами и телами солнечной системы. Несмотря на небольшое различие масс C^{13} и C^{12} , они могут быть разделены прибором ИНГ, если их отношение не менее 10^{-4} . Уверенно будут разделены H_2D и H_2F .

Ионосфера кометы и взаимодействие с солнечным ветром

Результаты измерений прибором ИНГ будут иметь существенное значение для изучения ионосферы кометы, ее структуры и динамического взаимодействия солнечного ветра с атмосферой и ионосферой кометы. В частности, представляет интерес сравнение распределения массы нейтральной комы с положением ударной волны, которая может возникать в результате нагружения солнечного ветра кометными ионами.

Знание параметров нейтральной атмосферы необходимо при изучении процессов, приводящих к образованию сжимающихся слоев (или оболочек), положения контактной поверхности и т.д.

Метод измерения и принцип работы прибора

Прибор состоит из двух независимых систем, отличающихся методом измерений.

Основной системой является *FIS*-система - устройство с ионизацией нейтральных частиц (атомов и молекул) электрическим полем (рис.42,а). Налетающие молекулы газа проходят вблизи кончиков 100 очень острых игл (радиус кривизны острый менее 1 мкм(рис.42,б)), находящихся под потенциалом 50 кВ. Попадающие в область с очень большим градиентом поля молекулы ионизуются.

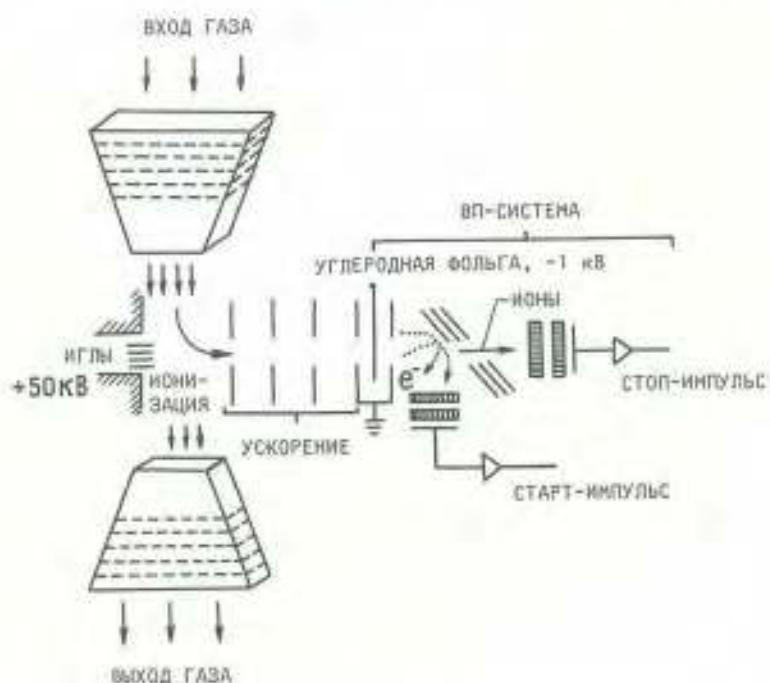


РИС. 42а



РИС. 42б.

Поскольку вероятность кратной ионизации $\leq 10^{-6}$, можно считать, что все образующиеся ионы являются однократно ионизованными. Образовавшиеся ионы ускоряются в направлении, перпендикулярном входному потоку газа, в сторону тонкой углеродной фольги ($0,2 \text{ мкг}/\text{см}^2$). Образующиеся при прохождении через фольгу электроны отклоняются к микротканальной пластине (МКП) и после усиления образуют СТАРТ-импульс для схемы измерения времени пролета. Ионы, прошедшие через фольгу, пролетают дрейфовое пространство (10 см) и после попадания во вторую МКП образуют СТОП-импульс. Разность времени между этими двумя импульсами — время пролета определенного расстояния — является мерой массы анализируемой частицы.

В EIS-системе ионизация нейтральных частиц происходит электронным ударом (рис. 43). Анализ масс происходит в электрическом поле. Ионы различных масс по-разному отклоняются в электрическом поле и попадают в различные места позиционно-чувствительного

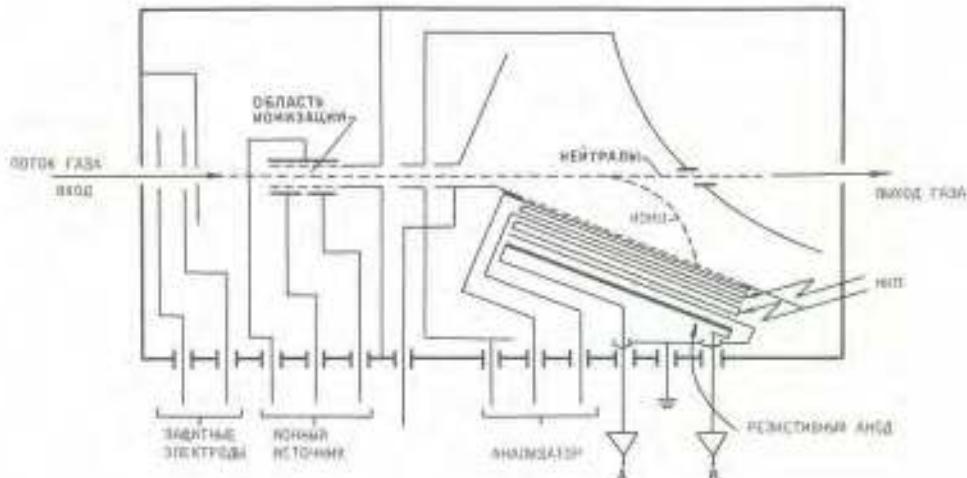


РИС. 43.

коллектора после усиления МКП. Место попадания иона на коллектор определяет массу анализируемой частицы.

Основным достоинством *EIS*-системы является то, что в процессе ионизации молекула не изменяется (в *EIS*-системе после столкновения с электроном анализируемая молекула может распасться, т.е. изменить свое химическое состояние), а недостатком – то, что она с одинаковой эффективностью регистрирует как частицы кометного происхождения ($V \approx 80$ км/с), так и частицы собственной атмосферы космического аппарата (в результате испарения с поверхности КА, газовыделения из прибора, кабелей и т.д.). В *EIS*-системе ионы, образовавшиеся из нейтральных частиц собственной атмосферы КА, задерживаются тормозящим потенциалом.

Сочетание неразрушающего анализа в одной системе и устранение фона окружающих частиц в другой представляет собой уникальную комбинацию, позволяющую определить точный элементный состав атмосферы кометы Галлея.

Основные характеристики

Прибор построен по принципу сквозного пролета – частица на пути внутри прибора не встречает никаких сеток (при ударе с которыми она может измениться сама или выбить из сетки частицы материала сетки).

Прибор обладает чрезвычайно высоким быстродействием: за 1 с производится $\geq 10^4$ анализов частиц.

В отличие от известных времепролетных ударных масс-спектрометров, в которых для начала анализа (СТАРТ-импульс) используется импульс электронного источника, в приборе ИНГ моменты начала и конца пролета мерного отрезка определяются самой анализируемой частицей (СТАРТ – по вылету вторичных электронов при прохождении через тонкую ($0,2 \text{ мкг}/\text{см}^2$) углеродную фольгу, СТОП – по импульсу выходной микроканальной пластины). Это повышает точность измерений.

Чувствительность прибора позволяет проводить измерения нейтральной атмосферы кометы Галлея, начиная с расстояния $\sim 5 \cdot 10^5$ км от ядра.

Чрезвычайно низкий уровень фона скорости счета ($\sim 10^{-5} \text{ с}^{-1}$) в сочетании с высокой чувствительностью позволяет предпринять попытку прямого измерения межзвездного газа.

Прибор способен работать в условиях, когда "сигнал ниже шума", – прибор блокируется на время проведения анализа, а анализируемые частицы выбираются статистически. Это означает, что при скорости счета, например, 10^4 с^{-1} и отношении сигнал/шум, равном 10^{-2} (1% кометных частиц и 99% частиц от собственной атмосферы КА), за 1 с будет измерено 100 полезных (кометных) частиц.

Измеряемые параметры:

- величина потока нейтрального газа – $10^3 + 10^{13} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$;
- потоки отдельных масс

в диапазоне 1–80 а.е.м.– 64 отдельных канала;

- массовые спектры
в диапазоне I=80 а.е.м.;
- изотопный состав для $M = I+24$ а.е.м.
с отношением изотопов $\geq 10^{-4}$.

Технические характеристики

<u><i>ИИС</i></u> -система	- принцип измерения	- ионизация электрическим полем, измерение времени пролета
	- потенциал ионизации	- 50 кВ
	- эффективность по входному потоку	- 10^{-8}
	- диапазон измеряемых	
	масс	I - 80 а.е.м.
	- разрешение по массам:	
	при $M = I + 20$ а.е.м..	$\pm 0,2$ а.е.м.
	при $M > 20$ а.е.м..	± 1 а.е.м.

<u><i>EIS</i></u> -система	- принцип измерения	ионизация электронным ударом, отклонение в электрическом поле
	- эффективность по входно-	
	му потоку	10^{-6}
	- диапазон измеряемых масс	I-28 а.е.м. (два под- диапазона)
	- разрешение по массам. . .	$\pm 0,2$ а.е.м.
Общая масса		7,5 кг
Габариты ИНГ-Д (датчик)		300x295x320 мм
ИНГ-Э (электрический блок)		187x168x165 мм
Энергопотребление		8,5 Вт (макс.)

Общий вид прибора представлен на рис.44.



Рис. 44.

Прибор разработан и изготовлен в ФРГ (Институт аэрономии общества им. М. Планка), с участием специалистов ВНР и СССР.

I.7 • МАГНИТОМЕТР МИША

Научные задачи

В совместном советско-австрийском эксперименте МИША (MISCHA - Magnetic fields in Interplanetary Space during Comet Halley's Approach) измерение магнитных полей осуществляется с помощью магнитометра австрийского производства.

Научные задачи эксперимента: исследование магнитных полей в окрестности кометы Галлея, изучение макроструктуры межпланетных магнитных полей и измерение низкочастотных флюктуаций магнитного поля вдоль траектории полета.

Основная цель магнитного эксперимента - определение роли маг-

нитного поля во взаимодействии солнечного ветра с кометой. До настоящего времени проблема исследовалась только на основе теоретических моделей с использованием данных оптических наблюдений с Земли. Некоторые магнитогидродинамические модели взаимодействия предсказывают существование трех поверхностей разрыва: отошедшая ударная волна, внутренняя ударная волна и контактный разрыв между ними.

Предполагается, что во время пролета космических аппаратов мимо кометы магнитометр обнаружит поверхности разрыва и определит структуру магнитного поля между ними. Согласно теоретическим оценкам, усиление межпланетного магнитного поля перед контактным разрывом (ионопаузой) должно составлять ~ 10 , т.е. на орбите Земли $\sim 50 - 70$ нТл.

Описание магнитометра МИША

Феррозондовый магнитометр МИША представляет собой систему из двух датчиков и одного блока электроники. Вариант такого магнитометра с одним трехкомпонентным датчиком использовался ранее в эксперименте АСМ на космических аппаратах "Венера-13 и -14".

Система из двух датчиков позволяет определить составляющую магнитной помехи, вызванной собственным полем аппарата. В эксперименте МИША эта помеха определяется по компоненте, ориентированной вдоль оси, направленной на Солнце. Две другие компоненты собственного поля аппарата могут быть определены во время закрутки.

Внешний вид магнитометра с датчиками показан на рис. 45, а, б. Для уменьшения влияния магнитного поля аппарата датчики магнитометра установлены на выносной штанге, закрепленной на конце панели солнечной батареи, так что общее расстояние от поверхности аппарата для трехкомпонентного датчика составляет ~ 5 м. В свою очередь, для того чтобы исключить воздействие магнитного поля, создаваемого током солнечной батареи, элементы последней соединены по бифилярной схеме.



а)



РИС. 45.

б

Блок-схема магнитометра представлена на рис. 46 . В аналого- вых блоках магнитометра формируется сигнал, амплитуда и фаза которого зависят от величины и направления внешнего магнитного поля. После фильтрации этот сигнал преобразуется в цифровую величину. В центральном процессоре происходит сбор и предварительная обработка данных перед выдачей на буферную память магнитометра и затем на бортовую телеметрию (рис.47).

Основные метрологические и технические характеристики магнитометра:

- диапазон измерений (по каждой из четырех компонент)	± 100 нТл
- разрешение	0,05 нТл
- уровень шумов	$0,01$ нТл Гц $^{-1/2}$
- дрейф нуля	± 1 нТл/месяц
- верхняя частота	10 Гц
- частота опроса (внутри магнитометра)	20 Гц



РИС. 46.

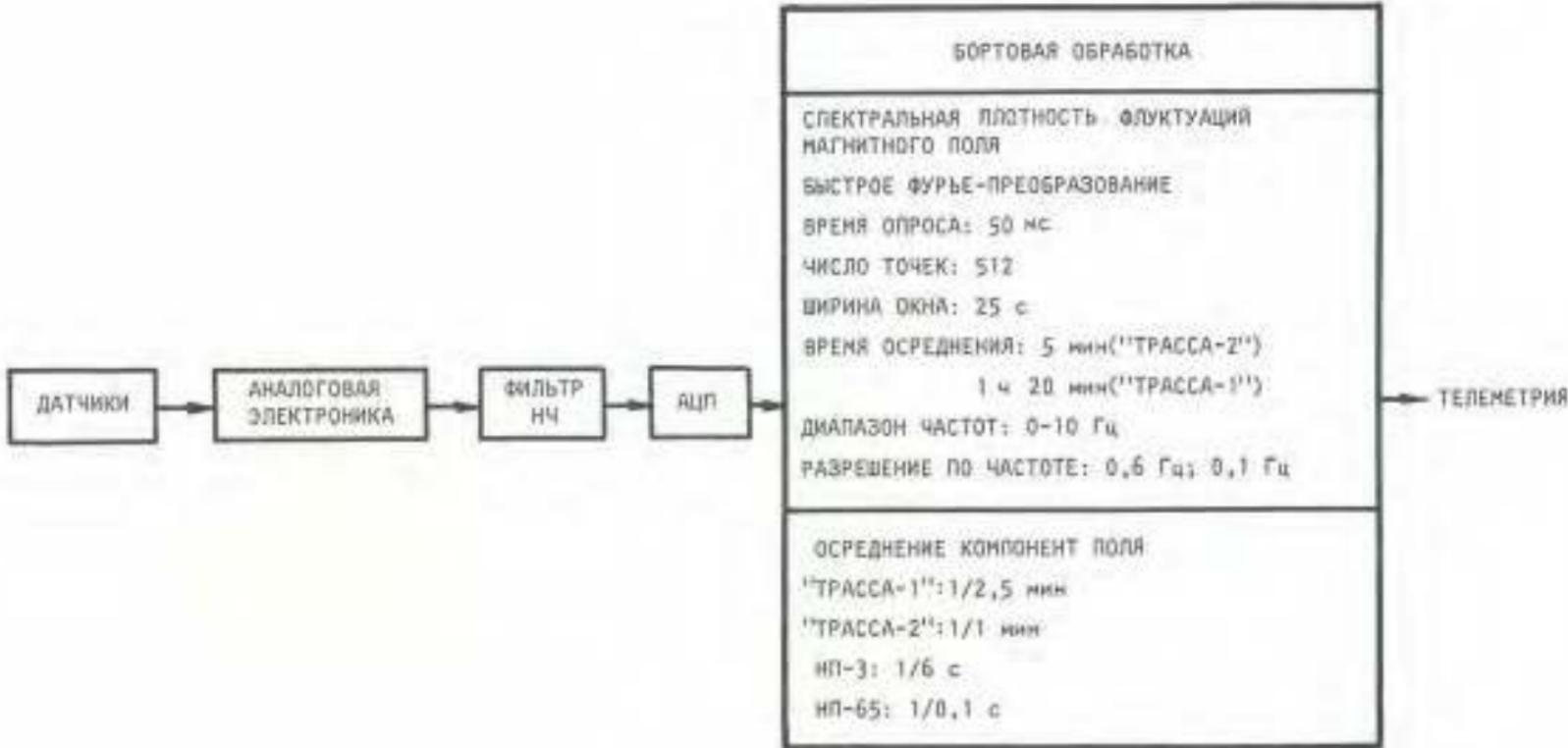


РИС. 47.

- режим работы:... ТРАССА 1: I измерение 4 компонент поля в 2,5 мин; полный спектр низкочастотных колебаний - I раз в I ч 20 мин.
 - ТРАССА 2: I измерение 4 компонент поля в I мин, один спектр в 5 мин.
 - III-3: I измерение 4 компонент поля в 6 с, один спектр в 1,5 мин.
 - III-65: I измерение 3 компонент поля в 0,1 с, один спектр в 25 с
- потребляемая мощность 5,5 Вт
- масса: датчики с кабелем..... 1 кг
блок электроники 2 кг.

Поскольку скорость передачи данных во время полета космического аппарата по трассе Земля-Венера-комета довольно низка (512 и 2048 бит в 20 мин), то это позволяет передавать колебания поля только на очень низких частотах - ниже 0,01 Гц. Для передачи информации о более высоких частотах в магнитометре применяется спектральный анализ с использованием быстрого Фурье-преобразования.

1.8. СПЕКТРОМЕТР КОМЕТНОЙ ПЛАЗМЫ "ПЛАЗМАГ-1" (ПМ-1)

Пролет космического аппарата "Венера-Галлея" вблизи кометы Галлея позволяет изучить распределение локальных характеристик вдоль орбиты КА, которое не может быть осуществлено измерением электромагнитных волн, излучаемых кометой. Ниже дается краткое описание аппаратуры для измерения "холодной" плазмы (с энергиями частиц ≤ 25 кэВ). Аппаратура создается с целью получения ответов на следующие основные вопросы:

- как изменяются параметры солнечного ветра при его приближении к комете;

- существует ли околокометная ударная волна в солнечном ветре, и если существует, то где она расположена и как меняются параметры плазмы солнечного ветра на фронте ударной волны;
- где расположена "контактная поверхность" (граница ионосферы кометы) и какова концентрация и химический состав ионов в ионосфере кометы;
- каков химический состав ионов, образуемых в результате диссипации кометных нейтральных частиц за пределы контактной поверхности (и даже за пределы ударной волны) и их ионизации УФ-излучением Солнца.

Существующие представления об околопланетной ударной волне достаточно противоречивы: есть мнение, что благодаря постепенному замедлению солнечного ветра при приближении его к комете, из-за захваченных фотопареном кометного происхождения ударная волна около кометы может отсутствовать. Неоднозначны представления о положении контактной поверхности. Параметры кометной ионосферы также мало известны. Мы также не знаем еще, каким будет минимальное расстояние от ядра кометы, на котором будут проводиться измерения. Поэтому от приборов требуется максимальная чувствительность и максимально допустимый динамический диапазон измеряемых параметров для изучения всех структурных областей околокометного пространства, независимо от того, какая из существующих моделей околокометной плазмы наиболее близка к истинной.

Состав аппаратуры

Аппаратура "ПЛАЗМАГ-Г" включает в себя следующие плазменные чувствительные элементы:

- энергоанализатор потоков ионов, ориентированный в направлении на Солнце, предназначенный для энергоанализа потоков ионов в диапазоне энергий от 50 эВ до 25 кэВ;
- энергоанализатор потоков ионов, ориентированный по вектору скорости аппарата относительно кометы, предназначенный для энергети-

ческого (массового) анализа направленных потоков кометных ионов в диапазоне энергий от 15 эВ до 3,5 кэВ (что соответствует диапазону масс от 1 до 100 а.е.м.);

- энергоанализатор электронов, ориентированный перпендикулярно направлению на Солнце, предназначенный для энергоанализа потоков электронов в диапазоне энергий от 3 эВ до 10 кэВ;
- два интегральных ионных датчика, ориентированные один - по вектору скорости космического аппарата относительно кометы и другой - в направлении на Солнце, датчики предназначены для регистрации полного потока ионов кометного происхождения и потока ионов, идущих от Солнца, соответственно, один интегральный датчик, ориентированный по вектору скорости, предназначенный для измерения нейтральных и пылевых частиц.

Выбор параметров аппаратуры

Как уже отмечалось, плазменная аппаратура предназначена для проведения измерений, начиная с невозмущенного солнечного ветра, и, по мере приближения к комете, во всех характерных областях околосолнечного пространства (по обе стороны фронта ударной волны, в области обтекания кометы солнечным ветром, по обе стороны контактной поверхности, в ионосфере кометы). Для ионного электростатического анализатора, направленного по вектору скорости космического аппарата относительно кометы, была принята минимальная измеримая концентрация 10^{-3} см^{-3} .

По оценкам, температура ионов околосолнечной плазмы составляет $10^3 - 10^4 \text{ K}$, т.е. $E = 0,1 \div 1 \text{ эВ}$, что во много раз меньше энергии ионов, соответствующей направленной скорости относительно КА (для ионов водорода $E \approx 32 \text{ эВ}$). Поэтому измерения массового состава околосолнечной плазмы внутри контактной поверхности можно проводить с помощью энергоспектрометра, служившего напорным масс-спектрометром с энергетическим разрешением 4 - 5%, что соответствует $M/\Delta M = 20 \div 25$. При $E = 3500 \text{ эВ}$ максимальная масса составляет

110 а.е.м. Время измерения одного массового спектра (120 точек) составляет 1 с, что соответствует пространственному разрешению 80 км. Эта величина на порядок меньше ожидаемой характерной величины неоднородностей плазмы в околокометной области. Энергетический диапазон этого энергоанализатора ионов - от 15 до 3500 эВ.

Энергоанализатор, ориентированный на Солнце, имеет энергетический диапазон от 50 эВ до 25 кэВ. Он должен регистрировать ионы солнечного ветра до и после околокометной ударной волны. Угловая диаграмма этого анализатора расширена до $\pm 15^\circ$ во всех плоскостях. Поэтому он вместе с прибором "Тонде", низкий порог энергий в котором ~ 30 кэВ, позволит регистрировать ионы, идущие приблизительно от Солнца начиная с низких (50 эВ) до очень высоких энергий (500 кэВ и более).

Энергоанализатор электронов ориентирован перпендикулярно направлению на Солнце. Он предназначен для регистрации электронов солнечного ветра до и после околокометной ударной волны. Измерение энергичных электронов внутри ионосферы кометы может внести некоторую ясность в проблему аномальной ионизации кометных частиц.

Цикл измерения энергетического спектра в каждом из трех одиннадцати спектрометров составляет 1 с. В комплекс "ПЛАЗМА-1" также входят два интегральных многоэлектродных плазменных детектора и один одноэлектродный детектор нейтральных и пылевых частиц (коллектор с потенциалом 17 В), регистрирующих интегральные потоки частиц, без их анализа по энергии. Один из них предназначен для регистрации потоков ионов и направлен на Солнце; два других ориентированы вдоль вектора скорости КА относительно кометы.

Устройство спектрометров

Электронный энергоспектрометр

Принципиальная схема электронного анализатора приведена на рис. 48 . Устройство включает в себя 120-градусную цилиндричес-

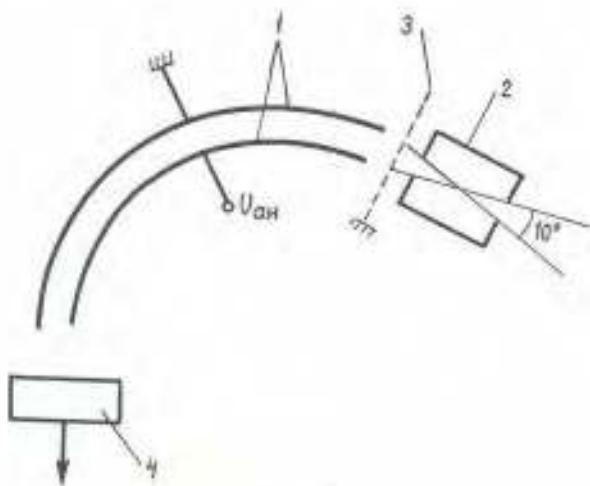


РИС. 48.

куй отклоняющую систему, на которую каждую секунду подается серия из 30-ти анализирующих потенциалов, распределенных по экспоненциальному закону. Входная площадь анализатора составляет $0,03 \text{ см}^2$, средний радиус кривизны 50 мм , коэффициент выигрыша по энергии $E/eU = \frac{1}{2\ell_{R_1} R_2/R_1} = 10(R_1 R_2)$ (радиусы внутренней и внешней отклоняющих пластин). При таких параметрах угловое и энергетическое разрешение по проведенным расчетам составляет соответственно $\pm 2,5^\circ$ и $\pm 5\%$, энергогеометрический фактор $1 \cdot 10^{-5} \text{ Е}(\text{см}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{кВ})$.

Вход прибора ориентирован под углом 90° относительно направления на Солнце и вектора $V_{\text{КА}}$. Это предотвращает попадание на спектрометр как солнечного УФ-излучения, так и пылевых и нейтральных частиц от кометы.

В качестве детектора используется вторичный электронный умножитель канального типа с растробом на входе.

Для обеспечения высокого динамического диапазона измерений (это необходимо особенно, если КА подойдет близко к ядру кометы, где концентрация плазмы ожидается высокой, 10^5 см^{-3}) введен дополнительный режим измерений с чувствительностью на два порядка ниже

основного. В этом режиме прибор работает в каждые 4 с в течение 0,5 с только при измерении электронов с энергией до 30 эВ.

Ионные спектрометры

Для измерений ионной компоненты плазмы используются два идентичных работающих одновременно спектрометра, ориентированных — один по вектору скорости V_{KA} , а другой — в направлении на Солнце. Условия проведения эксперимента, а именно, трехосная стабилизация КА, весовые ограничения плазменной аппаратуры, требования быстрого измерения полного спектра (1 с), вынуждают отказаться от трехмерной функции распределения ионов по скоростям и ограничиться изучением их энергетических распределений. При этом, учитывая трехосную стабилизацию КА, чтобы избежать неточностей в показаниях приборов за счет aberrационных углов, было необходимо существенно расширить угловые апертуры ионных спектрометров.

Схема ионного спектрометра изображена на рис. 49. Каждый спектрометр представляет собой полусферический электростатический

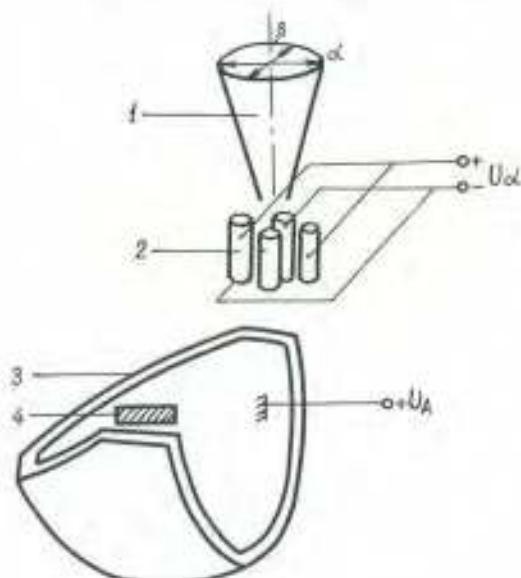


Рис. 49.

анализатор, на входе которого установлена квадрупольная электростатическая линза. Средний радиус кривизны сферических электродов $R_{ср} = 36,25$ мм, зазор между электродами $\Delta R = 2,5$ мм. Параметры анализатора и электростатической линзы подобраны так, чтобы их коэффициенты по энергии E/eU совпадали и были равны 8. Особенность сферического анализатора является его "ножевая" угловая апертура при малом входном окне. Это позволяет использовать такой режим работы линзы, при котором его коэффициенты расширения угловой характеристики различны в разных направлениях - в одном ~ 7 , а в другом ~ 1 . Поэтому общая величина снижения чувствительности прибора к направленному потоку частиц за счет расширения его угловой апертуры составляет небольшую величину ~ 7 . Энергетический анализ потоков ионов осуществляется подачей на внешний электрод анализатора серии положительных напряжений. В самом быстром режиме (вблизи кометы) на солнечный спектрометр подаются 60 уровней напряжений в течение 1 с, а на спектрометр холодной плазмы - за 1 с 120 уровней. Причем в последнем случае 120 уровней перекрывают без зазора весь динамический диапазон измерений по энергии от 15 до 3500 эВ. Таким образом, гарантируются измерения любой массы в диапазоне от 1 до 100 а.е.м. Для солнечного спектрометра 60 уровней распределяются по диапазону 50 эВ - 25 кэВ равномерно в логарифмическом масштабе.

Каждый спектрометр снабжен своим калибровочным устройством с тритиевым источником электронов. Калибровка умножителей проводится периодически один раз в сутки. В зависимости от результатов калибровки по внешней команде можно изменять напряжение на каналотронах.

Интегральные плазменные детекторы

На рис.50 показано принципиальное устройство многоалектродного интегрального плазменного детектора. Он состоит из корпуса,

коллектора, коллиматора и ряда электродов (сеток)-супрессорных для уменьшения влияния на показания прибора вторичных и фотоалектронов с коллектора, экранных и запирающего,

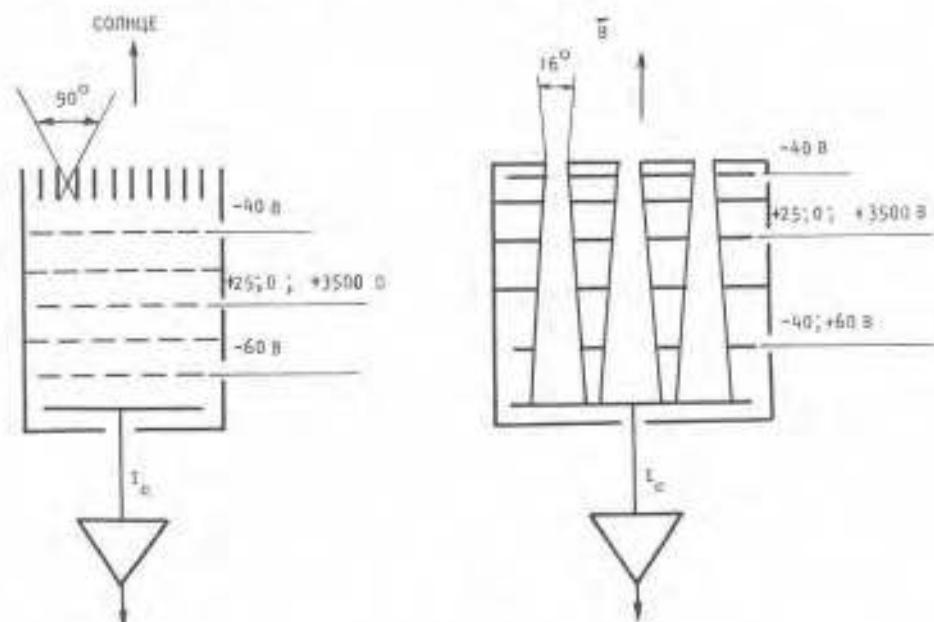


РИС. 50.

Во время режима быстрых измерений вблизи кометы каждый детектор опрашивается восемь раз в секунду. Хотя супрессорная сетка детектора, предназначенного для измерения потоков ионов солнечного ветра, имеет высокую прозрачность ($0,98 - 0,99$), тем не менее поток фотоалектронов с этой сетки на коллектор будет иметь тот же порядок величины, что и ионный ток. Поэтому усилитель постоянного тока, включенный в цепь коллектора, рассчитан на измерения положительного и отрицательного тока (на случай малой интенсивности солнечного ветра). Для того чтобы учесть мешающий фон от фотоалектронов, в датчик введена запирающая сетка, на которую периодически (1-2 с каждые 8 с) подается положительный потенциал ($+3500$ В), отсекающий в основном все ионы. Таким образом, в этот момент измеряется только фон.

Эффективная входная площадь коллектора 5 см^2 , угловая апертура - конус с раствором 50° , динамический диапазон усилителя от $\pm 10^{-11}$ до $\pm 3 \cdot 10^{-9} \text{ А}$, что соответствует $2 \cdot 10^7 - 6 \cdot 10^{10} \text{ наноампер}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$.

Датчик для тепловых ионов, ориентированный по вектору относительной скорости $V_{\text{КА}}$, отличается от солнечного защитой его электродов от прямого попадания пылевых частиц и более сложным режимом работы, который позволяет учсть влияние нейтральных частиц. Этот датчик включает в себя те же электроды, что и солнечный, но вместо сеток здесь используются электроды с многими диафрагмами. Диаметры отверстий последующих электродов (от входа датчика) постепенно увеличиваются так, что входная апертура датчика составляет $\pm 8^\circ$. При такой конфигурации пылевые и нейтральные частицы могут попасть только на входную диафрагму и на коллектор.

Датчик для тепловых ионов имеет 4 режима работы:

Режим (а): коллекторный ток определяется потоком кометных ионов, потоком ионов плазмы, образующейся вблизи корабля за счет столкновений кометной нейтральной и пылевой атмосферы с кораблем, и фоном (вторичные эффекты внутри датчика за счет нейтральных и пылевых частиц).

Режим (б): то же, что (а), но ионы плазмы, образующейся вблизи корабля, задерживаются потенциалом +40 В.

Режим (в): регистрируется только фон, так как все ионы с энергией 3500 эВ на коллектор не попадают.

Режим (г): коллекторный ток определяется в основном вторичными электронами с коллектора за счет попадания на него нейтральных и пылевых частиц (в этом случае супрессорная диафрагма имеет потенциал +40 В вместо -60 В).

Сравнение результатов измерений для всех этих режимов позволяет оценить интегральные потоки кометных ионов, ионов плазмы вблизи корабля и потоки нейтральных и пылевых частиц кометного происхождения.

Монитор нейтральных частиц и пыли, входящий в состав прибора "ПЛАЗМА-1", предназначен для контроля потока нейтрального газа, воздействующего на космический аппарат при его движении в коме кометы, и для измерения неоднородностей концентрации нейтрального газа с размером более ≈ 80 км. Датчик монитора состоит из двух плоских позолоченных электродов - центрального зонда площадью 1 см^2 и охранного кольца (рис. 51). Оба электрода находятся под отрицательным потенциалом -17 В по отношению к корпусу. Монитор нейтральных частиц и пыли измеряет суммарный электронный ток (в диапазоне $10^{-10} - 3 \cdot 10^{-5}$ А), эмиттированный с центрального зонда под воздействием на него фотонов, ионов, нейтральных молекул и пыли. Ожидается, что в солнечном ветре преобладающий вклад в суммарный ток даст фотоэлектронная эмиссия, а начиная с $\approx 10^5$ км - эмиссия электронов нейтральными молекулами и пылью.



РИС. 51.

Электроника

Функциональная схема аппарата "ПЛАЗМА-1" представлена на рис. 52 .

Центральным узлом прибора является блок управления. Он представляет собой микро-ЭВМ, включающую микропроцессор, оперативную

память, память программы, память данных и интерфейсы микропроцессора.

Блок управления обеспечивает сбор данных с ловушек и энергоспектрометров, сортирует их в определенном порядке и выдает данные в ТМ-систему в виде, удобном для обработки. Программы, по которым работает блок управления, хранятся в памяти программ. Там же хранятся циклограммы работы прибора в разных режимах, а также номиналы высоковольтных напряжений, подаваемые на отклоняющие системы энергоспектрометров.

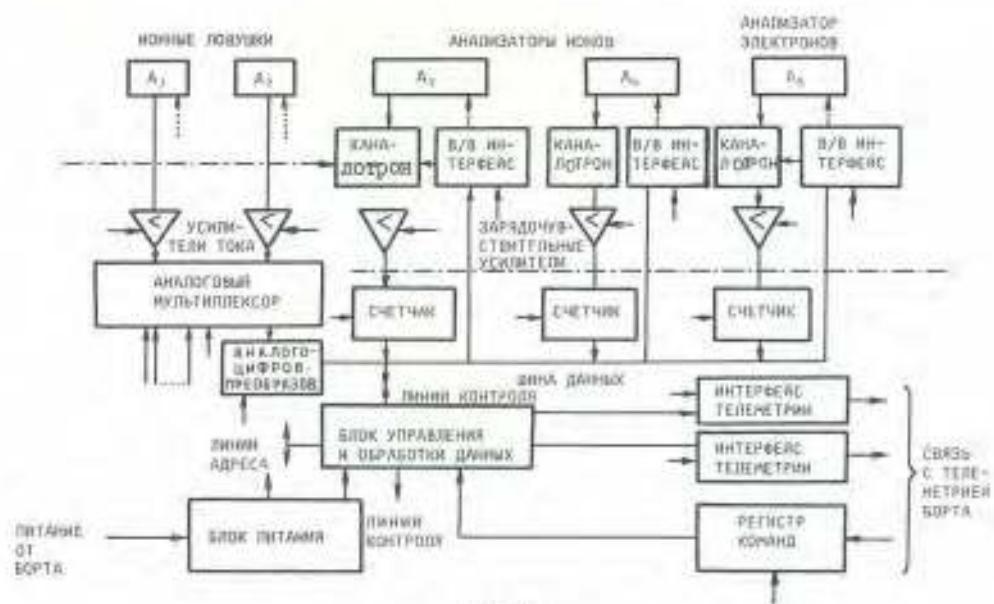


РИС. 52.

Таким образом, можно в разумных пределах изменить циклограмму работы прибора (время экспозиции одного энергетического интервала, количество энергетических интервалов и т.д.), т.е. микропроцессорный блок обеспечивает большую мобильность системы, позволяет оптимизировать работу системы в целом с учетом особенностей работы датчиков после проведения экспериментальных и калибровочных работ с аппаратурой.

Блок управления принимает и обрабатывает (через интерфейс) внешние команды и кодовые посылки, что дает возможность изменять режим работы прибора в соответствии с различными вариантами циклограммы.

Данные с информационных трактов в соответствии с программой записываются в память данных и хранятся в ней до передачи в ТИ-систему. Микро-ЭБМ имеет оперативную память, которая является рабочей памятью микропроцессора и позволяет хранить промежуточные результаты операций над данными.

Сигналы с выходов каналотронов (ВЗУ) поступают на зарядо-чувствительный усилитель ($8 \cdot 10^{-14} \div 8 \cdot 10^{-11}$ К_в Н_{max} = 10^6 Гц), а затем — на дискриминатор. После дискриминатора нормализованные сигналы поступают на 16-разрядные счетчики. Данные со счетчиков подаются в микропроцессор, где число сосчитанных импульсов преобразуется в нормализованный вид (4 разряда — мантисса и 4 разряда — характеристика). Эти 8-разрядные числа записываются в память данных.

Регистрация токов ловушек осуществляется по следующей схеме. Сигналы с коллекторов ловушек поступают на входы предусилителей, которые в зависимости от величины измеряемого тока изменяют диапазон чувствительности. Затем усиленный сигнал подается на вход логарифмического преобразователя, позволяющего существенно расширить динамический диапазон измеряемых токов. С выхода усилителя сигнал через эмиттерный повторитель подается на вход мультиплексора, а затем через аналого-цифровой преобразователь поступает на вход микропроцессора. Каждое значение измеренного тока хранится в памяти данных в виде одного 9-разрядного слова (включая знак тока).

Программы работ

В приборе предусмотрены три программы работы.

Первая программа рассчитана на три часа непрерывной работы. Этот режим начинается на расстоянии около 550 тыс.км от ядра за два часа до ближайшего к комете пролета аппарата.

В этот период работают все датчики одновременно. Период измерения одного спектра составляет 1 с - 120 точек для ионного напорного спектрометра, 60 точек для солнечного ионного спектрометра и 30 точек для электронного анализатора. Ловушки работают с информативностью 8 точек в секунду, общая информативность аппаратуры "ПЛАЗМАГ-1" составляет 1960 бит/с.

Вторая программа включается за двое суток до подлета к комете (13 млн.км). Работа аппаратуры во второй программе аналогична работе в первой программе за исключением скорости измерений: она у всех датчиков ниже примерно в 150 раз (общая информативность аппаратуры "ПЛАЗМАГ-1" составляет 14112 бит/20 мин). Вся научная аппаратура работает в режиме ЗУ (запись на магнитофон).

Третья программа осуществляется через 15 суток после запуска КА и длится непрерывно до второй программы (за исключением периодов коррекции аппарата и работы КА со спускаемым аппаратом - в эти периоды аппаратура "ПЛАЗМАГ-1" выключена). Во время работы аппарата в режиме третьей программы работают только два спектрометра - ионный солнечный и электронный с общей информативностью 1512 бит/20 мин.

Работа организована таким образом, что каждые 20 мин аппаратура включается на ~4 мин. В этот период измеряют подряд два спектра (электронным и ионным спектрометрами одновременно). Время измерения каждого спектра ~5 с. Данные записываются в память данных, все высоковольтные источники выключаются. Данные хранятся в памяти данных 2-3 мин до опроса ТМ-системы, затем

аппаратура выключается. Один раз в сутки (третья программа) по внешнему сигналу вместо спектров ионов и электронов солнечного ветра проводится калибровка всех датчиков. Ионные спектрометры калибруются с помощью специально встроенных в прибор источников стабильных потоков электронов. Усилители ловушек калибруются с помощью подключения на их входы источника постоянного тока. Во время калибровки в канал ТМ-информации замешиваются также технические данные аппаратуры, характеризующие электрические режимы некоторых узлов электронной части аппаратуры.

Общий вид прибора "ПЛАЗМАГ" показан на рис.53.



РИС. 53.

В разработке и изготовлении аппаратуры принимали участие специалисты НИР, СССР, ФРТ (Институт аэрономии им. М.Планка).

I.9. СПЕКТРОМЕТР ЭНЕРГИЧНЫХ ЧАСТИЦ "ТИНДЕ-М" (TH-M)

Основной задачей спектрометра "ТИНДЕ-М" на аппарате "Венера-Галлея" является детектирование ионов, ускоренных в окрестности кометы Галлея, измерение их энергии и определение их флуктуаций в различных точках кометной среды.

Нейтральные молекулы, истекающие из ядра кометы, ионизируются солнечным ультрафиолетом или при перезарядке ионами солнечного ветра.

Кометные ионы, образованные таким образом, могут быть ускорены движущимся магнитным полем солнечного ветра. Теоретически предполагают, что кометные ионы могут быть ускорены магнитным полем солнечного ветра до скоростей, превышающих солнечный ветер на фактор два.

"ТИНДЕ-М" может измерять флуктуации кометных ионов с энергиями от 30 до 640 кэВ, с разрешением по энергии 10 кэВ (от 20 до 160 кэВ), 20 кэВ (от 160 до 400 кэВ) и 40 кэВ (от 400 до 640 кэВ).

Для получения информации об угловом распределении ускоренных ионов используются две аналогичные системы детекторов (телескопов).

В среднем направление потоков быстрых ионов приблизительно перпендикулярно магнитному полю и вектор потока флуктуирует вблизи плоскости электрического поля. Поэтому одна из детекторных систем расположена в направлении ожидаемого максимума прихода ускоренных частиц (т.е. в плоскости электрического поля, перпендикулярно магнитным силовым линиям), а другая—относительно первой под углом 35° также в плоскости электрического поля. При этом ориентация близка к обратному вектору скорости космического аппарата.

"ТИНДЕ-М" работает постоянно в течение 15 месяцев полета КА до встречи с кометой. Будут получены данные ионного фона в межпланетном пространстве в диапазоне 30 + 650 кэВ. Этот фон может изменяться как функция солнечной активности, отдельные параметры показывают уровень солнечной активности, относящейся к измерениям ионной флуктуации, которая может быть измерена одновременно. С этой целью регистрируются частицы ионов с энергиями выше 3 МэВ и электроны в диапазоне энергий 0,5 + 0,75 МэВ. Для других детекторов частиц на борту космического аппарата ("ПЛАЗМАТ", ИНГ) тоже может быть полезна постоянная регистрация быстрых высокозергетических частиц, приходящих от Солнца, и аппроксимация суммарной дозы радиации, получаемой во время всего полета. Регистрируются также вспышечные события высокозергетических ионов и электронов на протяжении 15-ти месяцев между запуском КА (декабрь 1984 г.) и встречей с кометой (март 1986 г.).

Полученные данные будут способствовать изучению распространения вспышечных частиц в межпланетном пространстве вместе с динамическим взаимодействием ионов и межпланетного магнитного поля.

Описание аппаратуры

"ТИНДЕ-М" (рис. 54) состоит из телескопов (T₁, T₂), блока обработки аналоговых сигналов, блока обработки цифровой информации и источника напряжения.

Весь прибор, включая телескопы и электронику, оформлен конструктивно в виде моноблока.

Основные технические характеристики прибора

Максимальные габариты, мм	- 150x190x220
Масса, кг	- 4,5

Потребление, Вт - 6
 Энергетический диапазон ионов, кэВ - 30 + 640
 Энергетический диапазон быстрых солнечных частиц:
 электронов, МэВ - 0,5 + 0,75
 протонов, МэВ - 3,2 + 13
 ионов ($Z \geq 2$ ядер), МэВ/нукл - 3,2 + 13
 Ядра (включая протоны), МэВ/нукл - ≥ 13 (интегральный поток)
 Геометрический фактор каждого телескопа, см²ср - 0,2
 Формат данных - плавающая запятая, II бит + проверка на
 четность
 Скорость вывода информации, бит/с - 3072 и 65536
 Угол между телескопами, град - 35

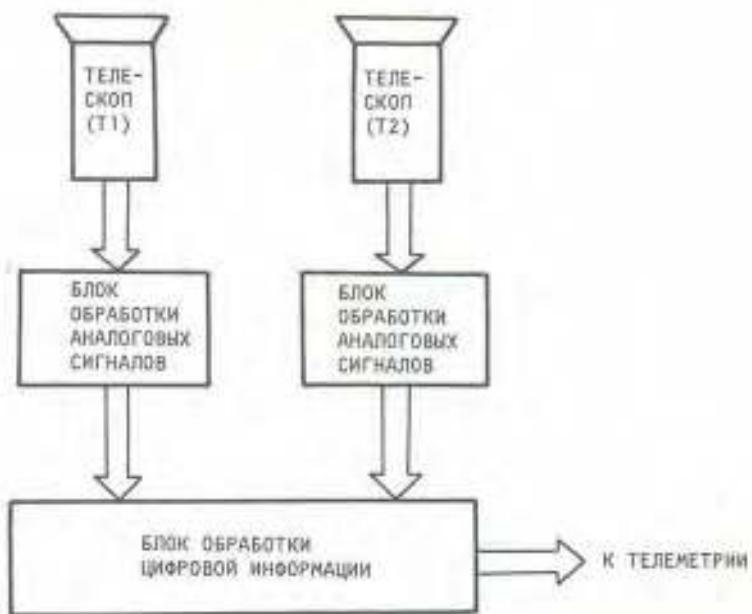
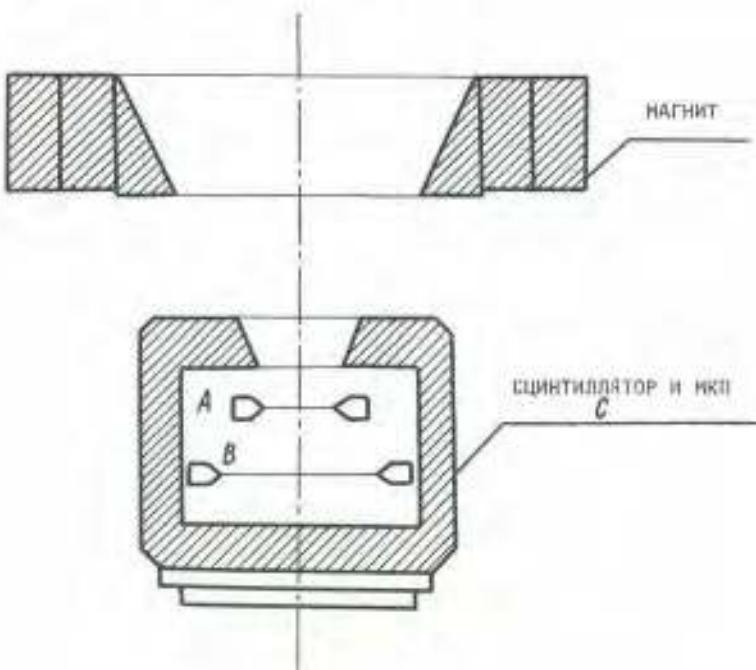


РИС. 54.

Телескопы T1 и T2 имеют идентичную геометрическую конструкцию. Каждый из них состоит из кремниевых детекторов A и B, сцинтилляционного детектора антисовпадений МСР (рис. 55). В случае низкой энергии (20 - 640 кэВ) ионы регистрируются только детектором A. Чтобы различить электроны, протоны и более тяжелые частицы, проводится анализ потери энергии детекторами A и B. Чтобы предотвратить попадание электронов с энергией ниже 0,5 МэВ на систему детекторов, используется магнит.



ДЕТЕКТОРЫ	ДИАМЕТР, мм	ТОЛЩИНА, мм
ВЕРХНИЙ	8	0,1
НИЖНИЙ	16	1

Рис. 55.

Блок-схема узла аналоговой обработки сигналов показана на рис. 56.

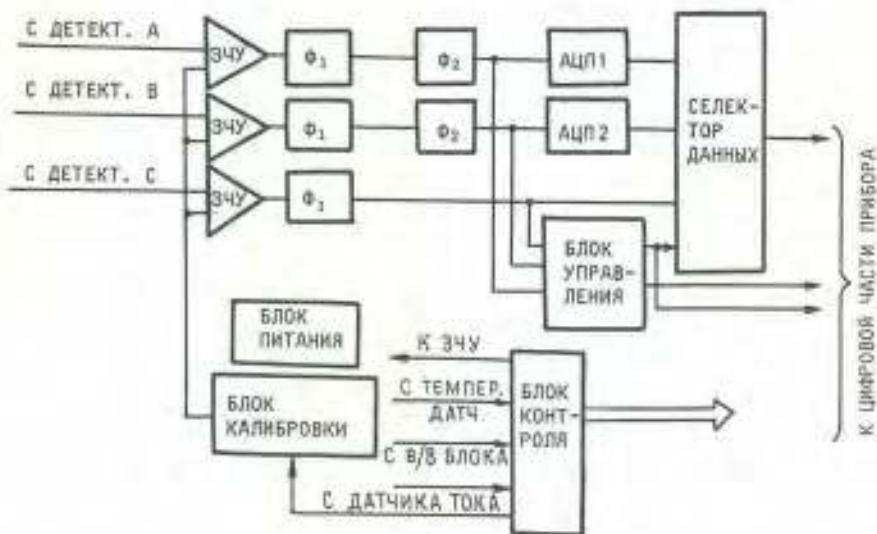


РИС. 56.

Сигнал с детектора проходит тракт: зарядочувствительный предсилитель (ЗЧУ), усилитель-формирователь формы сигнала (Φ_1), формирователь сигнала по длительности (Φ_2).

Выходные сигналы последнего подаются на вход 6-разрядного быстродействующего цифро-аналогового преобразователя (АЦП), амплитудного дискриминатора и блока управления. Выходы дискриминаторов подключены по входам 8-канального 32-разрядного счетчика — по четыре входа на каждый телескоп, а блок управления определяет режим работы телескопа (ABC; ABC; ABC).

В случае измерения энергии селектором данных принимается информация с АЦП, а в режиме определения энергии и массы — информация с обоих АЦП. Селектор данных производит также сглаживание информации с помощью ПЗУ, запрограммированного в соответствии с требуемыми энергетическими уровнями и разрешениями.

Цифровая электроника

Цифровой частью прибора производится регистрация и анализ событий, передача данных в форме с плавающей запятой к телеметрическим системам КА. Здесь же реализуется связь с бортовыми системами КА (рис.57).

Синхронизация управления и проверки, обработка данных измерения, а также прием сигналов управления из бортовых систем осуществляется

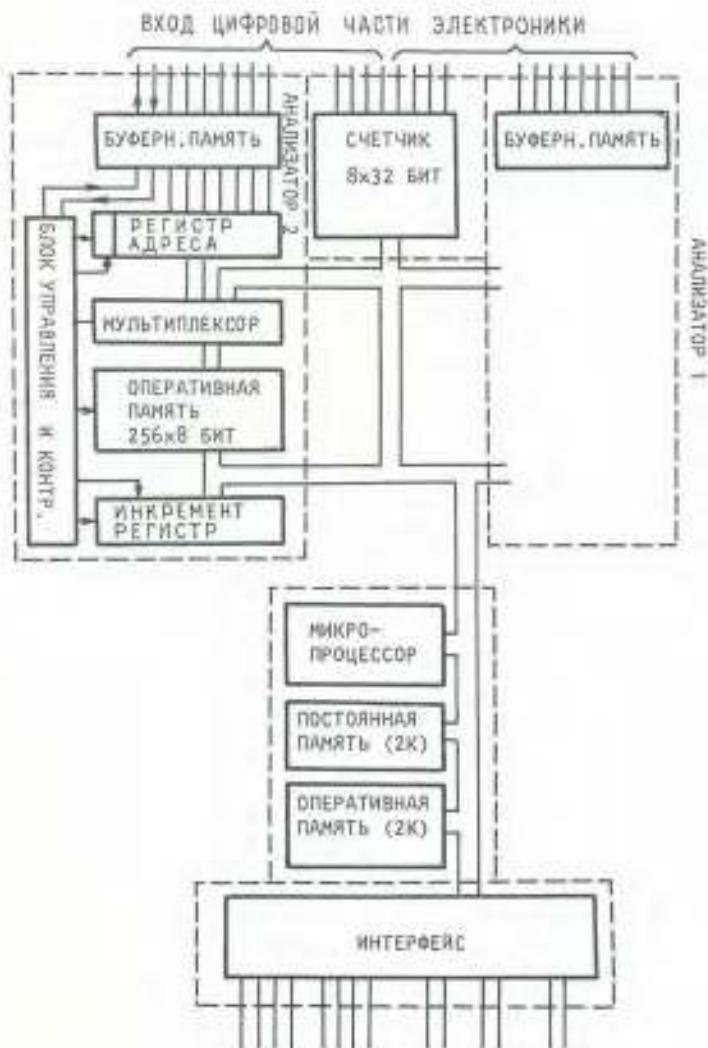


РИС. 57.

ляется с помощью микропроцессора. Информация с каждого телескопа регистрируется 64-канальным анализатором и 4-канальным счетчиком. Все каналы 32-разрядные.

Анализатор построен на базе ЗУ с байтной организацией. Каждый канал содержит 4 байта памяти. 6-разрядный код, получаемый из аналоговой части прибора, определяет канал, в котором данное событие должно регистрироваться. Для этого производится считывание первого байта данного канала, прибавление единицы и запись в ЗУ по тому же адресу. Если при этом наблюдается переполнение, то подобная процедура повторяется для второго байта и т.д., при необходимости – вплоть до четвертого байта. Буферная память типа *PIFO* на 16 событий, включенная между выходом аналоговой части и входом анализатора, служит для снижения просчетов в тех случаях, когда из-за статистического разброса временных интервалов между приходом двух последовательных частиц при их большой интенсивности этот интервал будет меньше времени обработки прибором одного импульса.

Данные, регистрируемые 8-канальным 32-разрядным счетчиком, служат прежде всего для проверки работы детекторов. В них, кроме того, заносится ограниченная физическая информация.

Как анализатор, так и счетчики работают автономно, т.е. регистрируют события независимо от работы микропроцессора. По истечении времени интегрирования микропроцессор останавливает анализатор и счетчики, считывает из них данные, устанавливает исходное положение и снова запускает цикл накопления. Мертвое время между двумя циклами одинаково во всех каналах и для всех режимов работы.

Кроме того, в круг задач микропроцессора входит:

– изменять разрешение спектров, а также время интегрирования, так как во время полета в зависимости от режима работы количество передаваемой на телеметрию информации меняется;

- ежесуточно проводить проверку работы функциональных блоков прибора, результаты которой передаются на Землю (режим калибровки);
- по командам, полученным с Земли, производить требуемые изменения в программе работы прибора;
- с целью более эффективного использования телеметрических каналов проводить преобразование данных из 32-разрядных чисел с фиксированной запятой в форму с плавающей запятой (II бит + I бит четности);
- для передачи данных в телеметрию организовывать массивы с соответствующими идентификаторами и пересыпать их через интерфейс телеметрии;
- технические данные, поступающие из аналоговых узлов прибора от датчиков температуры, напряжений питания и т.п., передаются наряду с научными данными по цифровым телеметрическим каналам.

Прибор связан с бортовыми системами посредством интерфейса, через который научные данные могут быть переданы на телеметрические каналы 3072 бит/с и 64кбит/с. Этот же интерфейс принимает команды и метки, поступающие с бортовых систем.

Для повышения надежности прибора как в анализаторах, так и в памяти микропроцессора осуществлено резервирование ЗУ с соответствующей мажоритарной логикой для коррекции ошибок. С этой же целью информация с отдельных телескопов регистрируется отдельными каналами, работающими автономно, независимо друг от друга. Поэтому частичный или полный отказ одной ветви (телескопа) не нарушает работы другой, способной давать научную информацию.

Программа работы

В приборе предусмотрены следующие режимы работы:
"Трасса-1" (Tp-1), "Трасса-2" (Tp-2), НП, РЛ, "Калибровка".

Режим "Трасса-1" осуществляется на пятые сутки после запуска КА и длится в течение всего полета, за исключением отдельных коротких участков во время коррекции КА и работы КА вблизи Венеры.

"Трасса-1" заканчивается за двое суток до встречи с кометой. В этом режиме работают оба телескопа непрерывно. Информативность прибора составляет 540 бит/20 мин. Внутренний цикл измерения в приборе для разных диапазонов в режиме "Трасса-1" составляет 40, 20, 10 мин.

Режим "Трасса-2" осуществляется после режима "Трасса-1" за двое суток до встречи с кометой и кончается за два часа до прохода аппаратом перигалактика. Информативность 6480 бит/20 мин. Внутренний цикл измерений в режиме ТР-2 для разных диапазонов энергий составляет 10 и 2,5 мин.

Режим РЛ. Режим непосредственной передачи по быстрой радиолинии. Этот режим начинает реализоваться за два часа до ближайшего расстояния между кометой и КА и продолжается в течение трех часов. Прибор работает непрерывно с информативностью 512 бит/с. Время измерения во всех диапазонах энергий составляет 4 с. Каждые четыре секунды измерения прерываются на время их считывания, что составляет 50 мс. Считывание блока информации в ТМ организовано каждые 2 с по 1024 бита.

Режим III. Этот режим (непосредственная передача по медленной радиолинии) осуществляется во время связи КА с Землей по линии 3072 Гц. Информативность прибора при этом составляет 6480 бит/118,5 с.

Режим "Калибровка". Этот режим включается каждые сутки. В приборе включается калибровочное устройство. Калибровка проводится одновременно с измерениями. Поскольку частота калибровочного сигнала намного больше ожидаемой частоты прихода частиц и существует диапазон энергий, где прихода частиц не ожидается, то калибровку можно считать достоверной.

Прибор включается в режим калибровки в начале режимов ТР-1 или ТР-2 (на первые 20 мин).

Общий вид прибора "ТРИД-М" представлен на рис.58.



Рис. 58.

В разработке прибора принимали участие специалисты БНР, СССР, ФРГ (Институт аэрономии им. М. Планка).

I.10. АНАЛИЗАТОР ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ВОЛН (АПВ-В)

Цель эксперимента и основные параметры

Целью эксперимента с помощью АПВ-В является изучение плазмы, естественных неустойчивостей плазмы и волн в окрестности кометы Галлея.

В эксперименте ставятся следующие научные задачи:

- определение плотности солнечного ветра до и после подлета к комете для изучения последующих процессов взаимодействия солнечного ветра и кометы;
- изучение изменения распределения массы солнечного ветра под воздействием ионов кометной плазмы как с помощью прямой регистрации, так и посредством наблюдения возникших волновых неустойчивостей;
- получение профилей плотности и температуры плазмы и спектров электрической компоненты волн при подлете к комете;
- исследование особенностей бесстолкновительной ударной волны и контактной поверхности.

Основные технические характеристики прибора

Чувствительность по электрическому полю	$3 \cdot 10^{-7} + 3 \cdot 10^{-6}$ В/м $\sqrt{\text{Гц}}$ в зависимости от частоты при базе измерения 11 м
Частотный диапазон измерений электрического поля, кГц	0 + 300
Динамический диапазон при измерении электрического поля, дБ	70
Чувствительность датчиков плазмы, А...	10^{-10} (соответствует плотности 7 част./ см^3 при средней кинетической энергии 1 эВ)
Динамический диапазон датчиков плазмы, дБ	80 (позволяет измерять плотность плазмы от 7 до $7 \cdot 10^4$ частиц/ см^3 для электронов со средней энергией 1 эВ и диапазон температур 100 + 100000 К)
Частотный диапазон датчиков плазмы, Гц	0 + 4

Масса прибора, кг:

датчики со штангами 2x0,8

блок электроники 1,2

Потребление энергии , Вт. 2

Габариты блока электроники, мм³ 190x180x66

Исследование бесстолкновительной ударной волны и контактной поверхности.

Обоснование научных задач эксперимента

Кометы обладают способностью к свободному от гравитации расширению нейтрального газа в межпланетную среду. Однократно ионизованный газ взаимодействует с солнечным ветром, и это взаимодействие должно приводить к крупномасштабным нестабильностям. Плотность во внешней короне кометы может быть такой низкой, что ее будет невозможно измерить непосредственно. В то же время электростатическая турбулентность, как показывают теоретические оценки и аналогия с наблюдениями, выполненными на значительных расстояниях перед фронтом околоземной ударной волны, может быть измерена на расстояниях до 10^7 км от ядра кометы. Это означает, что из комплекса приборов, предназначенных для прямых экспериментов, волновой прибор, по-видимому, обеспечит наиболее раннее оповещение о приближении кометы.

Волновой эксперимент позволит отличить различные механизмы ионизации в нейтральном газе кометы (фотоионизация, обмен зарядом и явление критической алльвеновской ионизации). Результаты предварительных расчетов распределения электронной плотности для двух моделей ионизации нейтрального состава приведены на рис. 59 . Видно, что электронная плотность начинает заметно возрастать на расстояниях порядка $10^5 + 10^6$ км от ядра в головной части кометы.

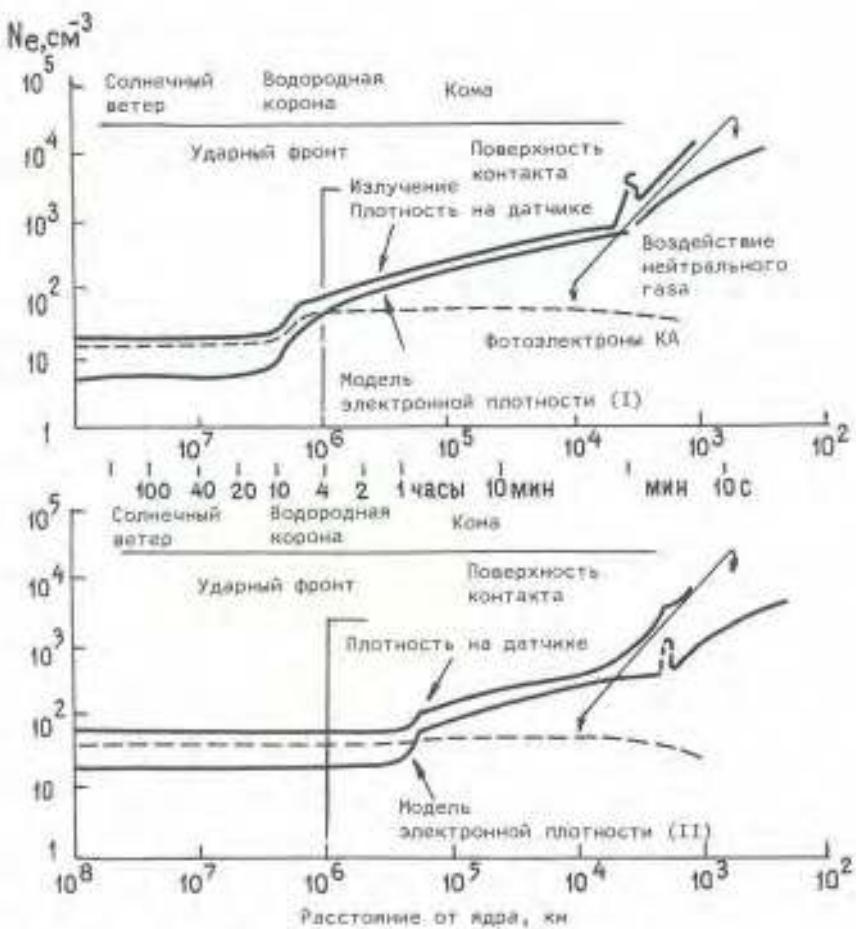


РИС. 59.

Можно предположить также, что существует искажение межпланетного магнитного поля вблизи кометы, которое по некоторым оценкам приводит к возрастанию величины напряженности магнитного поля примерно на порядок. В дальнейшем будем предполагать, что магнитное поле возрастает в области головной ударной волны от невозмущенных значений 3 – 5 Гц до значений порядка 40 – 50 Гц на расстояниях менее 10^5 км.

Указанное изменение параметров плазмы позволяет оценить характерные частоты волновых процессов околосветной плазмы. Неустойчивостями, которые приводят к генерации таких процессов, могут

быть двухпотоковая неустойчивость, связанная с относительным движением солнечного ветра и кометы, или ионно-звуковая неустойчивость.

В неподвижной системе координат первый вид неустойчивости приводит к генерации волн вблизи плазменной частоты электронов f_{pe} или верхней гибридной частоты.

Так как в нашем случае f_{pe} порядка 120-1200 Гц, то верхняя гибридная частота практически совпадает с плазменной частотой электронов.

Второй тип неустойчивостей эффективен вблизи плазменной частоты протонов f_{pi} . Характерные длины волн этих неустойчивостей порядка дебаевского радиуса D . В табл. 10 приведены рассчитанные значения указанных величин f_{pe} , D и f_{pi} (для протонов, для других ионов эта величина будет в $\sqrt{m_i}$ раз меньше, где m_i — отношение масс иона и протона).

Таблица 10

z , км	n_e , см $^{-3}$	f_{pe} , кГц	f_{pi} , кГц	D , м
10^4	$(5 \pm 8) \cdot 10^2$	80 ± 270	$4,5 - 7$	$1,0$
10^5	$2 \cdot 10^2$	90 ± 130	$2 - 3$	$2,0$
10^6	$2,5 \cdot 10$	40 ± 60	$1 - 1,5$	$5,0$
10^7	7	25	$0,5$	$10,0$

Заметим, что в движущейся со скоростью U системе координат характерные частоты этих процессов могут быть сдвинуты на величину $\Delta f = \pm \frac{U}{2\pi D}$. Для скорости движения солнечного ветра $V_0 = 400$ км/с и относительной скорости движения кометы и аппарата 78 км/с $U \sim 400 \pm 500$ км/с и $\Delta f = \pm 6460$ кГц.

Последнее время активно обсуждается возможность ионно-циклотронной неустойчивости. Спектр этой неустойчивости прости-

рается от гирочастоты ионов до частоты нижнего гибридного резонанса $2\pi f_H \sim \sqrt{\omega_B \cdot \omega_{ce}}$. Оцененное значение f_{B1} для протонов $\sim 0,05 \pm 0,5$ Гц, тогда как $f_H \sim 3 \pm 30$ Гц.

Эти частоты для более тяжелых ионных компонент уменьшаются в $\sqrt{m_i}$ раз. Характерные длины волн данного типа неустойчивостей сравнимы с дарриворским радиусом ионов. Так как тепловая скорость ионов V_{pi} порядка 10 ± 20 км/с и в данном случае гораздо меньше U , то донлеровский сдвиг Δf характерных частот $\sim f_{B1}$ и данный тип неустойчивости, если он существует, может послужить основой для диагностики возмущения межпланетного магнитного поля вблизи кометы. Таким образом, спектральный анализ волновой турбулентности при подлете к комете дает возможность определить возмущение электронной плотности (по высокочастотной ветви) и возмущение магнитного поля (по низкочастотной ветви), а сопоставление результатов волновых измерений с прямыми измерениями возмущенности магнитного поля (выполнеными с помощью прибора МИПА) дает возможность оценить тип неустойчивости, ответственной за волновые процессы.

До сих пор не учитывалось взаимодействие зондов с околоземной плазмой. Поскольку космический аппарат движется относительно околокометной плазмы с высокой относительной скоростью (78 км/с), то удары нейтральных и заряженных частиц о поверхность зонда и космического аппарата весьма существенны. Энергии этих частиц достаточно, чтобы испарить и даже ионизовать значительную часть материалов покрытия зондов и КА. Каждый такой удар частицы сопровождается электромагнитным всплеском, а общее количество ударов создает электромагнитный шумовой фон, на котором производятся измерения. Результаты оценки этого уровня шумов приведены на рис. 60. Эти измерения дают возможность оценить концентрацию нейтральной компоненты плазмы и в то же время определить реальную чувствительность прибора. Сравним

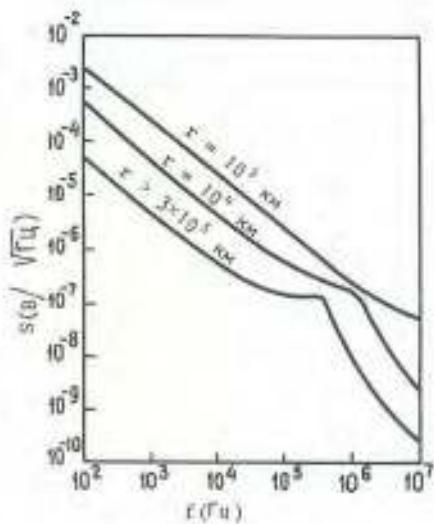


Рис. 60.

теперь аппаратурную чувствительность прибора на КА "Венера-Галлей" с чувствительностью приборов, которые были установлены на других КА. На рис. 61 приведены уровни шума различных антенн и динамический диапазон измерений на космических аппаратах, а также предполагаемые уровни шумов в окрестности планет солнечной системы.

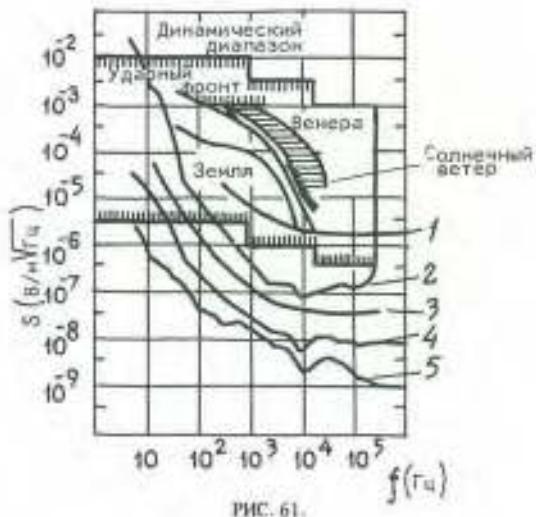


Рис. 61.

Как видно из этого рисунка и анализа рис. 60 , чувствительность приемной аппаратуры в эксперименте АПВ-В является вполне приемлемой для обнаружения сколокометных излучений.

Описание аппаратуры

Датчики

В состав прибора АПВ-В входит два датчика электрического поля, два датчика плазмы и температуры и блок электромеханики.

Электрическое поле измеряется с помощью дипольной антенны с базой 11 м. Эта антenna образуется двумя сферическими датчиками диаметром 10 см из стеклоуглерода, расположенным на концах штанг, установленных на солнечных панелях . Датчики изображены на рис. 62, 63.



РИС. 62.

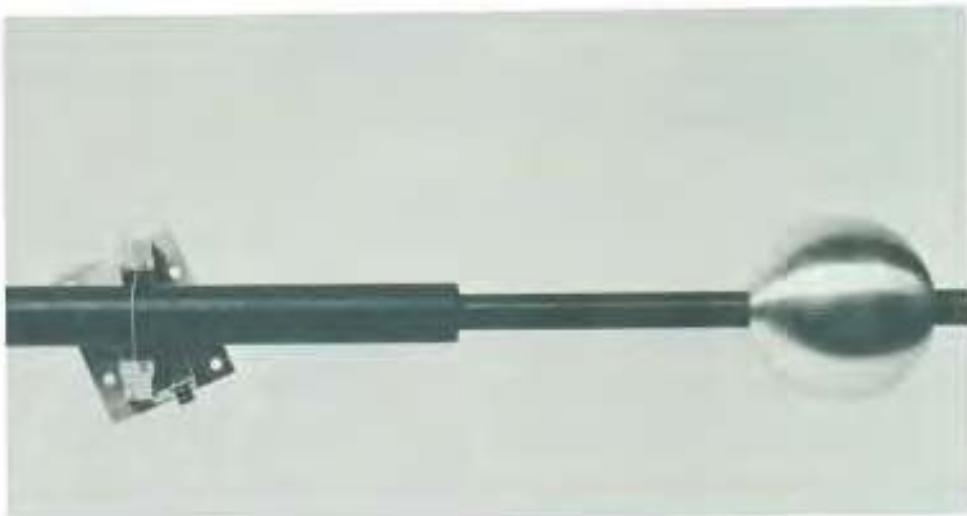


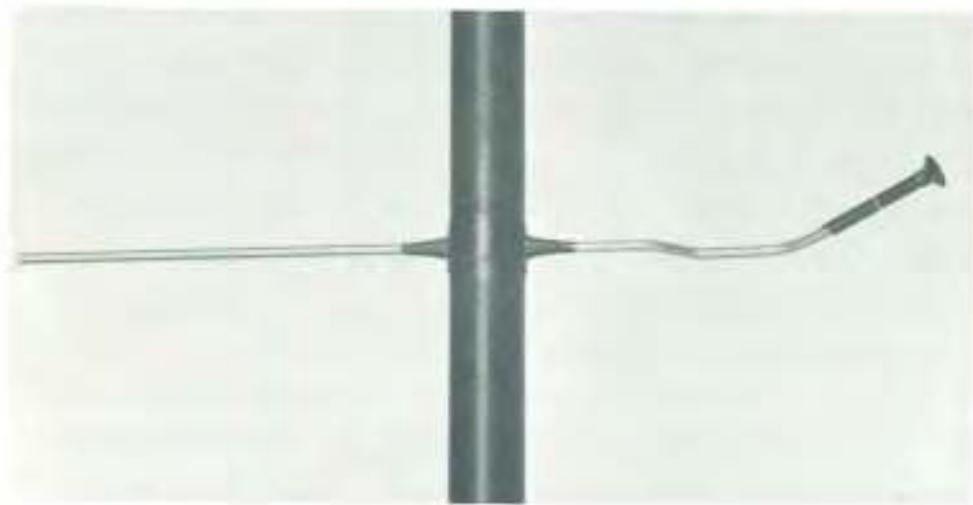
РИС. 63.

Механизм раскрытия включает пружину, редуктор и центрифугальный тормоз, который обеспечивает плавность раскрытия. Штанга освобождается от крепления с помощью широрезака, который управляется с помощью команд. В механизме раскрытия смонтирован датчик, который имеет выход на ТМ и который подтверждает раскрытие штанги.

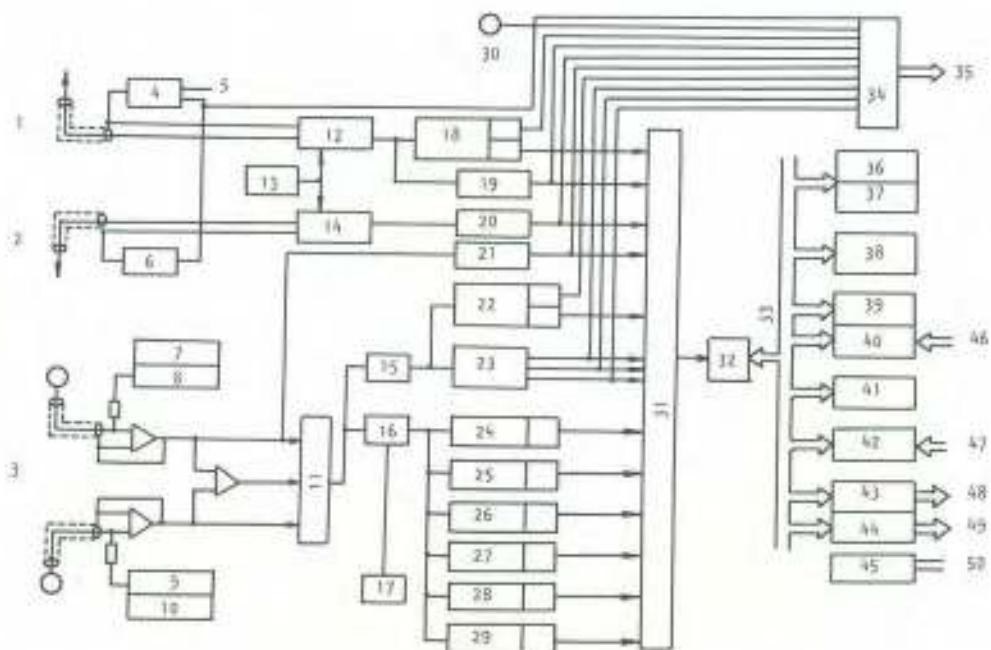
Зонды Ленгмира смонтированы примерно на середине штанги. Поверхность зондов цилиндрическая и составляет $4,4 \text{ см}^2$. Зонды ориентированы таким образом, что их ось симметрии параллельна скорости набегающего потока; конические элементы, укрепленные на вершинах, защищают зонды от прямого удара со стороны молекул кометного газа или пылевых частиц (рис. 64).

Описание блок-схемы эксперимента

Блок-схема эксперимента приведена на рис. 65. Датчики плазмы (датчик плотности и датчик температуры) подключены к электрометру, который преобразует слабые входные токи в напряжение. Оплетки экранов каждого кабеля, соединяющего датчики с блоком электроники, находятся под тем же потенциалом, что и соответствующий датчик.



PHC. 64.



PHC. 65.

Это позволяет уменьшить аппаратурную ёмкость измерения. Датчик плотности подключен к источнику постоянного напряжения, а потенциал, подаваемый на датчик температуры, изменяется по синусоидальному закону с периодом 32 с и с амплитудой от 0 до 6 В. Предусилители датчиков плазмы связаны с логарифмическими усилителями, которые используются для расширения динамического диапазона измерений. Форма флюктуаций тока, полученная зондом плотности, анализируется и передается в диапазоне частот до 4 Гц.

Сигналы, зарегистрированные каждым элементом dipольной антенны, поступают на дифференциальный усилитель. Выходной сигнал этого усилителя анализируется системой, состоящей из шести фильтров. Внутренний коммутатор переключает полосы пропускания этих фильтров. Эта система (фильтры и коммутатор) эквивалентна набору 16 фильтров, но позволяет уменьшить число радиокомпонент и потребляемую мощность. Постоянный сигнал и его медленные флюктуации в диапазоне частот 0 + 8 Гц передаются непосредственно для определения волновых форм. Измерения разности потенциалов между датчиками электрического поля и корпусом космического аппарата $V_2 - V_8$ позволяют проверить работу предусилителей и определить потенциал КА по отношению к окружающей среде.

Импеданс сфер может изменяться с помощью телекоманд путем подачи токов 25 или 50 нА. Различные виды калибровки будут использоваться в полете для контроля отдельных узлов анализатора.

Преобразованные электрические сигналы поступают либо на согласующие устройства для связи с аналоговой телеметрией, либо на бортовой микрокомпьютер. В компьютере сигналы считываются, формируются в телеметрические блоки и хранятся во внутренней памяти до момента опроса ТМ. Часть памяти микрокомпьютера используется для дешифровки, восстановления и хранения телекоманд.

Режимы работы прибора

При подаче питания на прибор он начинает работать в основном режиме и остается в этом режиме до прихода телекоманды, изменяющей режим. В начале основного режима проводится автоматическая калибровка всего прибора, которая длится в течение $\sim 4,5$ мин. Существует возможность вносить следующие изменения в работу прибора по телекомандам:

- выбирать входной сигнал, подаваемый на анализатор волн,
- изменять ток поляризации электрических датчиков,
- изменять величину постоянного смещения, подаваемого на датчик температуры (ДТ),
- изменять режим сканирования ДТ,
- изменять амплитуду сканирования ДТ,
- изменять режим поляризации датчика плотности,
- включать калибровку прибора.

Программа полета

Открытие штанг осуществляется по команде после раскрытия солнечных батарей.

В полете эксперимент контролируется через равные промежутки времени. Эти операции позволяют выбрать амплитуду и время сцена.

Эксперимент начинается за 48 ч перед встречей с кометой, и автоматически устанавливается режим, предусмотренный сеансом встречи. Режим БТМ III реализуется в течение двух часов в промежутке $-48^h \pm -24^h$ и в течение $-2^h \pm +1^h$.

Передача информации и наземная обработка

Передача информации осуществляется в нескольких режимах.

1. В режиме БРЛ передаются оформленные блоки информации из памяти бортовой ЭВМ со средней скоростью 480 бит/с. Этот режим является наиболее информативным.

2. В режиме БПМ "Запоминание" передается информация накопленная в памяти бортовой ЭВМ за 20 мин измерений. Объем накопленной информации 15120 бит.

3. В режиме БПМ НП передается информация из памяти бортовой ЭВМ объемом 15120 бит за каждые ~ 2 мин.

4. В режиме передачи аналоговой информации используется 10 каналов, опрос которых осуществляется 2 раза в секунду. В этом случае передается информация без запоминания.

Вся наземная обработка разбита на три этапа: оперативная обработка, экспресс-обработка и полная научная обработка.

На этапе оперативной обработки проводится анализ ограниченного количества технологических параметров в реальном масштабе времени и грубая оценка научной информации. Это позволяет оценить работоспособность прибора в целом и проверить правильность прохождения телекоманд. На этом этапе обработка технологических параметров осуществляется силами НЦ ИКИ, а научных параметров — самими экспериментаторами, с использованием КИА БЛСИ^{*)}.

На этапе экспресс-обработки, которая проводится в течение нескольких часов после окончания сеанса, производится вывод всех параметров в условных единицах. Этот этап позволяет детально оценить работоспособность прибора и выбрать данные для дальнейшей окончательной обработки.

Окончательная обработка проводится с использованием дополнительных данных о координатах КА, его ориентации и др. Эта обработка проводится по согласованным программам как на НЦ ИКИ, так и на НЦ CNES .

В разработке эксперимента принимали участие специалисты СССР, Франции .

^{*)} Блок логики и сбора информации

Научные задачи эксперимента АПВ-Н

Основными научными задачами эксперимента являются:

- изучение коллективных процессов в плазме, ответственных за формирование **тесных** структурных образований в зоне обтекания атмосферы комет солнечным ветром и диссипацию энергии солнечного ветра при его взаимодействии с атмосферой кометы;
- обнаружение явлений аномальной ионизации атмосферы кометы замедленным солнечным ветром и идентификация механизмов такой ионизации;
- диагностика плазмы солнечного ветра и кометной ионосфера путем измерения характерных волновых эмиссий, а также обнаружение характерных граней в плазменной оболочке кометы.

Важность измерений плазменных волн в крайне низкочастотном диапазоне обусловлена прежде всего тем, что во взаимодействии солнечного ветра с кометной атмосферой основную роль играет коллективное взаимодействие между ионами солнечного ветра и ионизованными атомами и молекулами кометной атмосферы, движущимися относительно друг друга со скоростями, много большими тепловых скоростей ионов. Как известно, в этом случае возбуждается целый спектр плазменных волн с частотами от ионно-циклotronной частоты до ионной плазменной частоты, которые попадают как раз в диапазон прибора АПВ-Н.

Наиболее эффективно при таком взаимодействии возбуждаются колебания в районе частот **нижнегибридного резонанса**, представляющие собой очень ясные смистовые колебания, переходящие в области очень низких частот в магнитозвуковые колебания. Согласно современным теоретическим представлениям, бесстолкновительный нагрев электронов в переменных электрических полях этих

колебаний до температур порядка энергии ионизации кометных нейтралов может вызвать аномальную ионизация кометной атмосферы на расстояниях порядка 10^4 км. Хотя из оптических наблюдений кометных ионов уже получены некоторые данные о наличии эффекта аномальной ионизации, обнаружение этого явления и идентификация его механизмов имеет важное значение не только для физики комет, но и для астрофизики в целом. Для типичных магнитных полей в зоне обтекания кометы $5 \leq H \leq 100$ км частота нижне-гибридного резонанса лежит в интервале $3,5 \leq f \leq 100$ Гц, а чувствительность прибора вполне достаточна для обнаружения электрических полей упомянутых колебаний с ожидаемой напряженностью $E \sim 10^{-4} + 10^{-3}$ В/м.

Особый интерес представляет также измерение плазменных волн, возбуждаемых во фронтепокометной ударной волне. Это связано с тем, что доминирующее влияние эффекта нагружения солнечного ветра кометными ионами на положение ударной волны должно оказаться и на ее структуре. В частности, ширина фронта, согласно численным экспериментам, должна определяться ларморовским радиусом кометных ионов, который почти на два порядка больше ларморовского радиуса протонов и протонной инерционной длины c/ω_{pi} . В этих условиях измерение соотношения между интенсивностью ионно-звуковых волн, возбуждаемых электронным током во фронте волны, и упомянутых выше магнитозвуковых волн позволит выяснить их роль в формировании такой необычной околосолнечной ударной волны.

Наконец, вследствие интенсивности плазменных волн на характерных плазменных границах в зоне обтекания позволят найти положение этих границ. Наличие структуры волновых излучений (например, появление ионно-циклотронных гармоник) и их характерные частоты позволяют получить данные о параметрах плазмы и ее ионном составе.

Общая блок-схема прибора АПВ-Н представлена на рис. 66 . Флуктуации напряженности электрического поля E_f измеряются по методу двойного зонда Ленгмира, находящегося при плавающем потенциале (блоки БД1, БД2 на рис. 67).

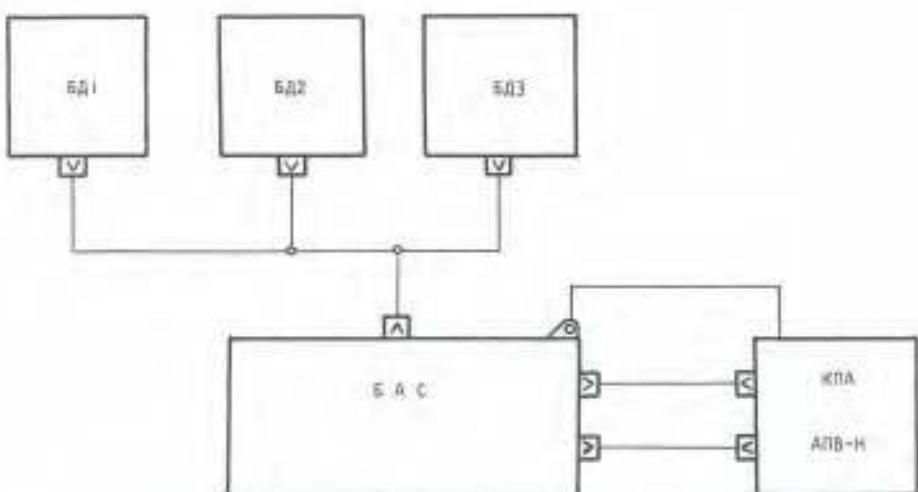


РИС. 66.

При помещении зонда в плазму он присобретает потенциал, определяемый параметрами плазмы и конфигурацией зонда. Если зонды идентичны, а параметры окружающей плазмы однородны, то потенциалы зондов относительно плазмы идентичны, т.е. разность потенциалов между ними равна нулю. Наличие в плазме электрического поля приводит к появлению между зондами разности потенциалов, пропорциональной напряженности электрического поля. Разность потенциалов должна измеряться усилителем с большим входным сопротивлением. В противном случае ток, проходящий через усилитель, приведет к выравниванию потенциала между зондами.

Для обеспечения эксперимента необходимо исключить возможность создания в объеме, где помещается двойной зонд, дополнитель-

тельных полей от находящихся поблизости элементов конструкции. Это достигается выносом зондов и предусилителей на расстояние ~ 5 м от КА при помощи специально сконструированной штанги. Штанга входит в состав КА и разработана с учетом методических особенностей эксперимента. С предусилителей сигнал поступает в блок электроники БАС (рис.67) на вход усилителя И-Л.

Флуктуации потока ионной компоненты плазмы F_f измеряются по методу многоэлектродного зонда-цилиндра Фарадея (блок БДР на рис. 67).

С помощью сетчатого электрода, на который относительно коллектора подается отрицательный потенциал, производится отсечение электронной компоненты плазмы. Ток, создаваемый потоком попадающих на коллектор ионов, измеряется усилителем ИУ-П. Для подавления фототока с коллектора, возникающего под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца, используется антидиодный сетчатый электрод.

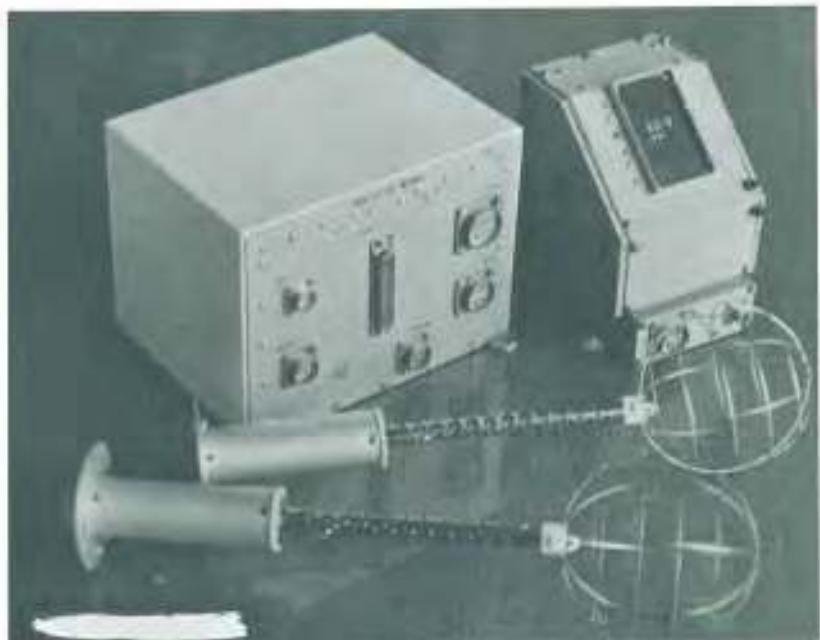


РИС. 67.

Метод двойного зонда Ленгмюра и метод цилиндра Бардса позволяют проводить прямые измерения E_f и F_f . Напряжение на выходе ИУ-Е пропорционально напряженности электрического поля на входе прибора (на зондах). Напряжение на выходе ИУ-П пропорционально величине потока ионов на коллектор. С блока измерительных усилителей (ИУ-Е, ИУ-П) сигналы поступают в анализатор спектра, запоминаются и анализируются гетеродинным анализатором, частота анализа которого много больше частоты синтезации.

В приборе применен метод комбинированной волновой диагностики. Этот метод состоит в измерении частотного спектра колебаний в потоке плазмы. Сопоставление мощностей колебаний ионной компоненты плазмы F_f и электрического поля E_f , а также анализируемых блоком БАС спектров этих колебаний позволяет надежно отождествлять моды возбуждаемых колебаний и выделять те из них, которые приводят к диссипации энергии направленного движения.

Применение комбинированной волновой диагностики, позволяющей получать подробные одновременные спектры колебаний электрического поля и потока плазмы в диапазоне частот нижнего гибридного резонанса и ионного звука, позволит, таким образом, идентифицировать моды, ответственные за формирование характерных плазменных границ в зоне взаимодействия солнечного ветра с кометой: ударной волны, контактной поверхности и возможной промежуточной границы раздела внешнего и внутреннего потоков. Уровень чувствительности прибора АПВ-Н представлен на рис. 68.

Основные характеристики прибора

Диапазон исследуемых частот	0,03 - 1000 Гц
Диапазон измерений по электрическому полю 125 мВ/м (0,1 Гц)	1 мкВ/м $\sqrt{\text{Гц}}$ (1 кГц)
Диапазон измерений по потоку ионов 10^{-8} А/см^2 (0,1 Гц)	$10^{-13} \text{ А/см}^2 \sqrt{\text{Гц}}$ (25 Гц)

Частоты бортового анализатора, Гц:

1,5	2,5	3,5	5,5	7,5	9,5-	полоса пропускания $\pm 0,8$ Гц
15	25	35	55	75	95 -	полоса пропускания ± 8 Гц
150	250	350	550	750	950 -	полоса пропускания ± 80 Гц

Диапазон частот в каналах передачи

формы сигнала 0,03 - 32 Гц

Частоты декадных фильтров 1-10 Гц, 10-100 Гц,
100-1000 Гц

Объем информации:

в БРЛ	I920 бит/с,
в БТМ	28080 бит/20 мин.

Масса:

БАС	3,0 \pm 0,1 кг
БЛ1, БЛ2	0,25 \pm 0,05 кг
БДЗ	1,0 \pm 0,15 кг

Габариты:

БАС	200x150x175 мм
БЛ1, БЛ2	6100x350 мм
БДЗ	165x145x122 мм

Энергопотребление 7,5 Вт

Автономные и комплексные испытания прибора осуществляются с помощью специализированного контрольного пульта (КПА АПВ-Н, рис.69).

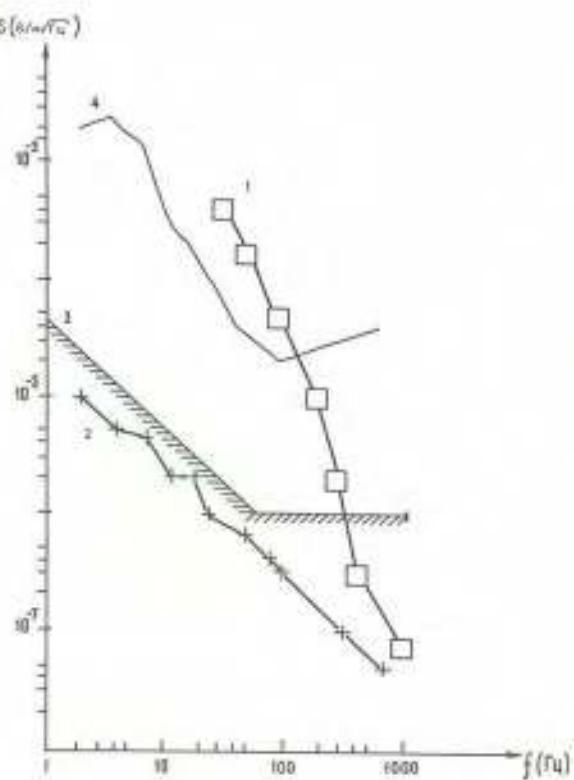


РИС. 68.



РИС. 69.

Прибор АПВ-И осуществляет также прием информации с прибора СП-1, хранение ее и передачу в БИСИ.

В разработке прибора АПВ-И принимали участие специалисты ПНР, СССР, ЧССР.

1.12. СЧЕТЧИК ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ (СП-2)

Целью эксперимента СП-2 является определение пространственной плотности пылевых частиц в голове кометы Галлея, их спектра масс и изучение пространственных вариаций этих величин.

Задачи эксперимента и методика измерений

Скорости пылевых частиц в голове кометы малы по сравнению со скоростью встречи космического аппарата с ней. В системе координат, связанной с ядром кометы, картина встречи соответствует пролету космического зонда сквозь облако неподвижных пылевых частиц со скоростью V по траектории с минимальным расстоянием от ядра R_0 .

В каждой точке траектории с расстоянием до ядра R , где концентрация пылинок с массой больше, чем некоторая заданная величина m , $n_R(>m)$, поверхность с площадью S , перпендикулярная вектору скорости V , испытывает в единицу времени $\dot{N}(>m) = n_R(>m) S V$ соударений с частицами пыли. Таким образом, измерение этой величины для разных R и одновременно разных m позволяет определить интересующую нас величину $n_R(>m)$. Очевидно, что такой прямой метод измерений позволяет не только определить общий закон зависимости концентрации пылинок от расстояния до ядра и их распределение по массам, но дает также возможность обнаружить вариации этих характеристик, связанные с нестационарными процессами в ядре (взрывные сбросы слоев, вращение и др.).

Устройство прибора

В приборе СИ-2 применены детекторы соударений двух типов: акустический и ионизационный. Общий вид прибора показан на рис. 70, его схема показана на рис. 71. Основным детектором является акустический. Он представляет собой тонкую круглую мембрану площадью 500 см^2 , на которой размещены три пьезоэлемента. При ударе частицы по мемbrane распространяется волна дефор-



Рис. 70.

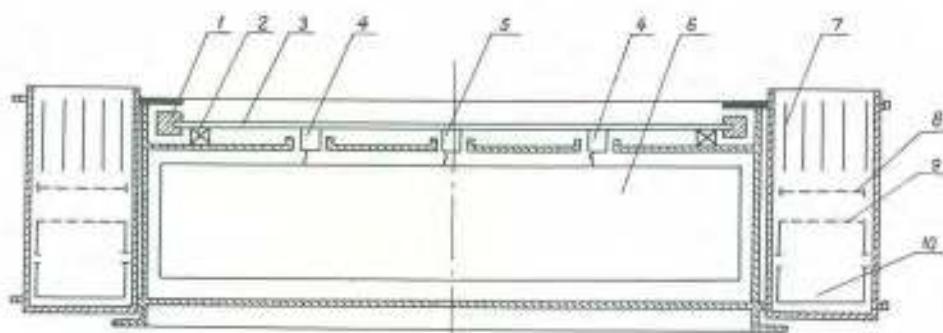


Рис. 71.

мации изгиба. Сила, действующая на пьезоэлемент и пропорциональная вертикальной компоненте ускорения, вызывает появление электрического сигнала. Установлено, что акустический детектор чувствителен к импульсу, переданному пластине при соударении. Сверхскоростной удар пылинки сопровождается микровзрывом. Образуется кратер, из которого выбрасывается вещество в виде плотной высокоинициированной плазмы. Величина реактивного импульса, связанного с выбросом, может существенно превышать собственный импульс пылинки $P = mv$. Оценки, полученные в результате численного моделирования соударения, показывают, что для скорости 80 км/с реактивный импульс может превышать начальный $P = KmV$ на порядок величины. Точная оценка коэффициента увеличения K составляет главную и серьезную трудность при калибровке такого типа детекторов.

Выходной сигнал пьезоэлектрического микрофона поступает на предусилитель. Вследствие очень малой длительности процесса соударения частотный спектр мощности сигнала простирается в область высоких ультразвуковых частот. Высокочастотная составляющая сигнала в области ~ 160 кГц усиливается узкополосным усилителем и детектируется. Выходной динамический диапазон сигналов $\sim 5 \cdot 10^6$ разделен на 16 выходных каналов с постоянным относительным изменением порога регистрации $\Delta m/m \approx 2,82$. Это позволяет в принципе провести измерение спектра масс частиц $n(>m)$ в 16 точках, равноудаленных в шкале $\log m$. Для повышения надежности проведения измерений в приборе установлены два датчика и две идентичных независимых схемы регистрации. Третий, центральный пьезоэлемент введен для контроля за сохранением калибровки прибора в полете. На него регулярно подается калибранный электрический импульс, который преобразуется датчиком в механический и имитирует соударение с частицей определенной массы.

Предварительные оценки на основе известных моделей пылевой оболочки кометы Галлея показывают, что скорость счета маленьких пылинок может быть очень высокой. При соударении с частицей на пьезоэлектрический элемент, кроме прямой волны деформации, действуют волны, отраженные от границ пластины. Этот эффект значительно затягивает выходной сигнал во времени и может ограничивать значение предельной скорости счета ударов величиной $\leq 50-100 \text{ c}^{-1}$. Это означает, что временное разрешение прибора может оказаться недостаточным и эффект насыщения наступит задолго до максимального сближения зонда с кометой. С тем чтобы избежать таких ограничений, в приборе предусмотрено подавление отражений от края пластины демпфирующими колебания устройством, размещенным по периметру мембранны. На рис. 72 показан вид

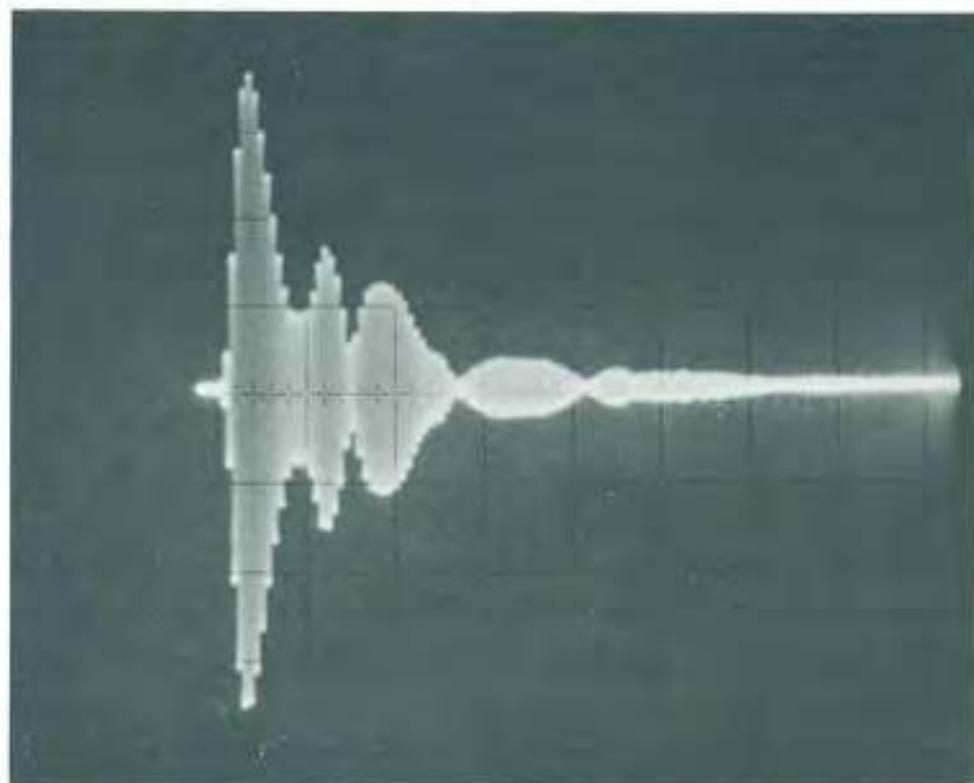


Рис. 72.

выходного сигнала, длительность которого существенно ограничена в результате эффективного подавления отражений и не превышает 1 мс.

Акустический детектор в целом крепится к корпусу прибора через три акустических изолатора, предохраняющих детектор от воздействия механических шумов.

Ионизационные детекторы пылевых частиц размещены в четырех патрубках, которые служат силовыми элементами конструкции корпуса прибора. Детекторы идентичны и объединены попарно. Подключение их к двум независимым измерительным системам позволяет дублировать получение информации. Пылевая частица пролетает через систему отклоняющих электродов и сеток, которые предохраняют внутреннюю часть детектора от воздействия окружающей плазмы и электромагнитных полей, и соударяется с поверхностью нижнего электрода. Облако плотной плазмы с высокой степенью ионизации расширяется в нижней камере, и затем заряды разного знака разделяются электрическим полем и собираются электродами камеры, к которым приложена разность потенциалов 2 кВ.

В приборе измеряется суммарный заряд электронов, собранных на нижнем электроде.

Опубликованные результаты лабораторных исследований сверхскоростного удара показывают, что заряд $Q \sim m^\alpha V^\beta$, где $\alpha \approx 1$, а $\beta \approx 3$. При постоянной скорости частиц, как в нашем случае, собранный заряд будет пропорционален массе пылинок.

Динамический диапазон ионизационных детекторов прибора составляет 10^5 . Он разделен на шесть выходных каналов, позволяющих измерять спектр масс пылевых частиц в шести точках, расположенных на шкале масс с интервалами в порядок величины. В приборе СП-2 не было необходимости реализовать предельную чувствительность ионизационного метода. Для изучения самых малых пылевых частиц в проекте ВЕГА служит прибор СП-1.

Области измерений масс акустическим и ионизационными детекторами в приборе СП-2 перекрываются на значительном участке. Это должно обеспечить сопоставление информации о пылинках микронных и субмикронных размеров, полученной независимыми методами. Такое сопоставление может понизить неопределенность, связанную с погрешностями в калибровке, и дать возможность более обоснованно провести сравнение полученных данных о частичах, которые дают основной вклад в рассеяние солнечного света, с результатами дистанционных фотометрических и поляриметрических наблюдений кометы.

Основные характеристики СП-2

Пороговая чувствительность акустического детектора пылевых частиц по переданному моменту $P_{min} \approx 2 \cdot 10^{-5}$ г см s^{-1} . С учетом того, что реактивный импульс может превышать импульс частицы mV в 5-10 раз, минимальная масса регистрируемых частиц составляет $\gtrsim 3 \cdot 10^{-13}$ г. Диапазон измерений $n(m)_{3 \cdot 10^{-13}} + 4 \cdot 10^{-6}$ г разбит на 16 каналов. Относительная ширина каналов $\Delta m/m \approx 2,82$. Чувствительная поверхность $\delta = 500$ см 2 . Время накопления при измерении одного спектра 1 с. Это соответствует пространственному разрешению на траектории пролета ≈ 80 км. Измеряемая скорость счета частиц малой массы до 4095 с $^{-1}$.

Ионизационный детектор способен регистрировать частицы с массой $3 \cdot 10^{-16} + 3 \cdot 10^{-11}$ г. Число каналов - 6. Относительная ширина канала $\Delta m/m = 10$. Чувствительная поверхность 40 см 2 . Предельная измеряемая скорость счета частиц с малой массой ≈ 65500 с $^{-1}$. Время накопления при измерении одного спектра 1 с.

Как уже отмечалось, детекторные и измерительные системы в приборе дублированы. Все результаты измерений и полетных проверок в каждом цикле формируются прибором в цифровой информационный кадр объемом ≈ 200 бит. Прибор может работать независимо или

одновременно на быструю и медленную радиолинии со скоростью передачи 65536 бит s^{-1} и 3072 бит s^{-1} соответственно.

Масса прибора 4 кг, потребляемая мощность 3,5 Вт.

Для проверки работы прибора СП-2 во всех режимах функционирования служит блок контрольно-испытательной аппаратуры (рис. 73).

Прибор разрабатывался специалистами СССР.

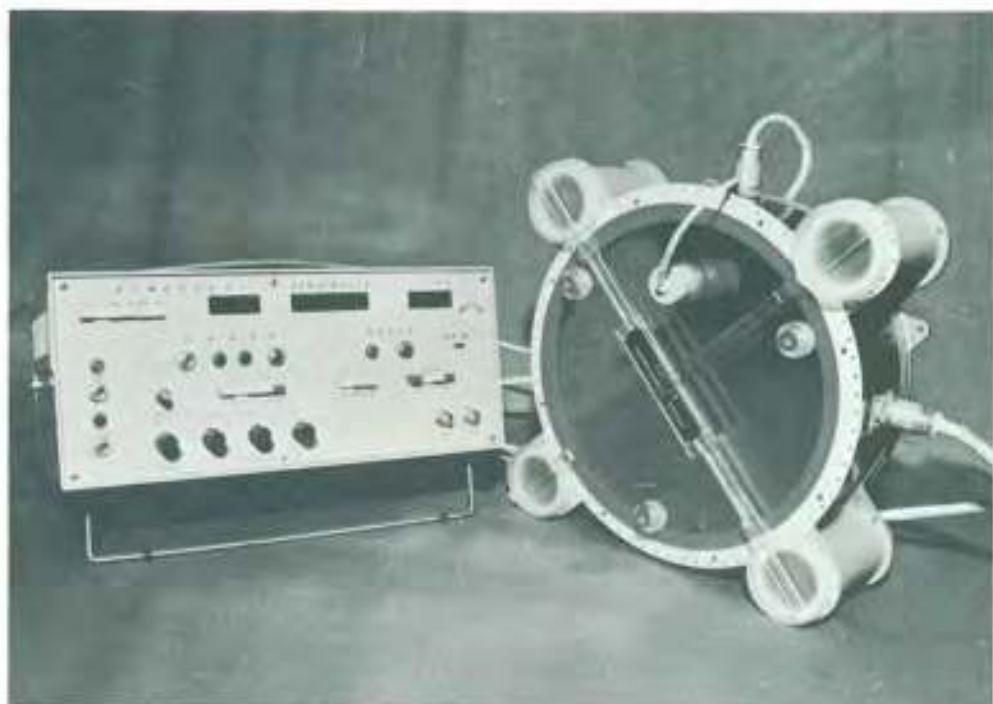


РИС. 73.

1.13. СЧЕТЧИК ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ СП-1

Основной задачей эксперимента является измерение массового спектра пылевых частиц кометы и оценка средней плотности этих частиц. Получаемая с помощью прибора информация должна позволить также получить данные о распределении пылевой компоненты вокруг ядра кометы, включая тонкую структуру пылевой оболочки.

Анализ данных эксперимента позволит исследовать механизмы выброса пылевой компоненты из ядра кометы и ускорение пылевых частиц под влиянием различных факторов.

Принцип работы прибора основан на регистрации пылевых частиц при их ударе о мишень детектора и оценке возникающего при этом заряда, протекающего в выходной цепи детектора.

Как показывают лабораторные эксперименты, суммарный заряд ионов плазменного облака, образующегося при ударе частицы о мишень, приблизительно пропорционален массе частицы:

$$Q \propto A/V m,$$

где m - масса частицы, A - коэффициент преобразования, зависящий от скорости. При скорости частицы $V \sim 80$ км/с величина A (экстраполированная) составляет $\sim 10^3$ Кл/г.

Прибор СП-1 выполнен в виде моноблока (рис. 74) и содержит следующие узлы:

- открытый детектор пылевых частиц,



РИС. 74.

- б) окрашенный детектор пылевых частиц,
- в) два идентичных узла усиления-дискриминации сигналов, каждый из которых подключен к выходу своего детектора,
- г) узел накопления цифровых данных,
- д) узел питания.

Два идентичных детектора Д1 и Д2 состоят из покрытой золотом мишени и системы коллекторов, расположенных над мишенью и ориентированных нормально по отношению к ней (рис. 75). Коллекторы закрыты маской, защищающей их от прямых ударов частиц. Мишень и маска находятся под нулевым потенциалом. Коллекторы смешены по потенциалу на +30 В (четные коллекторы) и на -30 В (нечетные коллекторы). Часть зарядов плазменного облака, образующегося при ударе пылевой частицы о мишень, собирается на коллекторы. С электродов, находящихся под положительным потенциалом, снимаются импульсы тока отрицательной полярности, а с электродов, находящихся под отрицательным потенциалом, — импульсы тока положительной полярности.

Установленная перед одним из двух идентичных детекторов пленка микронной толщины служит для отсечки частиц малой массы и плотности и позволяет сделать оценку средней плотности частиц вблизи центрального участка регистрируемого спектра масс пылевых частиц.

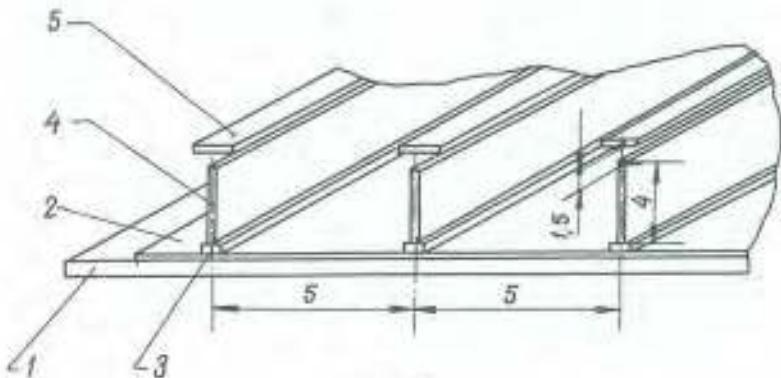


Рис. 75

Функциональная схема прибора приведена на рис. 76 . Импульсы тока, поступающие от детектора Д1(Д2), преобразуются дiodными преобразователями Д3, либо усиливаются трехсекционным усилителем У1. С выходов Д3 преобразованные сигналы поступают на амплитудный селектор АС. На другие входы АС поступают сигналы с выхода У1 и с выходов промежуточных секций У1.

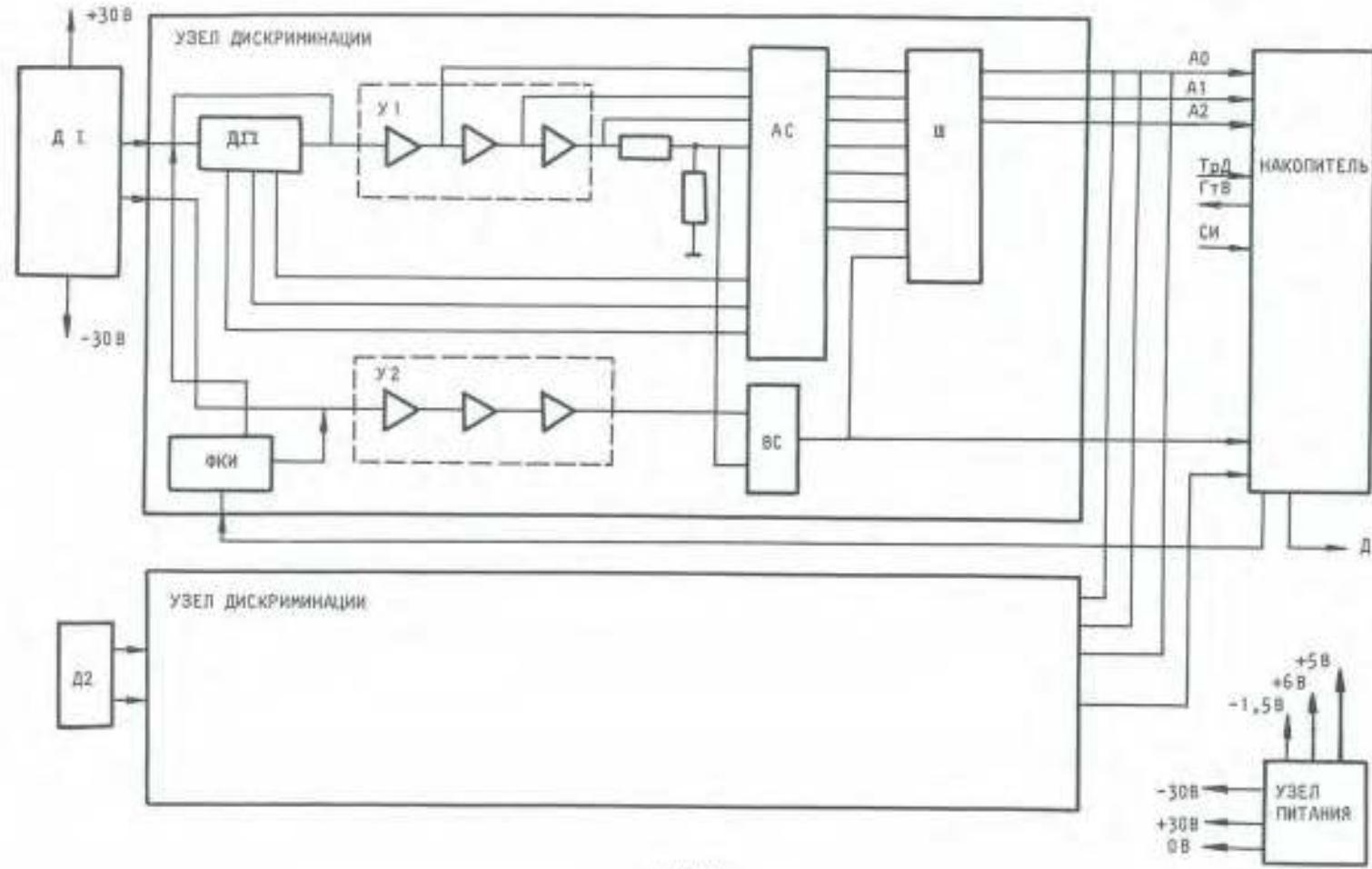
Импульсы тока положительной полярности усиливаются аналогичным трехсекционным усилителем У2 и с его выхода поступают на временной селектор ВС. В селекторе АС происходит отбор импульсов в пределах одной декады.

Каждый из семи выходов АС соответствует определенному каналу. В схеме АС используется принцип мажоритарной логики. Сигнал, появляющийся на выходной шине какого-либо канала, блокирует сигналы на выходных шинах, соответствующих более младшим каналам. Таким образом, на выходных шинах селектора присутствует только один сигнал, амплитуда которого соответствует старшему(по отношению к другим) каналу .

Сигналы с выходов АС поступают на шифратор адреса Ш и, если эти сигналы сопровождаются импульсом с выхода ВС, вырабатывается трехразрядный адресный код счетчика накопителя. В табл. 41 указаны границы зон каналов, в которых происходит накопление выработанных прибором импульсов заряда.

Таблица 41

Номер канала	Заряд, Кл
0	$0,3 \cdot 10^{-13} + 10^{-13}$
1	$10^{-13} + 10^{-12}$
2	$10^{-12} + 10^{-11}$
3	$10^{-11} + 10^{-10}$
4	$10^{-10} + 10^{-9}$
5	$10^{-9} + 10^{-8}$
6	10^{-8}



PHC. 76

В узле дискриминации предусмотрен генератор калибровочных импульсов (ГКИ) для проведения калибровки электрических цепей прибора в полете. В режиме калибровки генератор вырабатывает сигналы заряда, которые воздействуют на входы усилителей-демодуляторов и должны попадать в первый и пятый каналы, соответственно.

Информация о содержании счетчиков накопителя передается прибором в виде информационного кадра из 224 бит. Прибор передает эти данные в прибор АПВ-II через обменные информационные каналы и, таким образом, данные измерений прибора СП-1 содержатся в информационном кадре прибора АПВ-II. Время накопления импульсов от пылевых частиц определяется интенсивностью опроса прибора и составляет 2,5 мин в режиме записи на магнитофон и 2 с в режиме непосредственной передачи.

Диапазон регистрируемых прибором масс определяется, помимо коэффициента преобразования массы в заряд, также эффективностью сбора зарядов коллекторами и эффективностью регистрации импульсов заряда электронной схемой. Общая эффективность прибора, т.е. регистрируемый диапазон масс, должен быть определен в результате калибровочных испытаний и модельных расчетов.

Счетчик пылевых частиц СП-1 разрабатывался специалистами СССР.

1.14. ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ ПРИБОР "ФОТОН"

Оптико-электронный прибор "Фотон" предназначен для исследования пылевой атмосферы кометы Галлея и характеристик ее взаим-

иодействия с космическим аппаратом ВКА при его движении в окрестности ядра кометы. Задачами научного эксперимента являются:

- измерение физических параметров пылевой составляющей кометной атмосферы: плотности и массы пылевых частиц, плотности потока частиц на различных расстояниях от ядра кометы;
- получение данных, определяющих механизмы высокоскоростного удара пылевых кометных частиц о поверхность космического аппарата;
- определение эффективности работы противометеоритных защитных экранов и степени безопасности движения аппарата в условиях пылевой атмосферы.

Тонкий эталонный экран при высокоскоростном ударе пропивается пылевыми частицами. Схемным решением прибора явилась имитация принятой противометеоритной защиты на космическом аппарате ВКА. "Ботон" регистрирует кометные пылевые частицы на всей пролетной траектории аппарата.

Прибор "Фотон" установлен на космическом аппарате со стороны борта, обращенного к Солнцу и комете. Угол между поверхностью эталонного экрана и направлением солнечного потока излучения составляет 52° . Внешний вид его показан на рис. 77. Прибор состоит из двух конструктивных элементов: эллипсоидальной приемной камеры с тонким эталонным экраном и электронного блока, предназначенного для обработки и передачи сигналов в телеметрию космического аппарата. Тонкий эталонный экран выполнен в виде круглой пластинки толщиной 100 мкм, которая изготовлена из никелевой ленты. На теневой внутренней стороне экрана-мишени по центру установлен пьезокерамический преобразователь. Элемент предотвращает попадание частиц в пьезокерамику. Для настройки характеристик мишени применен специальный натяжитель. Экранирующая часть прибора изолирована от остальной конструкции акустическим фильтром. Бирюзка из параболического зеркала с фокусным

расстоянием 0,075 м является несущей в конструкции прибора. В качестве фотоприемника используется кремниевый фотодиод.

Угол между поверхностью экрана и направлением пылевого потока равен 60° . При такой ориентации мишени плазменная струя, возникающая при пробое, направлена на боковую поверхность приемной камеры. При этом загрязнение поверхности рефлектора сводится к минимуму. Для контроля качества его отражающей поверхности используются светодиод, расположенный в приемной камере.

Блок электроники состоит из размещенных в нем четырех электронных плат и источника питания, установленного в отдельном секционном отделении.



РИС. 77.

Для обеспечения теплового режима прибора (250 – 330 К) все его поверхности, кроме мишени и пассивного теплового радиатора, закрыты экранно-вакуумной тепловой изоляцией.

Чувствительная поверхность прибора – мишень – облучается Солнцем. Уровень ее энергетической освещенности постоянный. При высокоскоростном ударе о тонкий экран пылевой частицы (с массой 10^{-10} г и более) происходит его пробивание, сопровождающееся разлетом и охлаждением продуктов испарения частицы и материала мишени. Излучение от вспышки, возникающее в приемной камере, а также прошедший затем через пробитое отверстие в экране поток солнечного излучения регистрируется оптической системой прибора. Пьезокерамический преобразователь фиксирует акустический сигнал, генерированный ударом частицы об экран. Стробирование акустического приемника осуществляется сигналом, формируемым вспышкой.

На основе пылевой модели кометы, гидродинамических расчетов и имеющихся результатов по высокоскоростному удару включены ожидаемые повреждения тонкого экрана в процессе движения космического аппарата через кому кометы. Эти данные использовались при разработке методики измерений для прибора "Фотон".

Функциональная схема электронной части прибора приведена на рис. 78.

Сигналы об освещенности и вспышке с фотоприемника разделяются соответственно фильтрами верхних и нижних частот на два канала. Величина фоновой освещенности предварительно оценивается с помощью устройства выбора масштаба освещенности (ВМО) и источника опорного напряжения (ИОН). После выбора масштаба осуществляется преобразование этой величины в двоичный десятиразрядный код с помощью аналого-цифрового преобразователя освещенности (АЦП) и запоминание двоичного числа в регистре арифметически-логического устройства (АЛУ). АЛУ позволяет так-

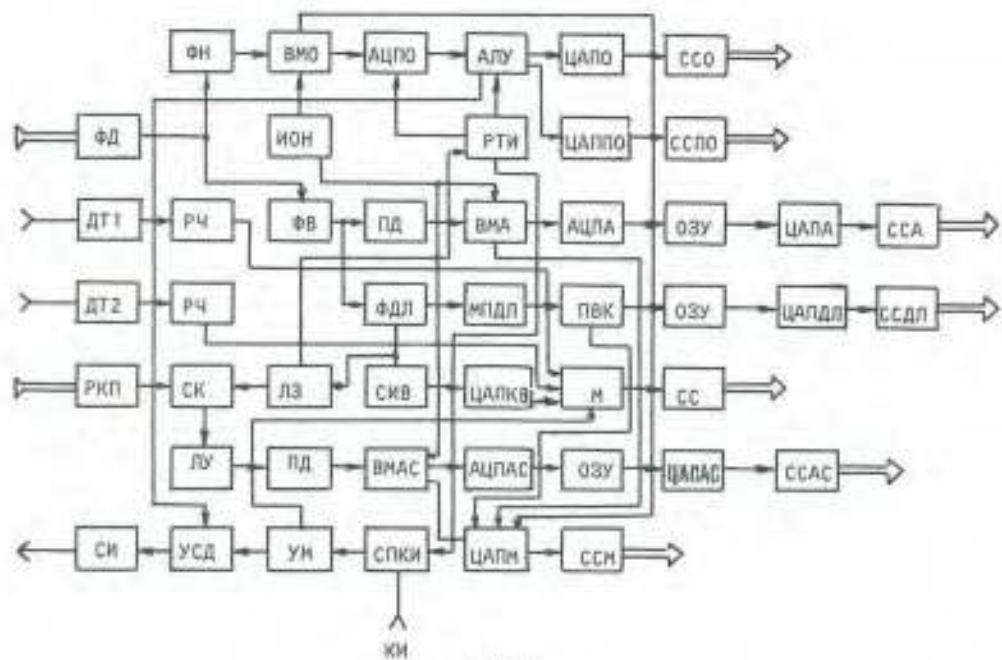


РИС. 78.

же вычислить приращение освещенности от каждой пылевой частицы раздельно. Цикл преобразований над сигналом освещенности задается распределителем тактовых импульсов (РТИ), который запускается задержанным сигналом вспышки. Информация об освещенности и приращении освещенности выдается в каналы телеметрии в аналоговой форме в диапазоне $0 \pm 6,3$ В.

Сигнал вспышки поступает на пиковый детектор (ПД) амплитуды и формирователь длительности (ФДЛ). В ПД осуществляется кратковременное запоминание его амплитуды, а с помощью ШИМ и ИОН осуществляется предварительная ее оценка. Затем преобразователем АЦЛА сигнал преобразуется в шестнадцатеричный двоичный код, который поступает в телеметрию. Откалиброванный по амплитуде сигнал вспышки после ФДЛ подвергается масштабному преобразованию по длительности с помощью МПДП, после чего преобразователь время-код ПВК осуществляет измерение длительности сигнала вспышки в цифровой форме. Этот двоичный код длительности вспыш-

ки хранится в ОЗУ и выдается через ЦАПЛ и ССДЛ в телеметрический канал.

Сигнал с пьезокерамического преобразователя (РКП) через стробирующий каскад (СК) и логарифмический усилитель (ЛУ), расширяющий динамический диапазон измерителя амплитуды акустического сигнала по входу, поступает на ПД. Его дальнейшая обработка осуществляется аналогично обработке амплитуды сигнала вспышки. Для исключения акустических сигналов, появляющихся от пылевых частиц, не пробивающих мишень, а также случайных сигналов, вызванных колебаниями мишени, осуществляется стробирование сигнала РКП.

Информация о количестве вспышек (т.е. числе частиц, пробивающих мишень) через ЦАПКВ, мультиплексор (М) и согласующую схему (СС) поступает в аналоговой форме в телеметрический канал.

При проверке функционирования прибора используется светомодулятор (СИ), который совместно со схемой УСД моделирует сигналы фоновой освещенности, приращения освещенности и вспышки. В рабочем режиме УСД с помощью сигнала с АЛУ отключает СИ. Преобразователи температуры ДТ и ДГ2 совместно с устройствами регулировки чувствительности (РЧ) осуществляют измерение температурного режима фото- и пьезокерамического приемников. Сигналы с преобразователей поступают на М и далее через СС в телеметрический канал. Управление М и СИ осуществляется с помощью схем УИ и привязки кадровых импульсов (СИК). Схема СИК осуществляет временнную привязку импульсов РТМ к кадровым импульсам (Ю).

Начальные коэффициенты измеряемых величин со схем БИС, ПМА, ПНК, БИАС через ЦАПМ и ССМ поступают в телеметрический канал. Блок электроники формирует также телеметрические сигналы о нуле-вом и стопроцентном уровнях передаваемых сигналов и другие информативные сигналы, позволяющие определить функционирование прибора.

Многопараметрический прибор "Фотон" регистрирует как в аналоговой, так и цифровой форме общую освещенность в приемной камере, пропорциональную площади пробитых отверстий; приращение освещенности после каждого пробивания пылевой частицей мишени; амплитуду и длительность каждой вспышки, т.е. энергию вспышки, пропорциональную энергии налетавшей частицы; количество вспышек в приемной камере; амплитуду акустического сигнала с пьезокерамического преобразователя. Точность измерения сигналов: по каналу освещенности и ее приращению - 10 двоичных разрядов в четырех диапазонах; по каналу амплитуды вспышки - 6 двоичных разрядов в 4 диапазонах; по каналу длительности вспышки - 8 двоичных разрядов; по каналу импульса частицы - 6 двоичных разрядов. Разрешающая способность: по каналам освещенности и ее приращению - 40 мкс; по каналу амплитуды вспышки - 50 мкс; по каналу длительности вспышки - 100 мкс; по каналу амплитуды акустического сигнала - 1 мс. Тактовая частота телеметрического опроса 2 Гц.

По зарегистрированным сигналам определяются следующие физические параметры: плотность и масса частиц пыли, плотность пылевого потока, а также характеристики взаимодействия пылевых частиц с тонкой проградой результатирующей импульсом, переданным экрану продуктам выброса; площадь пробитых отверстий и их диаметр, масса выброшенного вещества).

Технические характеристики прибора "Фотон"

Рабочая площадь тонкого экрана	137 см^2
Диапазон измеряемых масс частиц	$10^{-10} - 10^{-5} \text{ г}$
Диапазон измеряемых плотностей частиц . .	$0,8 - 3,5 \text{ г/см}^3$
Диапазон измеряемых импульсов	$10^{-7} - 10^{-3} \text{ Нс}$
Измеряемая площадь отверстия	от $2 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2$ и выше
Количество используемых телеметрических	

каналов	9
Информативность прибора	108 бит/с
Потребление	4 Вт
Масса	2,1 кг

Оптико-электронный прибор "Фотон" разработан специалистами СССР.

1.15. СЧЕТЧИК И МАСС-АНАЛИЗАТОР ПЫЛЕНОК ДУСЛА

Цель эксперимента

Регистрация распределения пылевых частиц по массам и измерение плотности их потока представляет большой научный интерес. Датчик ДУСЛА, который дополняет прибор ПШП плазменного комплекса аппарата ВЕГА, предназначен для решения указанных научных задач. Датчик построен на новом принципе регистрации частиц. Он позволяет регистрировать скорость счета частиц в диапазоне до 50 тыс. ударов частиц в секунду и их распределение по массам в пределах от $1,5 \cdot 10^{-13}$ до $9 \cdot 10^{-11}$ г.

Принцип действия и рабочие характеристики пылевого детектора из поливинилиден-Фторида (PVDF)

Пылевой детектор состоит из тонкой пленки из материала $PVDF$, имеющей на обеих поверхностях проводящие электроды. Материал $PVDF$ подвергается специальной обработке для придания ему объемной поляризации Р (дипольный момент на единицу объема), направленной перпендикулярно поверхности пленки. Сильная зависимость величины Р от температуры и давления определяет широкие пьезоэлектрические характеристики пленок.

Частицы пыли с высокой кинетической энергией, падая на тонкий детектор, удаляют небольшой объем материала пленки ΔV .

При этом изменяется заряд на электродах детектора ($\Delta Q = P \Delta V$), что вызывает короткий импульс тока во внешней цепи. Импульсы регистрируются электронной схемой.

Для подтверждения свойств **PVDF** пылевых детекторов была проведена их калибровка на ускорителе пылевых частиц. Диапазон масс и скоростей, в котором были выполнены измерения, $-10^{-13} - 10^{-10}$ г и 1 - 12 км/с, соответственно. Для пленок толщиной 2 - 28 мкм и площадью 4 - 150 см² были получены зависимости амплитуды импульсов от скоростей и масс частиц. Было показано, что диапазон регистрируемых масс и различных скоростей для **PVDF**-детектора хорошо согласуется с аналогичными пылевыми детекторами, основанными на других физических свойствах. Однако **PVDF**-детектор имеет ряд преимуществ перед другими:

- 1) простая технология изготовления;
- 2) отсутствует внешнее электрическое смещение;
- 3) устройства ударопрочны, гибки и стойки к радиации (почти до 10^7 рад);
- 4) обладают долговременной стабильностью при хранении и могут действовать в течение длительного времени в интервале температур $-30 \div +40^{\circ}\text{C}$;
- 5) способны считать удары частиц пыли до 10^4 в секунду;
- 6) механические пробои пленки не изменяют характеристики детектора;
- 7) для данной толщины и площади пленки все детекторы имеют одну и ту же зависимость амплитуды импульсного сигнала от массы и скорости частиц пыли (в пределах ошибки эксперимента);
- 8) для данной толщины пленки характеристики с точностью 20% не зависят от площади детектора в пределах 0,5 - 150 см²;
- 9) фоновые потоки заряженных частиц не оказывают влияния на характеристики детектора;

10) установлено, что шумовые фони от вибраций и т.п. незначительно влияют на работу детектора .

По результатам испытаний для летного образца прибора была выбрана пленка $PVDF$ толщиной 28 мкм и площадью 75 см².

Во время сближения аппарата ВЕГА с кометой Галлея эффективная скорость аппарата близка к 78 км/с. Датчик ДУСМА имеет четыре электронных порога (М1 – М4). Измерения будут выполняться в следующих четырех интервалах масс частиц пыли во время сближения:

$$\begin{aligned} M_1 \bar{V} &\geq 1,5 \cdot 10^{-13} \text{ г}, \\ M_2 \bar{V} &\geq 9 \cdot 10^{-13} \text{ г}, \\ M_3 \bar{V} &\geq 9 \cdot 10^{-12} \text{ г}, \\ M_4 \bar{V} &\geq 9 \cdot 10^{-11} \text{ г}. \end{aligned}$$

Блок-схема электроники прибора показана на рис.79. Для обеспечения как высокой ожидаемой скорости счета событий при сближении , так и малой скорости счета на межпланетной трассе, будут использоваться две различные системы счета. При сближении с кометой, когда относительная скорость частиц для всех соударений будет одной и той же (и известной), сигнал $PVDF$ – детектора окажется однозначно связан с массой пылевых частиц. С помощью $PVDF$ – детектора одновременно будут измеряться как распределение частиц по массе, так и плотность потока частиц кометной пыли.

Основные характеристики датчика ДУСМА

Общая масса	2,70 кг
Масса блока ДУСМА-Д	0,48 кг
Масса блока ДУСМА-Э	2,20 кг
(Масса кабелей	1,13 кг)
Потребляемая мощность	2,0 Вт

Площадь мишени 75 см^2

Диапазон измерений

по массам частиц от $1,5 \cdot 10^{-13}$ до $9 \cdot 10^{-11}$

Скорость счета частиц до $5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$

Диапазон рабочих температур $-30 \sim +40^\circ\text{C}$

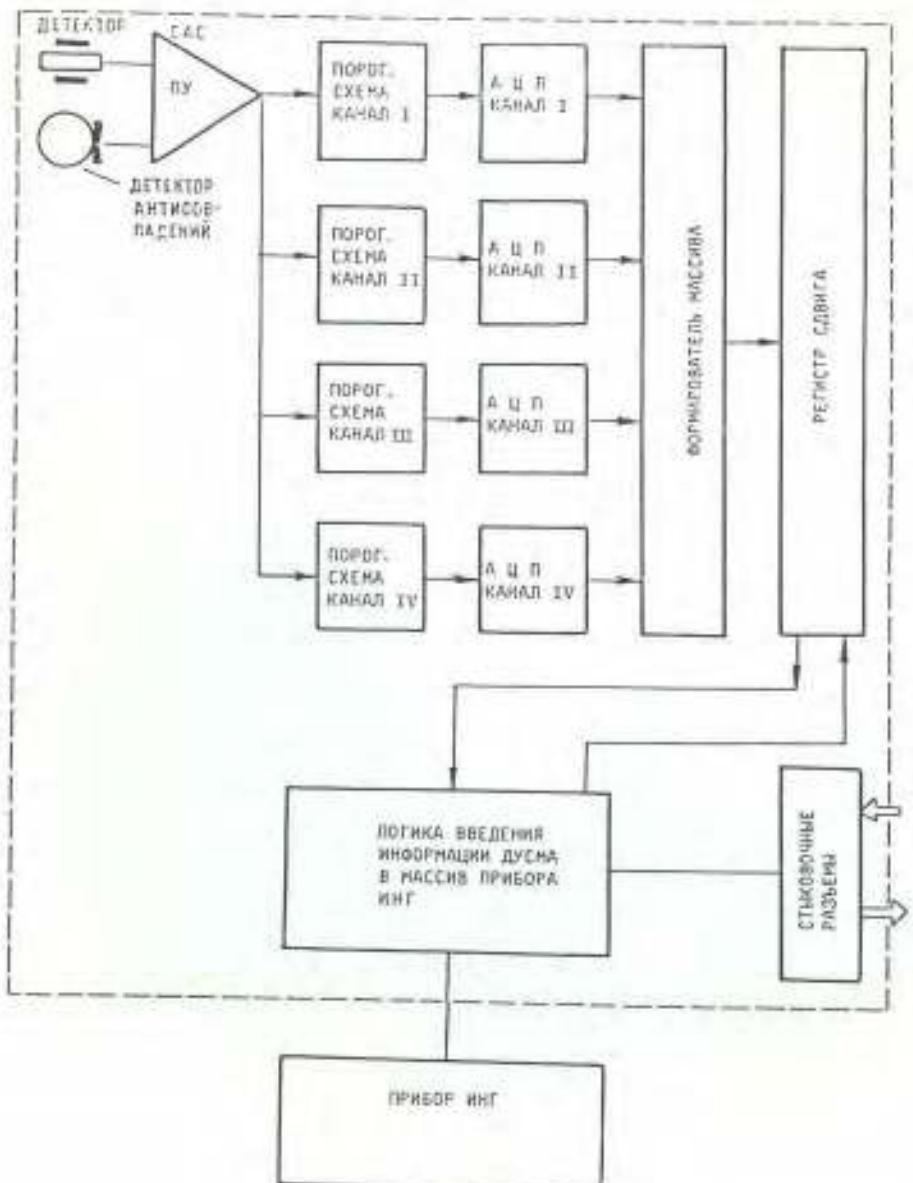


РИС. 79.

Конструкция и установка датчика

Датчик состоит из двух блоков - ДУСМА-Д - детектор частиц и ДУСМА-Э - блок электроники. Блок ДУСМА-Д представляет собой рабочий элемент из материала РУДФ (пленка толщиной 28 мкм), заключенный в корпус из алюминиевого сплава. Внутри корпуса находится система акустической развязки от шумов аппарата, а также детектор системы антисовпадения. Блок ДУСМА-Д устанавливается на внешней поверхности аппарата примерно нормально к направлению кометных частиц. Общий вид прибора представлен на рис.80.

Прибор ДУСМА разработан специалистами ИНР, СССР и ФРГ.



РИС. 80.

I.I6. БОРТОВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, СБОРА И ПЕРЕДАЧИ НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Служебная аппаратура, установленная на космическом аппарате "Венера-Галлей", предназначена для управления научными приборами, сбора и передачи научной информации. Она состоит из приборов БУНА - "Блок управления научной аппаратурой" (рис.81), БЛМСИ -



Рис. 81.

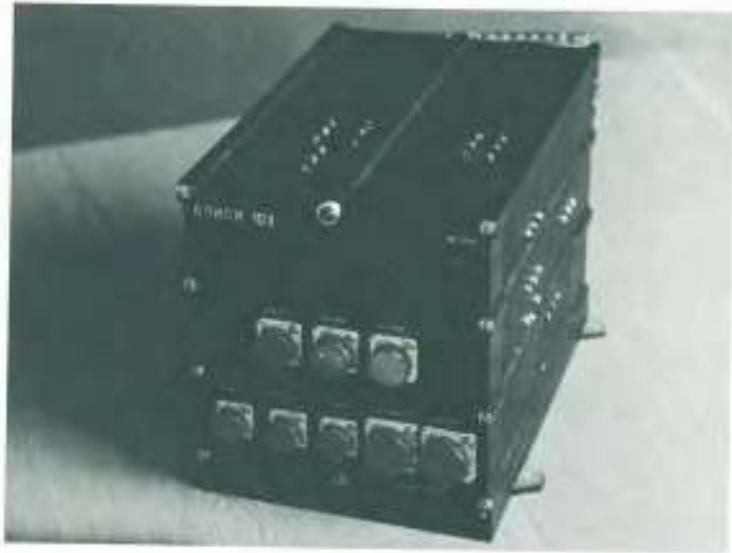


Рис. 82.

"Блок логики и сбора информации" (рис.82), а также бортового радиотелеметрического комплекса (РТМ), позволяющего передавать научную информацию со скоростью 3072 и 65536 бит/с.

Система управления, сбора и передачи научной информации рассчитана на проведение научных экспериментов как на трассе перелета, так и при пролете вблизи кометы Галлея (рис. 83).

К основным задачам системы относятся следующие:

- управление функционированием научных приборов в соответствии с научными задачами;
- обеспечение различных режимов работы приборов;

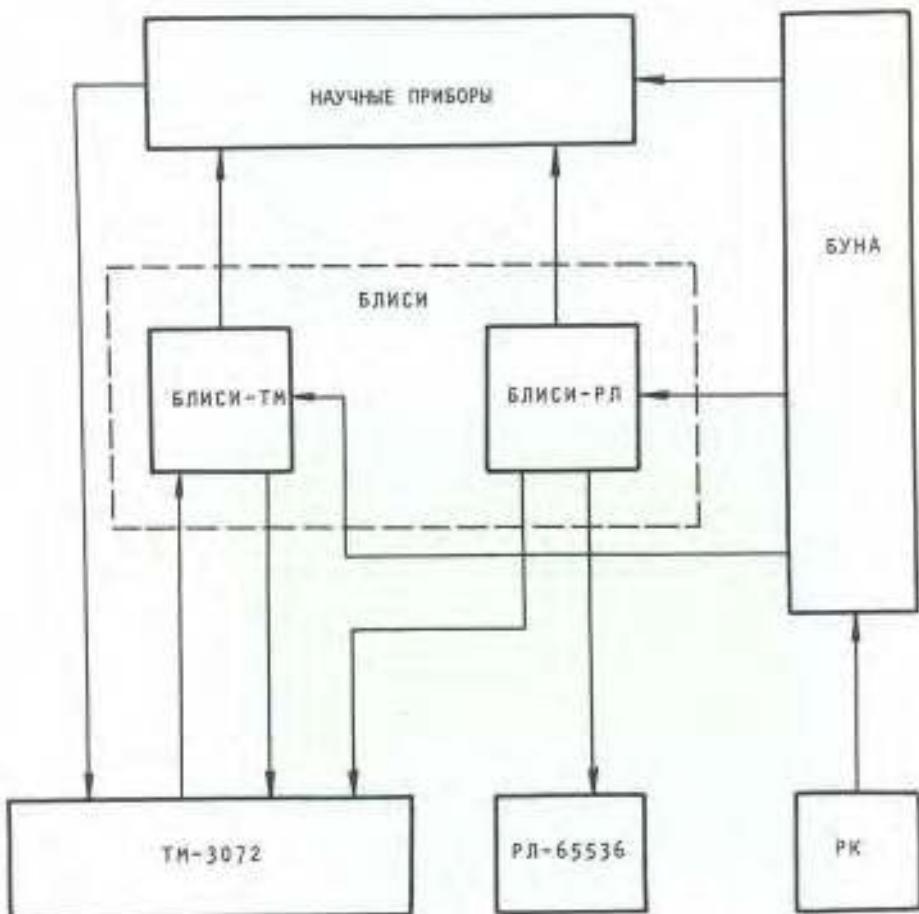


РИС. 83.

- перераспределение информационных объемов приборов в зависимости от решаемых задач и ситуаций из-за ограничения емкости бортовых запоминающих устройств (ЗУ);
- сбор научной информации;
- синхронизация вывода научной информации;
- формирование кадра научной информации;
- передача научной информации в ЗУ емкостью $5 + 10$ Мбит или радиоиздиг непосредственной передачи информации в реальном масштабе времени на Землю со скоростью 3072 и 65536 бит/с.

На КА предусматривается работа комплекса научных приборов в семи режимах:

- I - "Трасса-1" (TM-3072)
- II - "Трасса-1 + ИКС" (TM-3072)
- III - "Контроль научных приборов" (РЛ-65536)
- IV - "Трасса-2" (TM-3072)
- V - "Трасса-2 + ИКС" (TM-3072)
- VI - "Комета" (РЛ-65536)
- VII - III (TM-3072).

Технические характеристики научных и служебных приборов, установленных на пролетном аппарате "Венера-Галлей", приведены в табл. 42-44.

Режим "Трасса-1" выключается на пятнадцатые сутки после старта КА по команде с Земли и продолжается до подлета к комете Галлея. При этом осуществляется постоянное включение приборов ИИНА, ТН-М, а также разрешается прохождение меток I d ; 20^m и 24^m на включение и выключение приборов ПМ-1, ИНГ, ДУСМА и БЛИСИ. Это дает возможность каждые 20 мин производить запись 3060 бит информации научных приборов в бортовое ЗУ емкостью $\sim 5 \cdot 10^6$ бит. Считывание научной информации из ЗУ на Землю осуществляется каждые $20 + 30$ дней.

Таблица 12

Технические характеристики научных и служебных приборов, установленных на пролетном аппарате "Венера-Галлий"

Индекс прибора	Название прибора	Масса, кг	Энергопотребление, Вт	Информативность РЛ-65536, бит/с	Информативность ТЛ-3072 бит/20 ^н
Научные приборы					
IA1	TDC	31,5	50/15	32768	-
IA2	ТКС	14,0	30/2	12288	-
IA3	ИКС	18,0	18/4	2048	4320
IB1	ПУМА	18,7	31/0,7	10240	-
IB2	СИ-1	1,9	0,6	150	2160
IB3	СИ-2	4,2	4,5	1024	2160
IB4	ИИГ-	6,8	8,5/1	1024	1080/360
	ИУСМА	2,7	2,0	-	- -
IC1	ИИМ-1	9,0	6/2	2048	15120/1620
IC2	ТИ-1	4,5	6	512	6480/540
IC3	ИИША	4,0	6	512	2160/540
IC4	ЛИВ-Н	4,9	7/2	2048	28080
IC5	ЛИВ-В	3,0	3	512	15120
Служебные приборы					
ID1	АСП-Г	84,0	30	512	2160
ID2	БУНА	12,6	8	-	-
ID3	БЛНСИ	9,0	13	-	-
		228,8	225,8/26,7	65536	76680/3060

Информативность научных приборов в режимах
медленной радиогонки ТА-3072

Индекс прибора	Шифр	ТА - 3072				III	III+IVC		
		"Трасса-1"		"Трасса-2"					
		"TKC"	"TKC + IHC"	"TKC"	"TKC + IHC"				
IA1	TBC								
IA2	TKC								
IA3	IHC		4320		4320		4320		
IB1	ПУМА								
IB2	СП-1			2160	2160	2160	2160		
IB3	СП-2			2160	2160	2160	2160		
IB4	ИНГ - ДУСМА	360	360	1080	1080	1080	1080		
IC1	ПМ-1	1620	1620	15120	15120	15120	15120		
IC2	TH-M	540	540	6480	6480	6480	6480		
IC3	ЛНПА	540	540	2160	2160	2160	2160		
IC4	АНВ-Н			28080	28080	28080	28080		
IC5	АНВ-З			15120	15120	15120	15120		
ID1	АСП-Г			2160	2160	2160	2160		
ID2	ЕНТА								
ID3	БЛСТ								
		3060	7360	72360	76680	72360	76680		

Примечание: Информация прибора СП-1 выводится через прибор АНВ-Н и входит в общий объем его информативности.
 Информация прибора ДУСМА выводится через прибор ИНГ и входит в общий объем его информативности.

ТАБЛИЦА 14

Информативность научных приборов в режиме быстрой радиомини РЛ-65536

индекс прибора	номер прибора	РЛ-65536		
		общая информатив- ность , бит/с	служебная инфор- мативность, бит/с	научная инфор- мативность, бит/с
А1	ТВС	32768	2048	30720
А2	ТКС	12288	768	11520
А3	ИКС	2048	128	1920
В1	ПУМ	10240	640	9600
В2	СП-1	-	-	160
В3	СН-2	1024	64	960
В4	ИНГ - ДУСМА	1024	64	960
Г1	ПМ-1	2048	128	1920
Г2	ТН-М	1024 бит/2 ⁰	64 бит/2 ⁰	960 бит/2 ⁰
Г3	МПМ	1024 бит/2 ⁰	64 бит/2 ⁰	960 бит/2 ⁰
Д4	АПВ-Н	2048	128	1920
Д5	АПВ-В	1024 бит/2 ⁰	64 бит/2 ⁰	960 бит/2 ⁰
Д6	АСН-Т	1024 бит/2 ⁰	64 бит/2 ⁰	960 бит/2 ⁰
Е2	БУНА	-	-	-
Е3	БЛМС	-	-	-
		65536	4096	61440

Примечание: Информация прибора СН-1 выводится через прибор АПВ-Н и входит в общий объем его информативности.

Информация прибора ДУСМА выводится через прибор ИНГ и входит в общий объем его информативности.

Режим "Контроль научных приборов" включается каждые два месяца на трассе перелета КА для проверки функционирования комплекса научных приборов при работе быстрой радиолинии РЛ-65536. При этом осуществляется включение всех научных приборов в режим, аналогичном режиму пролета кометы.

После пролета планеты Венера осуществляется раскрытие штанг анализатора плазменных волн низкой частоты АПВ-Н.

Режим "Трасса-2" включается за двое суток до пролета кометы Галлея. При этом осуществляется постоянное включение приборов СП-1, СП-2, МИГ, ДУСМА, ПМ-1, ТН-М, МИША, АПВ-Э, АСП-Г и ТЭС (дежурный режим). Каждые 20 мин 72360 бит информации научных приборов записывается в бортовое ЗУ. Считывание научной информации с ЗУ на Землю проводится каждые сутки во время режима "Комета".

Режим "Комета" начинается с проведения подготовительных операций с целью установки научной аппаратуры в рабочее положение. За десять суток до пролета кометы осуществляется расчековка автоматической стабилизированной платформы АСП-Г, разарретирование по α и β и установка в исходное положение. Это дает возможность проверить функционирование АСП-Г и принять меры в случае возникновения неисправностей. Режим "Комета" делится на пять подрежимов пролета: "Сеанс за -2d", "Сеанс за -1d", "Сеанс "Комета", "Сеанс +1d", "Сеанс +2d". В режиме "Комета" включаются все научные приборы. Информация передается по быстрой радиолинии РЛ-65536.

Выключение режима непосредственной передачи НП по медленной радиолинии ТМ-3072 осуществляется по команде с Земли. При этом включаются все научные приборы и производится считывание информации последовательно с каждого прибора с периодом 0,5 с и передача по медленной радиолинии ТМ-3072 со скоростью 3072 бит/с, одновременно передается контрольная информация о функционирова-

нии научных приборов в аналоговом и контактном виде. В сеансое "Комета" режим НИ для ТМ-3072 включается за 0,5 до минимального обстояния с кометой Галлея в течение 1 ч . Этот режим включается для увеличения надежности получения научной информации. Информативность научных приборов в различных режимах функционирования приведена в табл. 43 .

Блок управления научной аппаратурой БУНА

БУНА предназначен для реализации программы функционирования научных приборов на трассе перелета КА и при пролете кометы Галлея. Основными функциями БУНА являются:

- коммутация питания научных приборов в соответствии с программой полета;
- выдача функциональных команд управления;
- выдача меток (команд бортового программного устройства);
- формирование и выдача двадцати четырех битовых числовых команд (ЧК) - 24 бит;
- формирование и выдача индивидуальных функциональных числовых команд (ФЧК).

Блок-схема БУНА представлена на рис. 84 .

Первые три функции прибора БУНА реализуются при получении с Земли функциональных команд и из бортового программного устройства - меток. При этом выполняется включение научных приборов в зависимости от режимов их работы и программы полета.

Для выполнения четвертой и пятой функции - формирование и выдача ЧК и ФЧК в научные приборы - БУНА получает с Земли код в сопровождении символа синхронизации. Код поступает на входной регистр (см.рис. 84), а с него - на дешифратор. Дешифратор открывается и выдает сигнал длительностью 0,8 с на один из выходов, из которых с 1 по 15 используются для выбора адреса прибора, а с

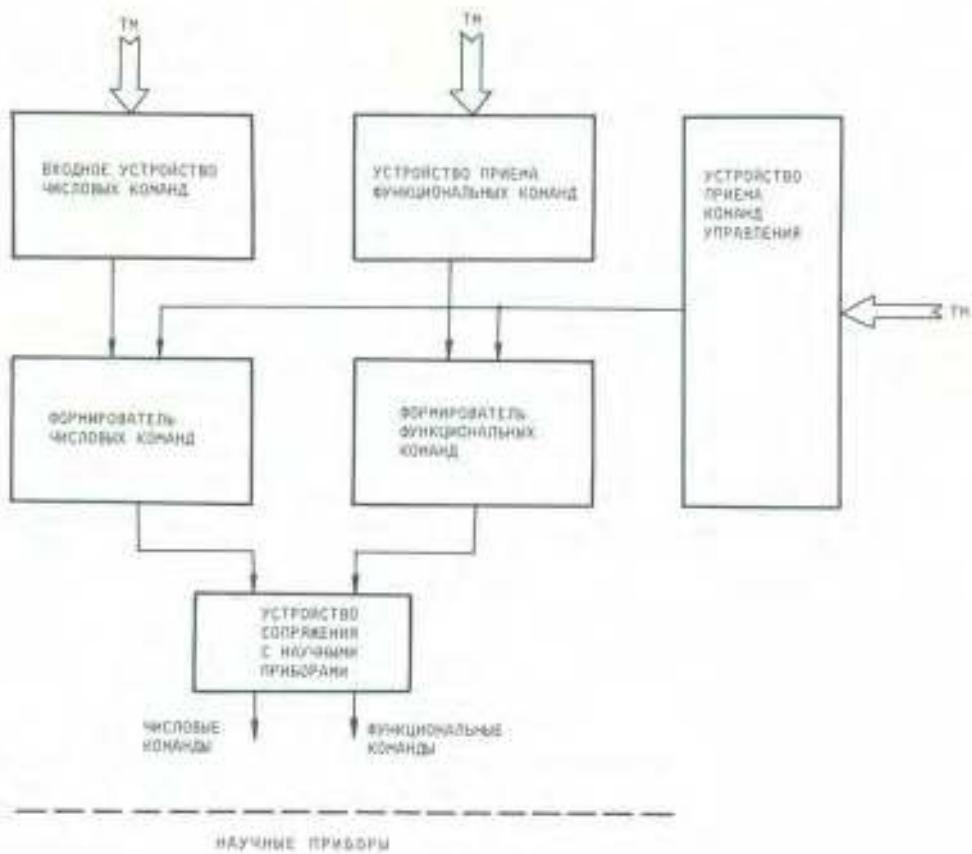


Рис. 84.

16 по 62 выходы дешифратора идут на выходные каскады для выдачи индивидуальных ЧК в научные приборы. В случае, если на дешифраторе появляется сигнал "Адрес номера прибора", то он запоминается, и при этом разрешается выдача ЧК по выбранному адресу прибора. Для того чтобы в выбранном приборе появилась числовая команда, необходимо с Земли подать на БУНА команду "Разрешение приема ЧК". Эта команда запретит работу дешифратора, и код, полученный с Земли, из входного регистра будет сдвигаться в регистр-накопитель ЧК. После получения очередной посылки кода, весь код ЧК в сопровождении сигналов синхронизации выдается в научный прибор, который был ранее выбран. В прибор можно выдать несколь-

ко команд, точнее ЧК можно выдавать до тех пор, пока с Земли в БУНА не придет команда "Разрешение работы дешифратора". Эта команда отключает "Адрес прибора" и запрещает сдвиг кода в регистре-накопитель.

Для обеспечения надежной работы в БУНА использована мажоритарная логика 2 из 3 и сделан холодный резерв электроники выдачи ЧК и ФЧК и источника питания, коммутация которых осуществляется по командам с Земли.

Прибор БУНА разрабатывался специалистами СССР.

Блок логики и сбора информации

Блок логики и сбора информации (БЛСИ) предназначен для сбора и передачи научной информации от приборов в бортовую служебную систему сбора данных - канал ЗК Бод (ТМ-3072) - и систему передачи данных - канал 64К Бод (РЛ-65536) - пролетного аппарата "Венера-Галлей" (ВГА).

БЛСИ выполняет следующие задачи:

- управление выводом научной информации из приборов пролетного аппарата;
- прием научной информации от приборов пролетного аппарата;
- поблочный вывод информации в ТМ-3072;
- поблочный вывод информации в РЛ-65536;
- синхронизацию вывода информации в РЛ-65536;
- формирование заголовка ("шапки") для информационных блоков канала РЛ-65536.

БЛСИ работает в следующих режимах:

- "Трасса-1" "Трасса-1" + ИКС", "Трасса-2", "Трасса-2" + ИКС", когда передаваемая научная информация временно записывается в бортовое запоминающее устройство системы сбора данных, а затем передается на Землю, и ИП - режим непосредственной передачи информации на Землю по каналу ЗК Бод;

- "Режим 65" и "Режим 32", когда научная информация передается непосредственно на Землю с помощью системы передачи данных пролетного аппарата НЕГА со скоростью 64К Бод или 32К Бод.

БЛСИ состоит из двух функционально независимых устройств:

- БЛСИ-ТМ (БТМ) - прибор, предназначенный для работы с каналом ЗК Бод,
- БЛСИ-РЛ (БРЛ) - прибор, предназначенный для работы с каналом 64К Бод.

Описание БЛСИ

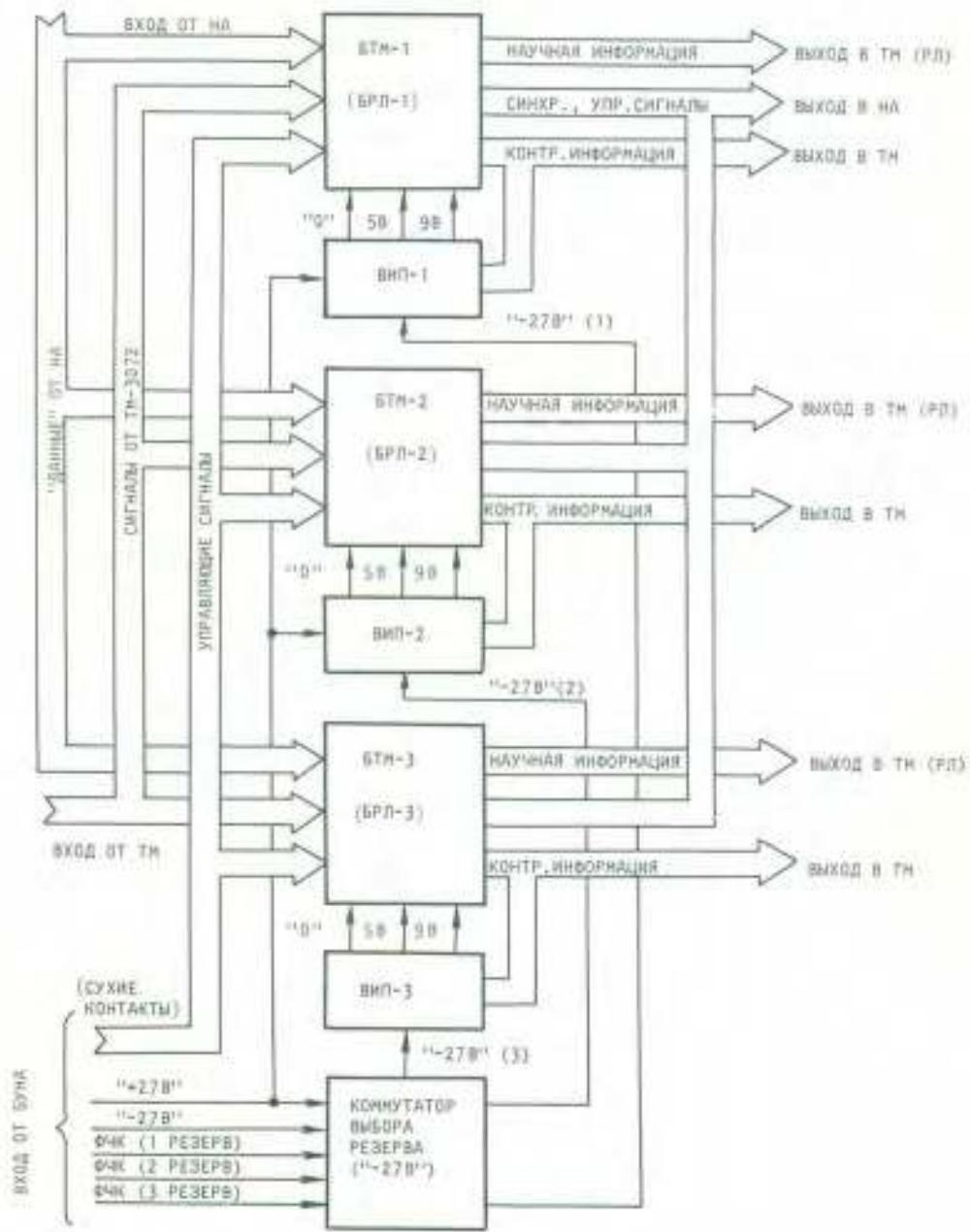
Блок-схема БЛСИ (БТМ и БРЛ) (рис. 85) состоит из трех независимых резервов для каналов ЗК Бод и 64К Бод, каждый из которых имеет собственный вторичный источник питания (НШ), вырабатывающий напряжения постоянного тока 5 и 9 В, необходимые для функционирования логического и интерфейсных устройств.

Вторичные цепи НШ гальванически полностью развязаны с бортовой сетью пролетного аппарата НЕГА, но имеют общий провод с его системами и научной аппаратурой. Один полюс бортовой сети пролетного аппарата постоянно подключен к входам всех НШ; второй полюс (-27 В) через релейный блок — к БТМ и БРЛ.

Структуры резервов БТМ и БРЛ представлены на рис. 86, 87.

Коммутатор выбора резерва подключается только к работавшему комплекту. Схема релейного коммутатора организована таким образом, что она практически не влияет на надежность системы с холодным резервированием.

Научные приборы связаны с БТМ и БРЛ по радиальной схеме соединений с распределением сигналов, поступающих от них, по резервам БЛСИ непосредственно в приборе. Переключение режимов работы БЛСИ осуществляется сигналами, формируемыми с помощью "сухих контактов" реле БУНА. Выходные устройства связи БЛСИ



PMC. 85.

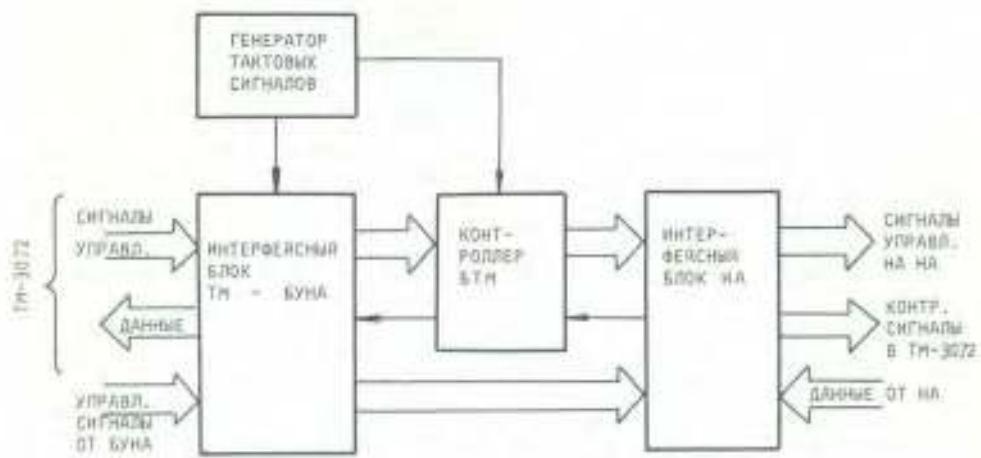


РИС. 86.

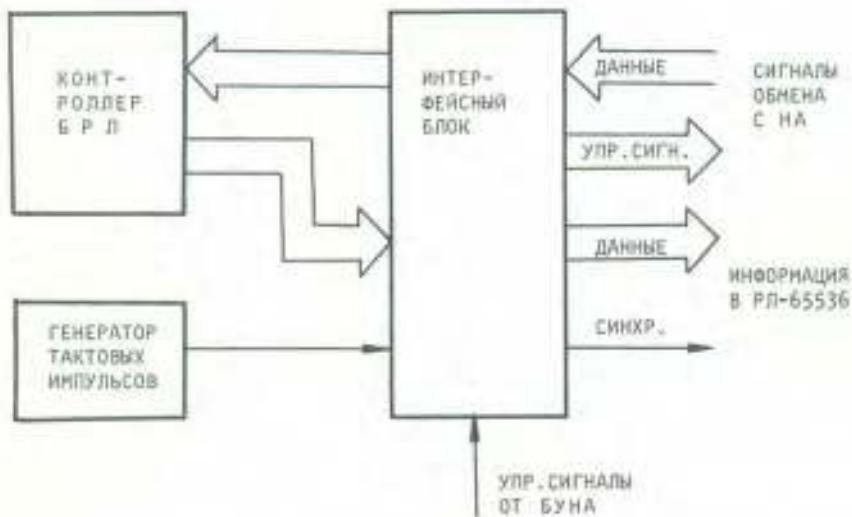


РИС. 87.

с научными приборами выполнены на основе схемы "открытый коллектор" с транзисторной развязкой. Транзисторная развязка выполняет двойную задачу: с одной стороны, препятствует выдаче паразитных импульсов выходами каскадами во время включения, с другой стороны, производит развязку выходов, обеспечивающую защиту развертков БИМ и БРЛ при использовании в них способа скользящего развертывания.

По характеру содержащейся информации в интерфейсе БЛМСИ ТМ-3072 и РЛ-65536 различаются следующие виды электрических сигналов:

- информационные сигналы, представляющие научную информацию от приборов пролетного аппарата НЕГА и контрольную информацию, характеризующую состояние каждого резерва БЛМСИ;
- управляющие сигналы, предписывающие подготовку, начало и проведение обменных операций.

Сигналы от резервов БТМ и БРЛ в бортовые служебные системы (каналы ЗК Бод и 64К Бод) поступают по независимым линиям, где происходит их объединение. Выходные каскады резервов выполнены на дискретных элементах по схеме "комплементарного эмиттерного повторителя" с питанием от 9 В соответствующего ИП резерва.

Вывод научной информации из БТМ в бортовую служебную систему сбора данных организован блоками по 180 бит (на два локальных коммутатора), а научной информации из БРЛ в бортовую служебную систему передачи данных пролетного аппарата НЕГА - по 1024 бит.

Сбор данных в БРЛ организован синхронными блоками, состоящими из 1024 бит информации. Из них 960 бит - данные научного прибора, а 64 бит - заголовок, который формирует БРЛ.

Заголовок - "шапка" - содержит:

- 32 бит - код синхронизации;
- 8 бит - адрес прибора с исправляющим кодом;
- 14 бит - информация о времени;
- 10 бит - информация о внутреннем состоянии БРЛ и БТМ (номер кварца, номер резерва БРЛ, режим работы: 65/32 и т.д.).

По результатам анализа заголовка на Земле осуществляется синхронизация и разделение данных по экспериментам, а также привязка их ко времени.

Программа сбора данных в БРЛ находится в ПЗУ. Порядок сбора

данных от научных приборов можно изменять, заменяя ПЗУ. Каждая строка ПЗУ соответствует текущему блоку данных запрограммированного эксперимента, и объем информации, считываемой с каждого научного прибора, может изменяться от 64 до 0,5 К бит с шагом 0,5 К бит ($K = 1024$).

БЛМСИ готов к функционированию менее чем через одну секунду после подачи на него напряжения бортовой сети. Счетчик времени, являющийся источником информации о времени для заголовка, спаривается по время пуска ГРЛ и увеличивается на единицу через одну или две секунды в зависимости от режима работы ГРЛ ("Режим 65" - 1 с; "Режим 32" - 2 с).

Надежность работы БЛМСИ в полете обеспечивается реализацией в нем способа скользящего резервирования один из трех, то есть обознательного функционирования одного из трех резервных устройств. Замена любого отказавшего устройства в данной группе производится по команде с Земли через блок управления научной аппаратурой.

Прибор БЛМСИ разрабатывался специалистами НИР и ССРР.

2. ПОСАДОЧНЫЙ АППАРАТ

2.1. Спектрофотометр ИСАВ

Прибором ИСАВ исследуются облака и атмосфера Бенера с использованием методов активной спектрофотометрии с помощью комплекса датчиков, объединенных общим блоком питания, системами управления и обработки информации. Состав атмосферы исследуется УФ-спектрометром по поглощению излучения в области 0,2 - 0,4 мкм газовыми составляющими атмосферы. Аэрозольная компонента атмосферы исследуется анализатором аэрозоля по рассеянию видимого света отдельными частицами аэрозоля. Кроме того, есть вспомогательные каналы: регистрация внешнего излучения (ИВ) и нефелометрический (НР).

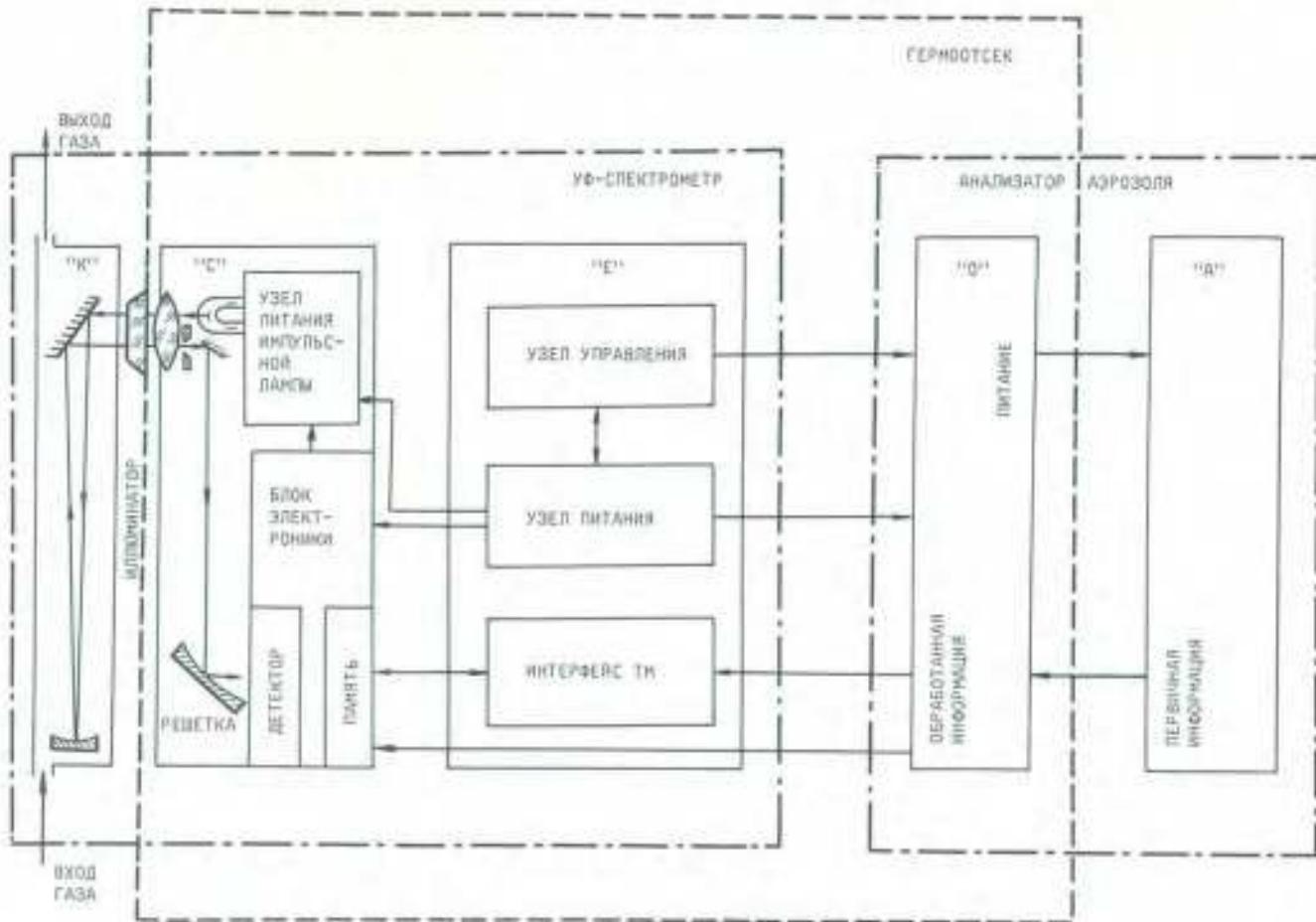


РИС. 88.

Блок-схема прибора приведена на рис. 88 . Блок "E" - блок электроники, питания и управления и интерфейс с системой телеметрии. Блок "A" - блок датчиков анализатора аэрозоля. Блок "0" - обрабатывает информацию анализатора аэрозоля. Блок "C" - анализирующая часть УФ-спектрометра и источник УФ-излучения. Блок "K" - кивета УФ-спектрометра. Схема установки отдельных блоков прибора на спускаемом аппарате показана на рис. 89 . Все блоки прибора начинают работать в момент начала функционирования спускаемого аппарата на высоте около 63-64 км. Отключение анализатора аэрозоля происходит на высоте ~ 35 км через 15 мин после начала спуска, гарантированная работа УФ-спектрометра происходит до посадки на поверхность Венеры.

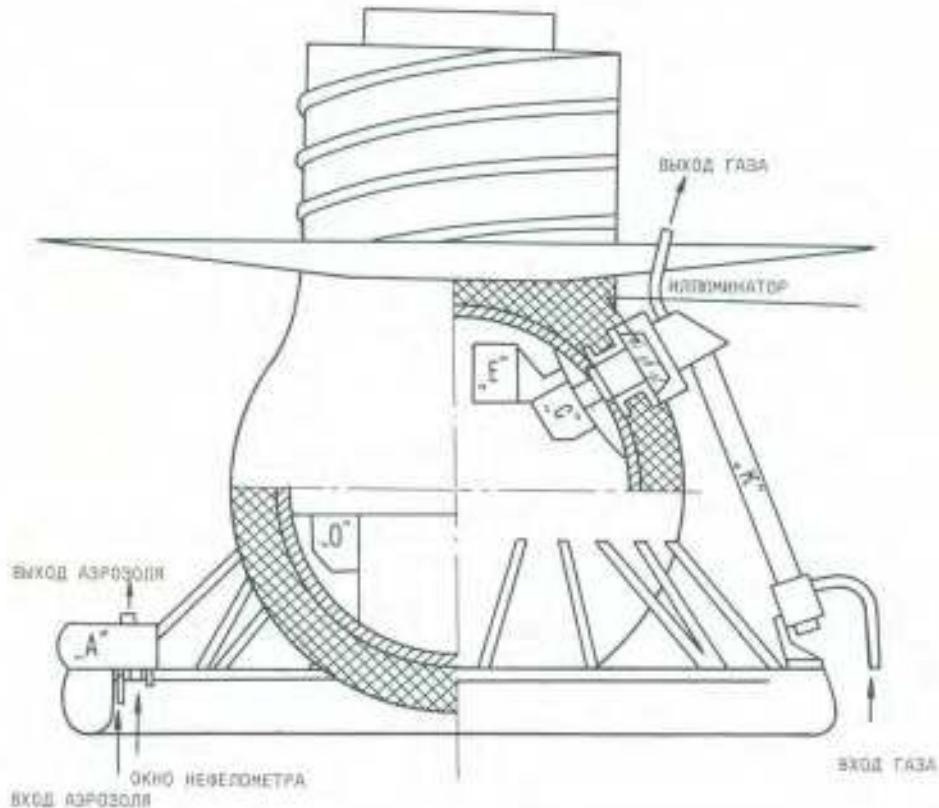


Рис. 89.

УФ-спектрометр

В составе блока "С" имеется источник УФ-излучения - импульсная лампа в стробоскопическом режиме. Свет этой лампы через герметичный иллюминатор в корпусе спускаемого аппарата выходит в атмосферу, дважды проходит в квавете путь около одного метра, поглощаясь при этом атмосферными газами, и возвращается через иллюминатор назад в анализирующий блок "С". В этом блоке происходит разложение света на 512 спектральных составляющих с помощью голограммической дифракционной решетки и линейки фотодиодов. Один полный спектр из 512 элементов накапливается в памяти прибора за ~ 60 с, а, кроме того, каждые 4 с формируется обзорный спектр из 16-ти элементов.

Газы, входящие в состав атмосферы Венеры, имеют сильные полосы поглощения в УФ-области спектра. В частности, такие полосы наблюдаются у SO_2 , которая является одной из важнейших малых составляющих атмосферы Венеры. Спектральное разрешение прибора равно $\sim 1\text{nm}$, оно позволяет регистрировать сложную структуру полос и надежно идентифицировать поглотитель. На рис. 90 показан

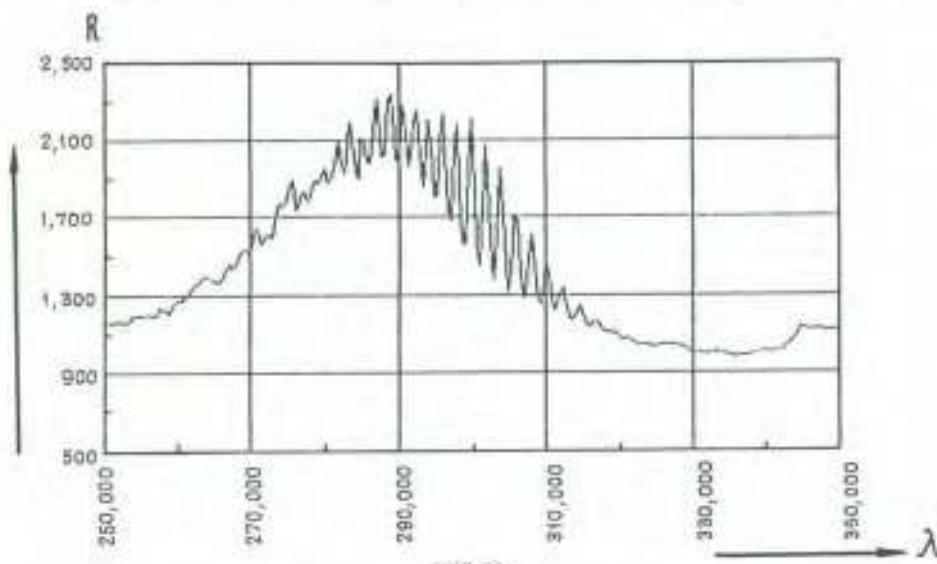


Рис. 90.

зан спектр поглощения δO_2 так, как его регистрирует прибор. Чувствительность прибора велика, она составляет около $10^{-4}\%$ на высотах 60 км и увеличивается по мере спуска. Пространственное разрешение прибора в облачном слое около 100 м, а у поверхности около 50 м. Все это позволяет изучить пространственную структуру распределения поглотителей УФ-излучения в атмосфере и тем самым уточнить картину фотокимических циклов, ответственных за образование облачного слоя Земли.

Анализатор аэрозоля

Под действием скоростного напора, возникающего при спуске аппарата, атмосферный газ с облачными частицами продувается через прибор. Тонкая струя этого газа пересекает сфокусированный световой пучок, идущий от галогенной лампы накаливания. Счетный объем равен примерно 1 мм^3 . Четыре фотоприемника - лазерных фотодиода - измеряют мощность светового потока, который пролетавшие частицы рассеивают вперед ($7 - 17^\circ$), вправо, влево ($25 - 65^\circ$) и назад ($165 - 175^\circ$). Интенсивность света, рассеянного вперед, вправо и влево, зависит практически только от размера частицы, а рассеянные назад - от размера и показателя преломления. От формы частицы и ее ориентации зависит отношение световых потоков, рассеянных вправо и влево.

По результатам измерения рассеянного света может быть определен диаметр частицы в диапазоне 0,8 - 30 $\mu\text{м}$, показатель преломления в пределах от 1,3 до 1,7 и сделана оценка формы частицы.

На Землю ежесекундно передаются данные о семи случайным образом выбранных частицах.

В состав блока "0" входит 64-канальный амплитудный анализатор, который определяет функцию распределения частиц по размерам, используя данные о рассеянии всех всеми пролетавшими через прибор частицами. Время накопления - 27 с.

Небелометр

Небелометр расположен в корпусе блока "А". Он измеряет световой поток, который рассеивает назад область атмосферы, расположенная ниже прибора на 30-100 ми. Он предназначен для определения плотности aerosольной компоненты с разрешением по высоте 10 - 20 м.

Общий вид блоков "Е", "С" и "К" прибора ИСАВ показан на рис.91. В разработке прибора принимали участие специалисты СССР и Франции.



РИС.91.

2.2. Газовый хроматограф "Сигма-З"

При изучении химического состава облачного слоя Венеры необходимо получить прямые определения концентрации сернокислотного aerosоля. Для решения этих задач на спускаемом аппарате будет использован новый газовый хроматограф с широмитическими ячейками "Сигма-З". Хроматограф будет проводить как анализ химичес-

кого состава атмосфера, так и прямой анализ содержания серной кислоты в облачном слое.

Достоверные знания о содержании в атмосфере сероводорода, сероокиси углерода, дихлорида серы помогут построить фото- и термохимические модели атмосферы Венеры и оценить возможность активной вулканической деятельности на этой планете.

Блок-схема хроматографа "Сигма-3" показана на рис. 92.

Для увеличения надежности и точности получаемых экспериментальных данных в приборе используется три типа детекторов: ионизационный, катарометр и электронозахватный.

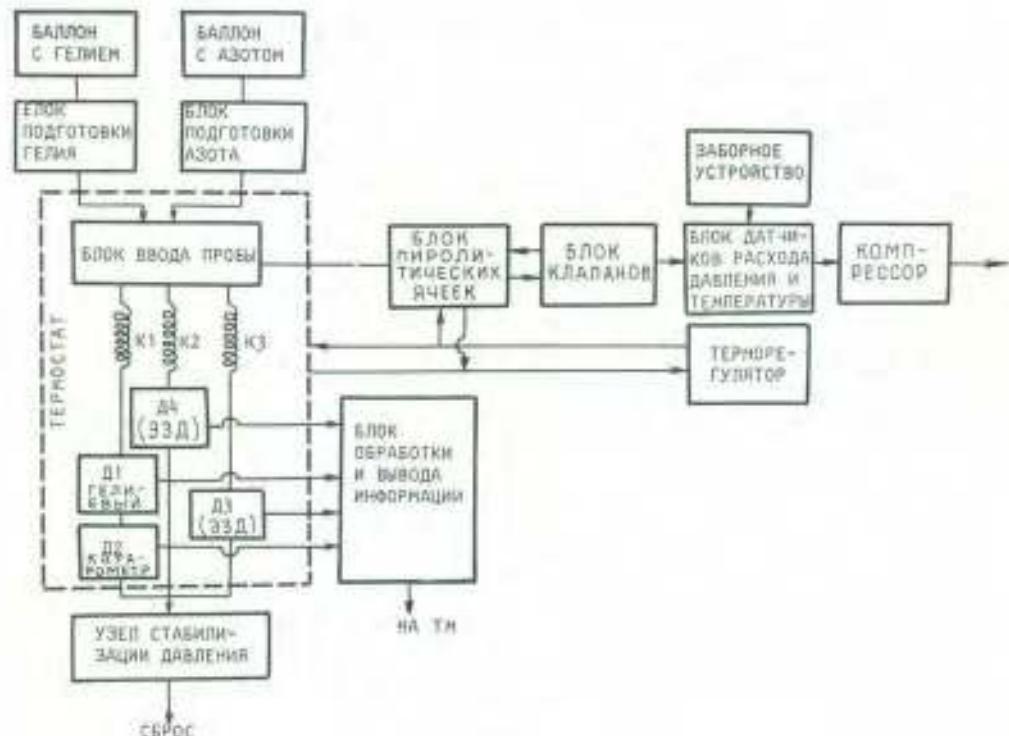


РИС. 92.

В линиях катарометра и ионизационного детекторов в качестве газоносителя используется гелий, а в линиях электронозахватных детекторов — азот особой чистоты. В трех хроматографических колон-

ках в качестве сорбентов используется порапак $\text{QS} + \text{N}$ ¹¹ и порапак T . Прибор позволяет надежно разделять кислород, углекислый газ, сероуглерода, сероводород, двуокись серы, пары воды. Чувствительность прибора по воде не хуже $10^{-2}\%$, по остальным компонентам $10^{-5}\% - 10^{-4}\%$.

При работе прибора в режиме анализа атмосферы газ, поступающий через заборное устройство, с помощью компрессора прокачивается через пиролитические ячейки. Далее, согласно заданной программе, анализируемый газ из ячеек с помощью переключаемых кранов поступает в хроматографические колонки. Во избежание сорбции газовых компонент в ячейках с помощью терморегулятора поддерживается температура 80°C . Для этой же цели краны помещены в терmostат хроматографа при температуре 70°C .

Информация с детекторов поступает на блок обработки и вывода информации, а далее — на телеметрию. В приборе предусмотрен как аналоговый, так и цифровой вывод информации.

На рис. 93 показана хроматограмма смеси газов, полученная на штатном приборе "Сигма-3".

Для химического анализа аэрозоля атмосферы и количественного определения серной кислоты используется метод катализического разложения серной кислоты на угле. Проба атмосферы, содержащей аэрозоль, при промывке через объем пиролитической ячейки проходит через обуглененный стекловолокнистый фильтр, размещенный в ячейке. При этом аэрозоль оседает на фильтре. Затем ячейка отсоединяется при помощи кранов от заборного устройства и компрессора, продувается газом-носителем и нагревается до 350°C . При этой температуре аэрозоль серной кислоты, взаимодействуя с углем, превращается в пары воды, углекислый газ и двуокись серы. Анализ указанной смеси газов позволяет оценить концентрацию аэрозоля серной кислоты в пробе при учете производитель-

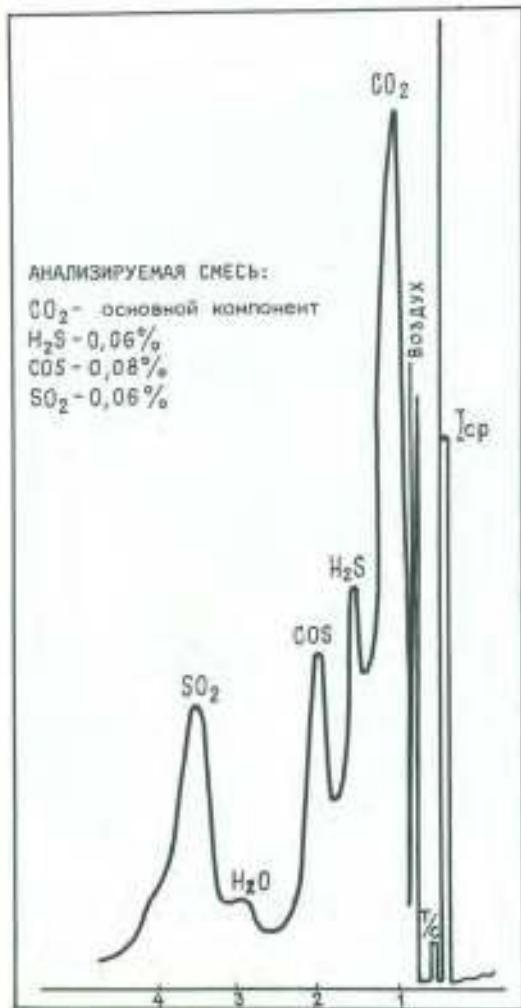


РИС. 93.

ности компрессора. Нижний предел измерения концентрации серной кислоты не хуже 10^{-3} г/м³.

За время работы прибор проводит три анализа атмосферы и три анализа аэрозоля в диапазоне высот 65 - 49 км. Прибор устанавливается на посадочном кольце СА. Он помещен в герметичный теплоизолированный кожух. Общий вид прибора "Сигма-3" без кожуха показан на рис. 94 .

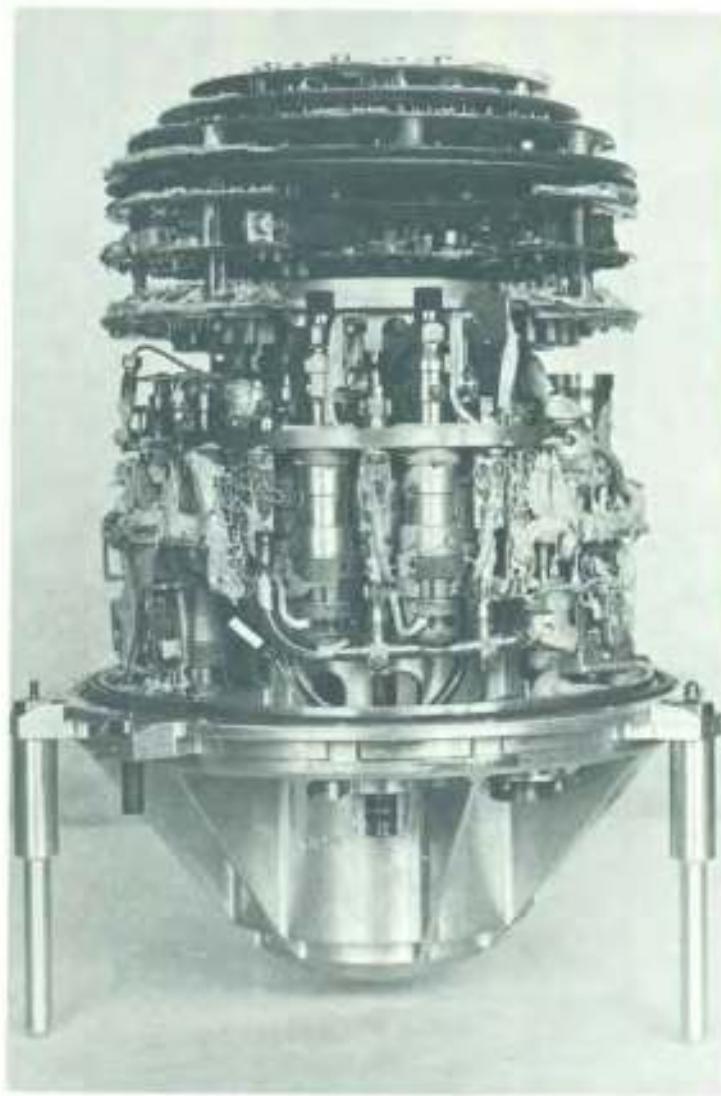


Рис. 94.

Основные характеристики прибора

Масса (без кожуха)	10 кг
Потребляемая мощность	100 Вт.
Прибор разрабатывался специалистами СССР.	

2.3. Прибор для изучения элементного состава аэрозоля облаков Венеры - ИИП

Для получения конкретной информации об элементном составе аэрозолей облаков Венеры на спускаемом аппарате ВЕГА ставится эксперимент, цель которого - получение высотного профиля содержания серы, хлора и железа, а также индикация химических элементов с $Z < 15$ в аэрозоле облаков Венеры в диапазоне $\sim 65-47$ км.

Описание и схема эксперимента

Анализ химического состава аэрозолей осуществляется с помощью рентгенорадиометрического метода. Сущность его сводится к тому, что при воздействии рентгеновского или корпускулярного излучения определенной энергии атом исследуемого химического элемента возбуждается и, возвращаясь в исходное состояние, излучает рентгеновский квант, энергия которого характерна для атома облучаемого элемента. В детекторе кинетическая энергия фотона преобразуется в импульс тока и далее с помощью электронной схемы - в импульс напряжения, амплитуда которого пропорциональна энергии регистрируемого фотона.

На рис. 95 приведена схема эксперимента.

В процессе спуска аппарата в атмосфере планеты аэрозоль осаждается на специальный кислотоустойчивый фильтр М и одновременно производится измерение характеристического рентгеновского излучения химических элементов аэрозоля. Радионизотопный источник ориентирован таким образом, чтобы максимально облучался фильтр с аэрозолем. Детектор рентгеновского излучения также ориентирован на фильтр. При этом регистрируется рентгеновское излучение химических элементов аэрозоля, а прямое излучение источника 2 в детектор 3 не попадает.

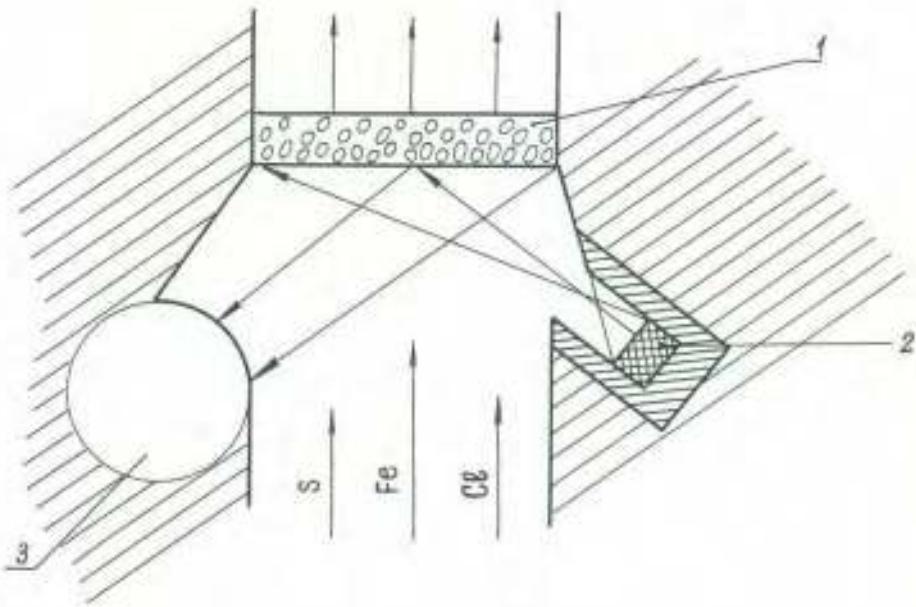


Рис. 95.

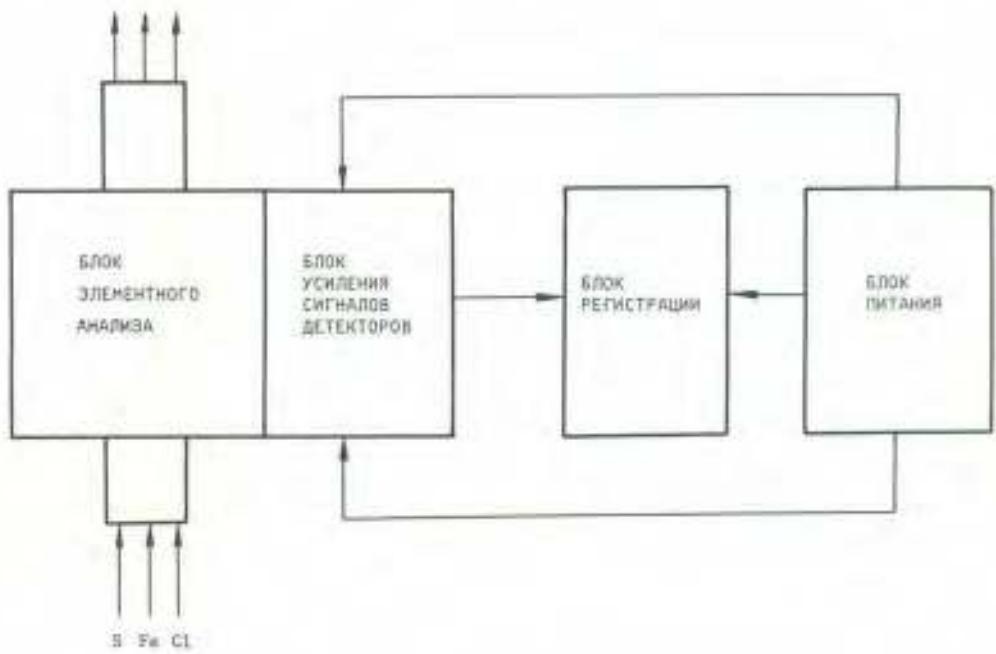


Рис. 96.

Функциональная схема и характеристики прибора

Функциональная схема прибора ИЭП приведена на рис. 96.

Конструктивно прибор выполнен в виде герметичного модуля, и устанавливается на посадочном кольце спускаемого аппарата. По команде программно-временного устройства (ПВУ) СА прибор ИЭП включается по метке T_2 . Автоматическая разгерметизация блока элементного анализа прибора ИЭП осуществляется по команде его ПВУ.

С этого момента до метки T_5 за счет скоростного напора при спуске СА на парашюте производится прокачка газа атмосферы через фильтр прибора ИЭП и одновременный анализ аэрозоля, осажденного на фильтре. Сигналы детекторов поступают к блоку усиления и далее преобразуются в блоке регистрации в напряжение постоянного тока.

Уровень напряжения выходных аналоговых каналов пропорционален содержанию серы, хлора и железа в аэрозоле, осажденном на фильтре.

Основные характеристики прибора ИЭП

Масса 3,5 кг

Потребляемая мощность 10 Вт

Измеряемые химические элементы ... сера, хлор, железо

Чувствительность:

сера 0,03 мг/м³

хлор 0,02 мг/м³

железо 0,1 мг/м³

Режим работы непрерывный.

Прибор разрабатывался специалистами СССР.

2.4. МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ОБЛАКОВ ВЕНЕРЫ "МАЛАХИТ-Э"

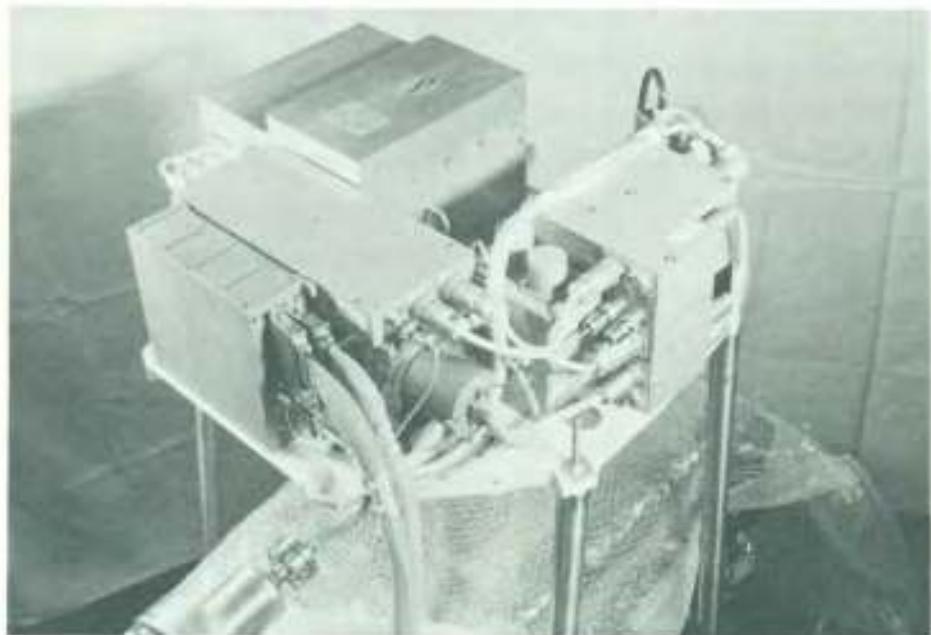
Масс-спектрометрическая аппаратура "Малахит-Э" предназначена для сбора, разделения по фракциям (соответственно размеру частиц)

и масс-спектрометрического анализа каждой фракции аэрозоля облученного слоя Венеры.

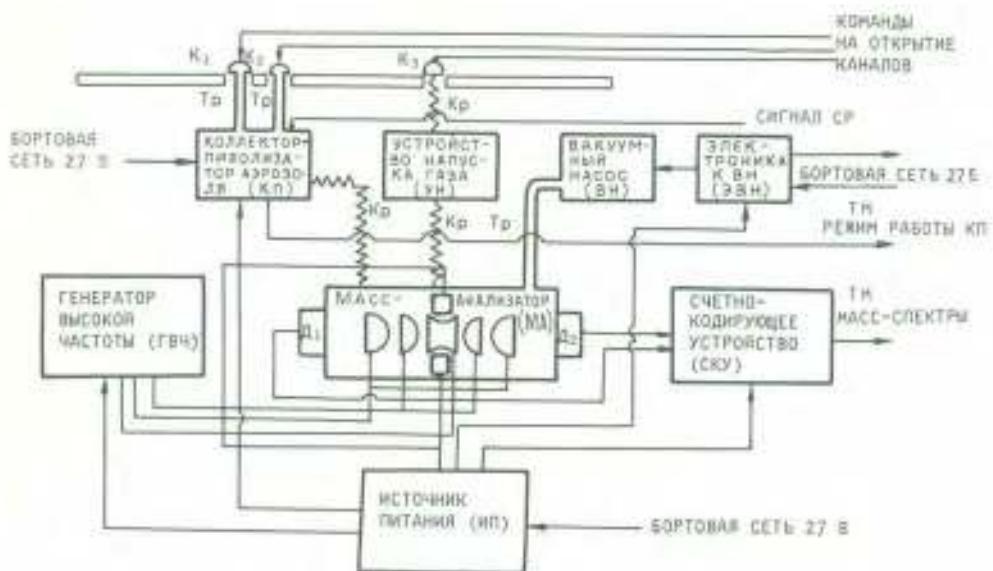
На рис. 97 показан внешний вид, на рис. 98 - функциональная схема аппаратуры. По команде от программируемого устройства спускаемого аппарата открывается клапан K_1 (или K_2) и с помощью вентилятора, находящегося в коллекторе-широкизаторе (III), атмосфера вместе с аэрозолем прокачивается по трубопроводу через КП. В инерционном сепараторе КI происходит разделение аэрозоля на две группы (с размером частиц < 3 и $> 3 \text{ мкм}$). Каждая группа частиц раздельно собирается на фильтры и подвергается широлизу в широлитических ячейках; газовые продукты широлиза через устройство инжекции поступают в масс-анализатор (МА), где происходит ионизация молекул электронным пучком, разделение образующихся ионов по величинам m/e , фокусировка и измерение ионов на детекторы (D_1 , D_2). В детекторах ионный поток превращается в импульсы тока (их частота характеризует интенсивность потока ионов) и затем в импульсы напряжения с нормализованными характеристиками. С детекторов импульсы напряжения поступают на счетно-кодирующее устройство (СКУ), где происходит их счет и кодирование для передачи на ТД-систему.

Для анализа газовой компоненты атмосферы в запрограммированный момент времени (после анализа аэрозоля) открывается клапан K_3 , и газ проходит по калибратору через устройство напуска (УН), где происходит поглощение основной компоненты атмосферы Венеры (CO_2), и затем поступает в масс-анализатор.

В приборе применен массо-анализатор гиперболоидного типа. Принцип его работы основан на способности высокочастотных (с постоянной составляющей) электрических полей с квадратичным распределением потенциала разделять ионы по удельному заряду. Конструктивно МА представляет собой систему из трех полеобразующих электродов - кольцевого и двух торцевых, имеющих форму гипер-



PHC 97



PMC. 48.

боловдов вращения и образуемых замкнутый объем. Между кольцевым и торцевыми электродами приложено напряжение вида $U = U_0 + U_1 \psi(t)$, где $\psi(t)$ - импульсный сигнал прямоугольной формы. Под действием электрического поля ионы, образованные в рабочем объеме массоанализатора, приходят в сложное колебательное движение, амплитуда и период которого зависят от удельного заряда e/m . Развертка масс-спектра осуществляется изменением частоты ВЧ-сигнала, вырабатываемого генератором высокой частоты (ГВЧ) при неизменных величинах постоянной U_0 и переменной U_1 составляющих ВЧ-сигнала. Для развертки диапазона масс от 10 до 150 а.е.м. частота ВЧ-сигнала изменяется от 400 до 80 кГц за время 50 с. Напряжения питания анализатора, генератора ВЧ, системы регистрирования (детекторов и счетно-кодирующего устройства) формируются в блоке III. Динамический диапазон масс-спектрометра $\sim 10^5$. Разрешение ~ 150 на уровне С.И. высоты пика. В реальных условиях эксперимента разрешение несколько ниже за счет уширения пика при широком способе регистрацией информации.

Для создания вакуума в аналитической части прибора используется вакуумный магнитооппозиционный насос. Скорость откачки из анализатора ограничена диафрагмой до 1 л/с. Питание насоса осуществляется от блока ЗИИ. Там же вырабатывается передаваемый на электронику сигнал из перекрытия канала ввода газа из КИ в ИА, если давление в ИА превышает допустимое ($\sim 2,5 \cdot 10^{-5}$ торр).

На рис. 99 приведен один из спектров, зарегистрированный при наливонке масс-спектрометра по H_2S .

Функциональная схема КИ представлена на рис. 100. Для получения информации по составу и качеству аэрозоля в верхнем и нижнем слое облаков КИ снабжен двумя идентичными линиями забора и обработки пробы (A, B), через которые газ с аэрозолем пропускается последовательно по мере спуска. Каждая линия имеет по две промежуточные ячейки для раздельного пиролиза крупных

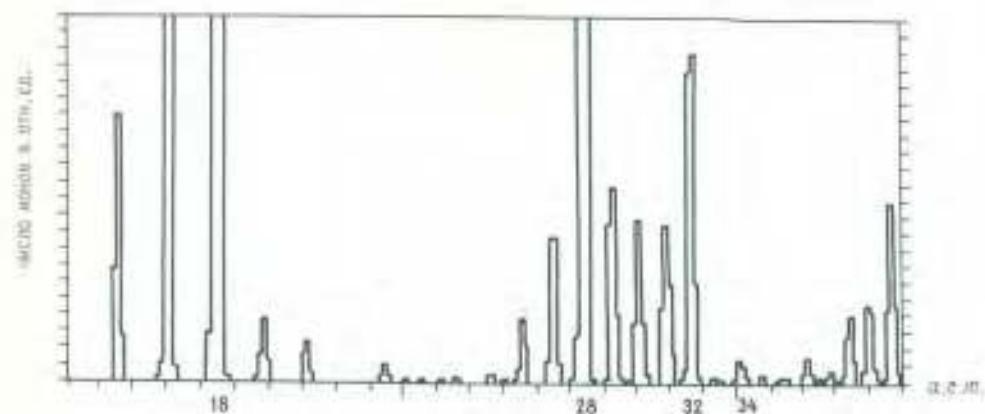


Рис. 99.

и мелких частиц. Клапаны $V1'$ - $V4'$, $V1''$ - $V4''$ обеспечивают герметизацию пиролитических ячеек после забора проб. Система капилляров C_1 , C_2 , микроклапанов $V5'$, $V6'$, $V5''$, $V6''$, промежуточного объема V , клапана $V10$ обеспечивает уменьшение потока газа на входе в массо-анализатор до величины $\sim 2 \cdot 10^{-5}$ лторр/с. Протехнический клапан $V8$ отсоединяет КП от МА на время полета и открывается непосредственно перед началом анализа на спуске.

В табл. 15 показан режим работы КП и физические параметры уровней атмосферы Венеры, на которых забираются пробы.

Программное устройство КП обеспечивает двухкратный забор пробы и регистрацию восьми спектров аэрозоля. Перед каждой инъекцией аэрозоля в МА проводятся два измерения спектра фона. После окончания анализа газа от последней инъекции, на 1100 с, программное устройство КП закрывает клапан $V10$, соединяющий КП с МА, и одновременно подает сигнал на срабатывание клапана K_3 , открывшего доступ газа атмосфера через систему напуска в массо-анализатор. В этот момент спуска давление скрученной среды составляет ~ 7 бар. Анализ газа продолжается вплоть до разгерметизации верхнего отсека научной аппаратуры.

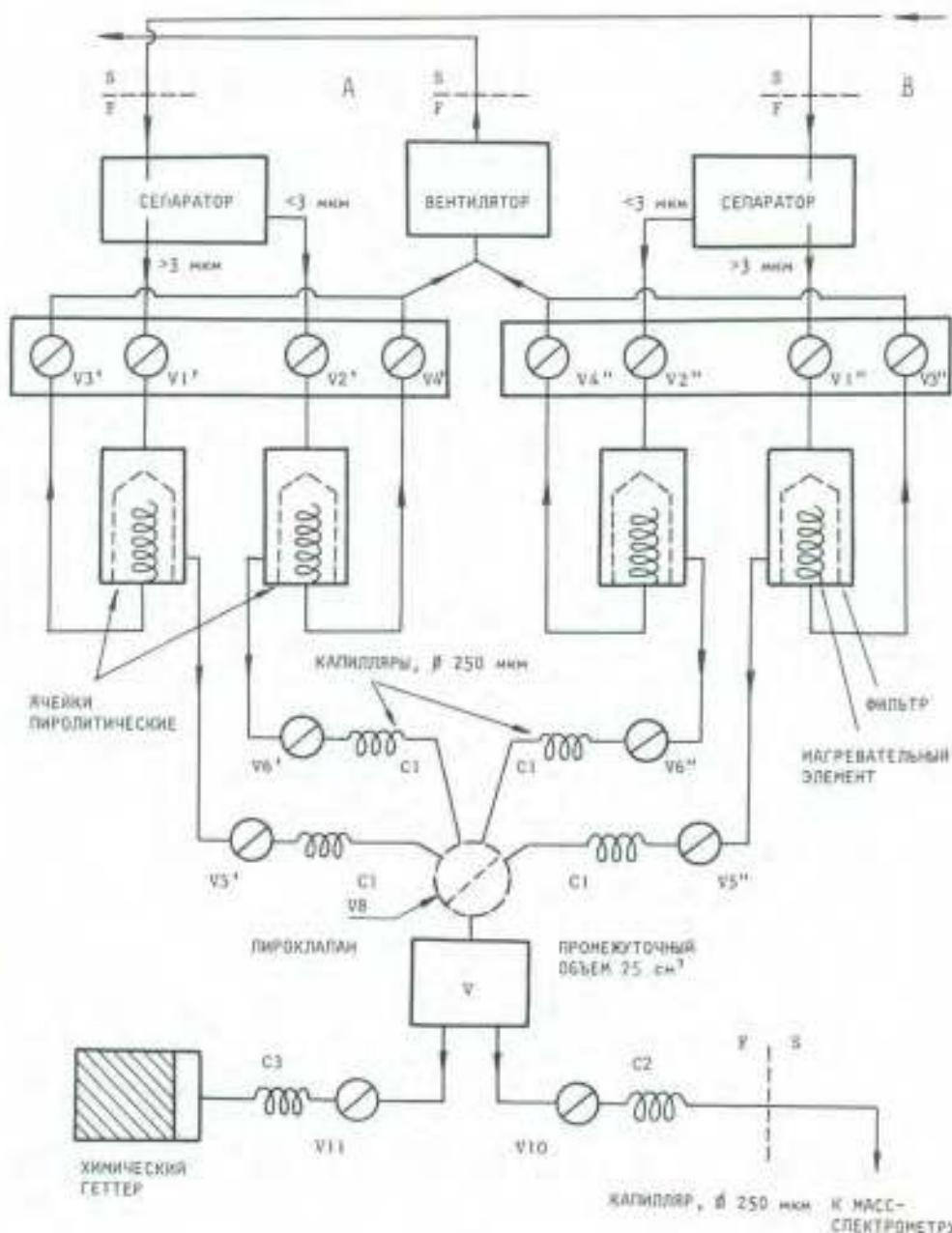


РИС. 100.

Передача научной информации с масс-спектрометра на Землю осуществляется по 72 контактным ТМ-каналам. Для контроля за работой различных узлов аппаратуры на ТМ-систему выводятся 22 служебных параметра по семи аналоговым каналам.

Таблица 15

Режим работы коллектора-широкозонатора

время с	вид работы	последователь- ность работы	Параметры атмосферы	
			высота, км	давле- ние, мб
0	Начало эксперимента, включение вентилятора	-	63,5-59	120-275
4	Открытие клапанов $V1'$ - $V4''$ для взятия проб атмосферы (коллектор I)	-	63	58,5 135-300
2	Срабатывание внешних широтах- нических клапанов трубки для взятия проб	Начало отбора первой пробы	60-57,5	230-350
200	Закрытие клапанов $V1'$ - $V4''$ (коллектор I); открытие кла- панов $V1''$ - $V4''$ (коллектор 2)	Конец отбора первой пробы; начало анали- за первой пробы; на- чало отбора второй пробы	56-53,5	440-650
500	Конец анализа первой пробы; закрытие клапанов $V1''$ - $V4''$ (коллектор 2)	Конец отбора второй пробы; начало ана- лиза второй пробы	48,5-46,5	1250-1650
1000	Конец анализа второй пробы; подача команды на открытие клапана K_3	С окончанием экспери- мента с аэрозолем; начало анализа газа атмосферы	32,5-30,5	7500-9000
5000	Разгерметизация верхнего отсека научной аппаратуры	С окончанием эксперимента	25-23,5	15000-17000

0 - соответствует моменту подачи питания на прибор.

Чувствительность анализа аэрозоля определяется двумя факторами: чувствительностью масс-спектрометра к газам пиролизата и степенью адсорбции аэрозоля и газа на стенках капилляров и других поверхностях КП. Порог обнаружения серной кислоты определяется экспериментально. Результаты показали, что минимально регистрируемое прибором содержание аэрозоля H_2SO_4 в 4 - 5 раз меньше ожидаемого в атмосфере Венеры ($\sim 2 \text{ mg/m}^3$ для мелких частиц).

В разработке прибора принимали участие специалисты СССР и Франции.

2.5. ИЗМЕРИТЕЛЬ ВЛАЖНОСТИ (ВМ-4)

На КА проекта ВЕНГА используется влагомер, основанный на применении датчиков двух типов: термоэлектролитического и кулонометрического. Общий вид влагомера ВМ-4 показан на рис.101.

Прицип действия влагочувствительного элемента в термоэлектролитическом датчике основан на зависимости упругости водяного пара над поверхностью насыщенного раствора соли от температуры. Схематическое устройство датчика приведено на рис.102.



РИС. 101.

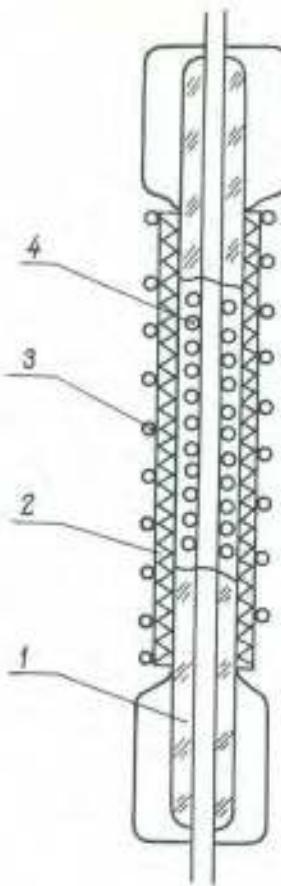


Рис. 102.

В датчике происходит испарение влаги под действием тепла, выделяющегося при протекании тока между электродами (2), и поглощение влаги из окружающей атмосферы вследствие гигроскопичности соли (3). Под действием этих процессов в датчике устанавливаются равновесные влажность и температура. Эта температура определяется термометром (1) и является выходным параметром электролитического датчика влажности. Диапазон измерений от $3 \cdot 10^{-2}$ до 4% по объему.

Принцип действия кулонометрического датчика основан на электролитическом разложении воды на водород и кислород и измерении

прироста объемной доли водорода в газе. Для разложения воды используется кулонометрическая трубка (рис.103), а для измерения прироста объемной доли водорода — метод теплопроводности. Для введения поправки на зависимость показаний блока теплопроводности от температуры используется термометр сопротивления, измеряющий температуру блока. Диапазон измерений объемной доли паров воды от 0,01 до 0,2%.

Прибор работает на высотах 65 + 30 км, включая облачный слой, подоблачную дымку и часть нижней атмосферы. В результате работы двух датчиков с взаимно перекрывающимися диапазонами будет получен однозначный разрез атмосферы по содержанию водяных паров с разрешением порядка 2 – 4 км по вертикали.

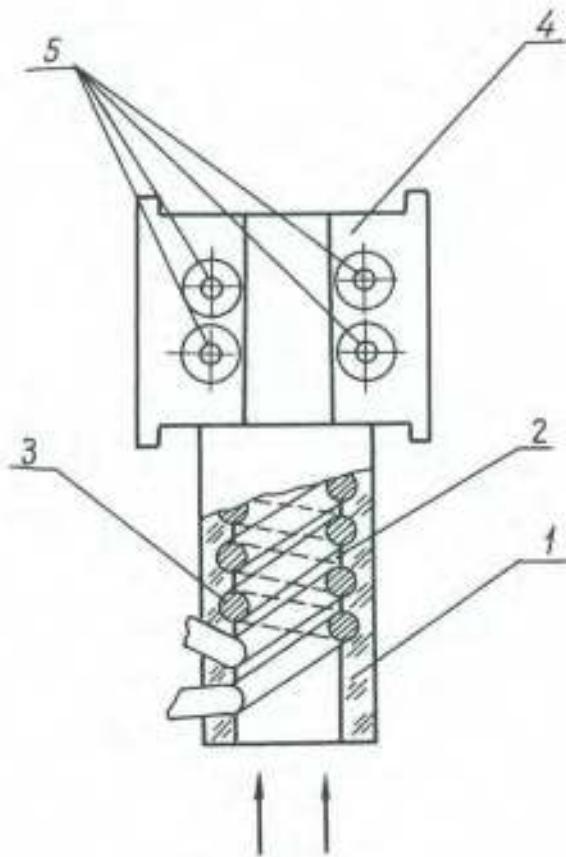


Рис. 103.

Основные характеристики влагомера

Мощность, потребляемая в режиме измерения,	6,4 Вт
Напряжение источника питания	27^{+5}_{-4} В
Диапазон измерений точки росы	$-30 \pm +30^{\circ}\text{C}$
Диапазон измерений объемной доли паров воды . .	0,01 \pm 4,0%
Диапазон измерения выходного сигнала	0 \pm 6 В
Масса прибора	6,4 кг

Прибор разрабатывался специалистами СССР.

2.6. ПРИБОР ДЛЯ РЕНТГЕНОУЛЬТРАФИОЛЕНЦЕНТНОГО АНАЛИЗА СОСТАВА ПОРОД НА ВЕНЕРЕ (БАРП-АМ25)

Элементный состав поверхностных пород планеты является одной из наиболее важных характеристик любого космического тела. К настоящему времени существуют экспериментальные данные об элементном составе пород Венеры, полученные в 1981 г. в районах посадок АМС "Венера-13" и "Венера-14".

Эти данные позволяют сделать важные выводы о степени дифференции, о процессах эрозии, об условиях формирования геологических структур, рассчитать возможный минералогический состав, который, в свою очередь, позволяет судить о процессах взаимодействия атмосферы планеты с поверхностью.

Целью эксперимента является определение концентраций основных пордообразующих элементов от Mg до Fe исключительно, а также концентраций некоторых более тяжелых редких элементов с помощью рентгенорадиометрического метода анализа. Этот метод основан на зависимости интенсивности возбуждаемого радиоизотопным источником характеристического излучения от содержания анализируемого элемента в пробе. Концентрация элементов определяется в образце породы

венирианского грунта, доставленного в зону анализа грунтоизаборным устройством.

Грунтоизаборное устройство представляет собой миниатюрный буровой агрегат, расположенный на амортизирующем торе посадочного аппарата станции. Он способен отбирать образцы путем бурения породы практически любой твердости (в соответствии с земными типами пород). Глубина бурения, объем и масса отбираемого образца породы зависят от конкретных условий работы агрегата. На рис. 104 показана схема доставки в зону анализа пробы грунта грунто-

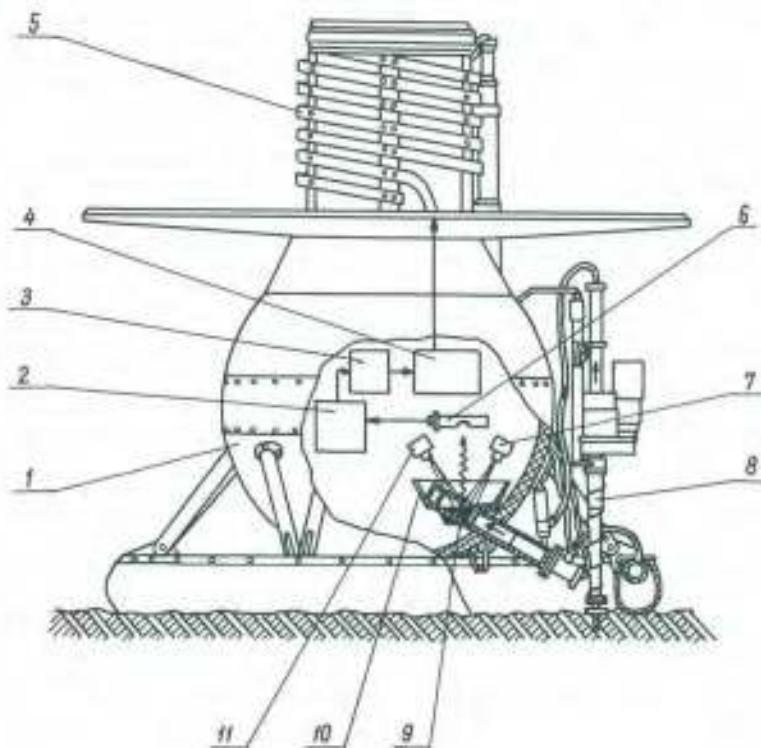


РИС. 104.

изаборным устройством и схема расположения основных блоков рентгенорадиоактивного спектрометра. Конструктивно прибор состоит из двух блоков: блока детектирования и многоканального анализатора импульсов. Оба блока располагаются внутри герметичного термостатированного отсека посадочного аппарата станции (рис. 105).

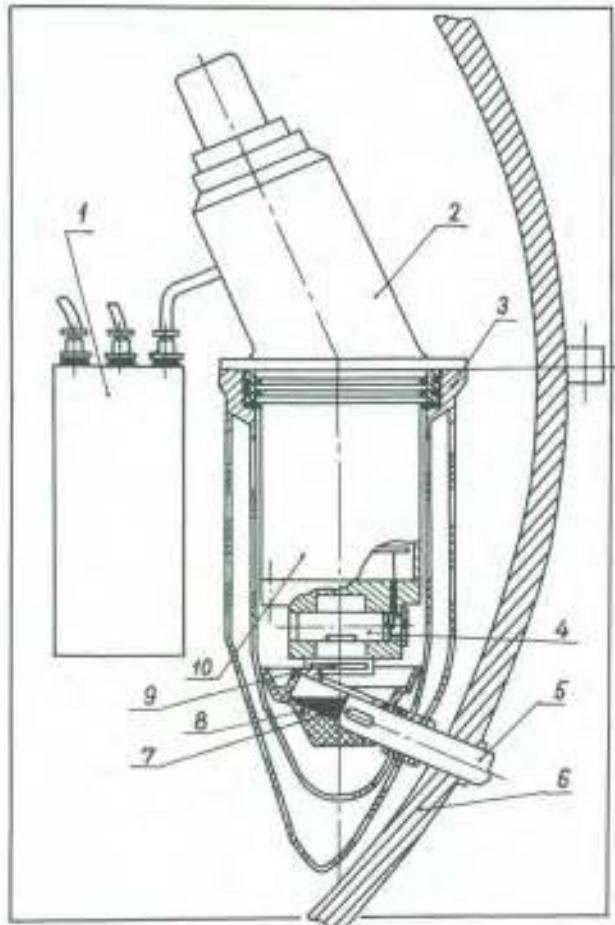


Рис. 105.

Блок детектирования имеет три разделенных отсека: в нижнем отсеке располагается измерительная ячейка и датчик температуры, в среднем — электроника (предусилители, усилители, источники питания) и датчик температуры, в верхнем — датчик давления.

Измерительная ячейка включает в себя три радиоизотопных источника, четыре газоразрядных счетчика и грунтоприемник.

Поскольку атомные номера основных породообразующих элементов находятся в диапазоне 12 – 27, источники излучения выбраны таким образом, чтобы эффективно возбуждать эти элементы и в то же вре-

мт не создавать мешающего фона в измеряемом диапазоне энергий флуоресцентного излучения. В приборе установлен один источник плутония-238 активностью 50 мБи и два источника железа-55 активностью по 125 мБи каждый. Выбор этих источников обусловлен следующим: α -излучение плутония-238 хорошо возбуждает рентгеновскую флюоресценцию наиболее легких элементов — Mg , Al , Si ; излучение железа-55 — характеристическое излучение более тяжелых элементов — K , Ca , Ti и т.д., наконец, рентгеновское излучение плутония-238 — элементы с еще большими атомными номерами (24 + 35).

Детекторами излучения являются газоразрядные пропорциональные счетчики, наполненные смесью 90% K_2 + 10% CH_4 при давлении 220 мм рт.ст. Взаимное расположение исследуемого образца, радиоизотопных источников и газоразрядных пропорциональных счетчиков схематически приведено на рис. 106.

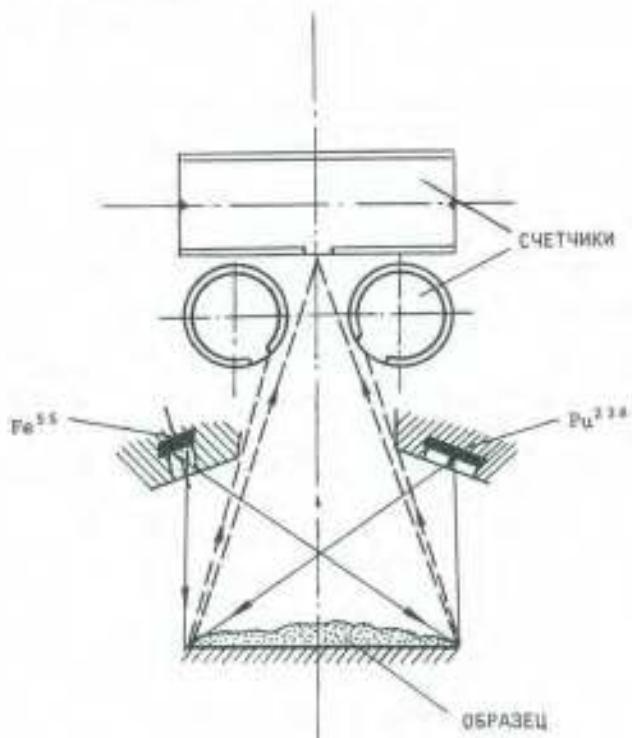


РИС. 106.

Работа рентгенофлуоресцентного спектрометра ЦРП-АМ25 осуществляется после посадки спускаемого аппарата на поверхность Венеры в соответствии с заданной программой.

В течение первых минут после посадки аппарата на поверхность планеты производится отбор образца породы Венеры бурением, удаление газовой атмосферы, окружающей отобранный образец, и транспортировка образца через шлюзовой канал внутрь посадочного аппарата. Одновременно с выполнением этих операций осуществляется набор фоновых спектров (при пустом грунтоприемнике) поочередно двумя парами детекторов и вывод накопленной информации по телеметрическим каналам. Кроме спектров флуоресцентного излучения, выводится также информация с температурных датчиков, датчика давления и интенсивметров, измеряющих интегральную скорость счета флуоресцентных квантов.

После этого в грунтоприемник подается проба породы для анализа. Она облучается радиоизотопными источниками. Возникающее при этом флуоресцентное излучение регистрируется детекторами, сигналы с которых через предуслыштели и усилители поступают в многоканальный анализатор импульсов.

В выбранной геометрии измерения образец облучается одновременно всеми источниками, а возбужденное флуоресцентное излучение одновременно попадает на все счетчики.

Информация, накопленная в анализаторе, периодически выводится на телеметрическую систему для передачи на Землю.

Основные технические характеристики прибора

Энергопотребление 9 Вт

Габариты блока детектирования высота - 400 мм,
максимальный диаметр - 107 мм

Габариты анализатора	216x142x128 мм
Число каналов анализатора	384 (8x128)
Емкость канала	2^{16} - 1 мкФ
Диапазон измеряемых энергий	1,25 - 8 кэВ
Энергетическое разрешение	20-25% по линии 5,9 кэВ
Масса	8 кг

Прибор разрабатывался специалистами СССР.

2.7. ГАММА-СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОРОД ВЕНЕРЫ (ГС-15С(3))

С целью определения характера венерических пород по содержанию в них естественных радиоактивных элементов - урана, тория и калия - планируется осуществить эксперимент по измерению плотности потока и спектрального состава γ -излучения поверхностных пород Венеры в месте посадки станции.

Известно, что естественные радиоактивные элементы играют важную роль в тепловом балансе планет и, соответственно, в дифференциации планетного вещества на оболочки. При этом уровень содержания урана, тория и калия является верным диагностическим признаком характера образовавшихся при дифференциации пород и, следовательно, их примерного химического состава. Проводившиеся ранее эксперименты позволили получить уникальную информацию о составе и характере венерических пород и показали высокую эффективность применения гамма-спектрометрического метода при геохимических исследованиях планет.

В условиях Венеры спектрометрические измерения являются единственным методом последования состава пород, который не требует отбора проб и даже выноса датчика из гермоотсека станции.

Гамма-спектрометр устанавливается в гермоотсеке станции и

состоит из двух блоков: блока детектирования и анализатора амплитуд импульсов. Общий вид прибора и блок детектирования гамма-спектрометра в разрезе показаны на рис. 107 и 108.



Рис. 107.

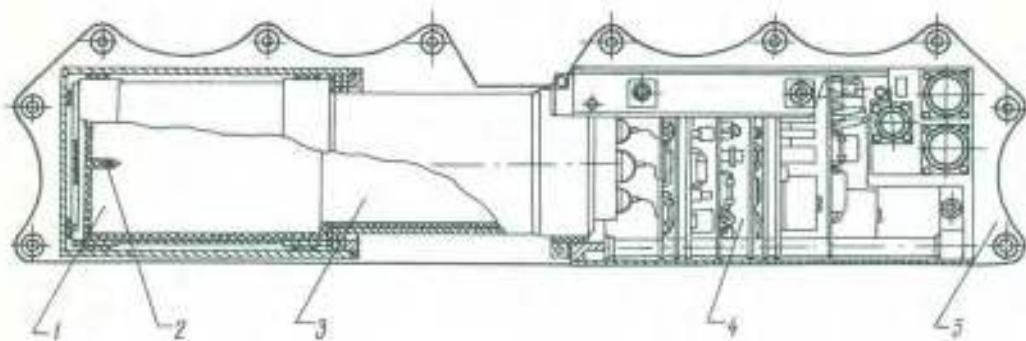


Рис. 108.

Блок детектирования включает в себя детектор гамма-излучения (кристалл $CsI(Tl)$) размером $\varnothing 53 \times 100$ мм, фотодиодный усилитель и вспомогательные электронные схемы, обеспечивающие низковольтное и высоковольтное питание прибора и необходимое

усиление возникающих в детекторе сигналов. Амплитудный анализатор содержит устройства для сортировки импульсов по амплитуде, поступающих с блока детектирования, запоминающий числа импульсов в каждом канале и передачи накопленной информации на телеметрическую систему станции. Анализатор имеет 128 амплитудных каналов емкостью 2^{16} – 1 имп.

Спектрометр обеспечивает регистрацию гамма-излучения в диапазоне энергий от $\sim 0,3$ до $\sim 3,0$ МэВ. Энергетическое разрешение спектрометра составляет менее 12% по излучению ^{137}Cs (0,662 МэВ).

Помимо спектрометрической информации, накапливаемой в анализаторе, регистрируется также средняя скорость счета в трех энергетических диапазонах. Эта информация поступает непосредственно на телеметрию в виде медленно меняющихся уровней напряжения. Такие измерения позволяют повысить надежность выполнения эксперимента.

Масса прибора 7,5 кг (4 кг – блок детектирования и 3,5 кг – анализатор), энергопотребление – менее 12,5 Вт (5 и 7,5 Вт).

Регистрация спектрометром гамма-излучения происходит следующим образом. Гамма-кванты, попадая в кристалл детектора, вызывают в нем сцинтиляции, которые фиксируются фотоумножителем. Возникшие в фотоумножителе импульсы, амплитуда которых пропорциональна энергии попадавших в кристалл гамма-квантов, дополнительно усиливаются спектрометрическим усилителем и поступают на регистрацию в многосигнальный амплитудный анализатор.

При выполнении эксперимента измерения первоначально проводятся на трассе спуска станции в атмосфере планеты с целью регистрации фонового гамма-излучения, обусловленного присутствием радиоактивных элементов в конструкционных материалах станции и в самом приборе. После посадки станции регистрируется как фоновое излучение, так и излучение исследуемой породы, проникающее в станцию через ее стекло и попадающее на детектор.

Для регистрации динамики поведения фона и эффекта от поверх-

ночных пород планеты предусматривается циклическая работа прибора: в течение нескольких минут производится набор и запоминание информации, а также ее вывод из памяти прибора на телеметрическую систему объекта для трансляции на Землю, после чего цикл, включающий набор и вывод информации, несколько раз повторяется.

Параметры прибора (высокая эффективность, быстродействие, объем памяти и др.) позволяют проводить измерения во всем охваченном диапазоне концентраций естественных радиоактивных элементов, характерных для встречающихся на Земле ультраосновных, основных и кислых пород. В связи с относительной простотой регистрируемого спектра гамма-излучения является достаточным разрешение спектрометра в пределах 10% (по излучению ^{137}Cs).

Определение содержаний урана, тория и кальция по спектрам, полученным при проведении экспериментов на Бекере, осуществляется на основе предварительной калибровки спектрометра, проводимой над естественными выходами математических горных пород различного типа (и известного состава) с использованием аналога спускаемого аппарата. Концентрация естественных радиоактивных элементов получается в результате разложения экспериментальных спектров с помощью ЭВМ на компоненты, обусловленные ураном, торием, кальцием, в такте фоном.

Прибор разрабатывался специалистами СССР.

2.8. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ ПРИ СЛУСКЕ В АТМОСФЕРУ ВЕНЕРЫ

При помощи аппаратуры (рис. 109), установленной на спускаемом аппарате, измеряются:

- давление атмосферы,
- среднее значение температуры,
- пульсации температуры.

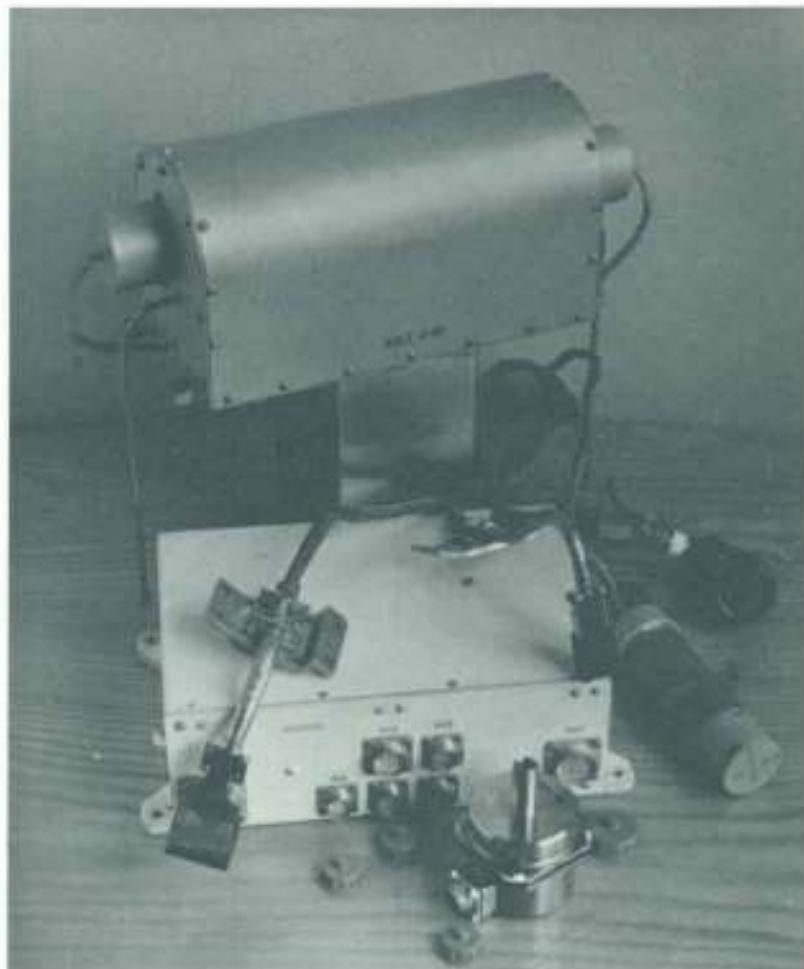


РИС. 109.

По результатам этих измерений при наземной обработке вычисляются, в зависимости от высоты, вертикальный температурный градиент, средний квадрат пульсаций температуры, структурная функция пульсаций температура и скорость выравнивания температурных неоднородностей.

Для измерения среднего значения температуры и ее пульсаций используются два датчика. В одном имеются два термочувствительных сопротивления, изготовленных из никелевой фольги, на общей систе-

ловой подложке. Термосопротивления защищены от воздействия внешней среды слоем лака. Датчик предназначен для измерения средней температуры. Другой датчик также имеет два термосопротивления. Одно из них, изготовленное из открытой платиновой проволоки на керамическом каркасе, имеет малую постоянную времени, второе изготовлено из платиновой проволоки в керамической капсule и является более инерционным. Датчик используется для измерения средней температуры и ее пульсаций.

Давление измеряется тремя датчиками с рабочими диапазонами 0 ± 2 , 0 ± 20 , 2 ± 100 атм. В первых двух чувствительным элементом является кварцевая электромеханическая система, собственная частота колебаний которой зависит от механических напряжений в изварце, обусловленных изменением давления. В третьем датчике чувствительный элемент — мембрана. Ее перемещение при изменении внешнего давления приводит к изменению частоты генератора датчика за счет влияния быстроты, образованной мембранный и неподвижными электродами.

Два датчика температуры устанавливаются спару в зазоре между посадочным кольцом и гермокорпусом.

Датчики давления с диапазонами 0 ± 2 и 0 ± 20 атм размещаются в отдельном гермоизделие, покрытом теплоизоляцией, установленном на посадочном кольце. Датчик давления с диапазоном 2 ± 100 атм и общий электронный блок размещены внутри гермоизделия посадочного аппарата.

Электроэтика эксперимента включает вторичный источник питания, аналоговые цепи измерения температуры, пульсаций температуры, аналоговые цепи датчиков давления, коммутатор аналоговых сигналов, преобразователь аналог-цифра, оперативное запоминающее устройство. Датчики давления содержат электросигнатурку для преобразования измеряемого параметра в частоту выходного сигнала. Счетчики для

преобразования частоты сигналов датчиков давления в цифровой код размещается в электронном блоке.

Распределение массы блоков и датчиков

Датчик температуры	2 x 0,2 кг
Внешний блок датчиков давления с	
теплоизоляцией	2,5 кг
Электронный блок	2,5 кг
Датчик давления на диапазон до 100 атм	
с электроникой	0,3 кг
Полная масса, включая термостойкий кабель, . . .	5,5 кг .

Аппаратура включается после раскрытия тормозного парашюта и работает в течение всего спуска. Давление сначала измеряется двумя датчиками с диапазонами 0 ± 2 , 0 ± 20 атм, затем при давлении 2 атм отключается чувствительный датчик и вместо него подключается грубый датчик с диапазоном 2 ± 100 атм.

Эксперимент осуществляется советскими и французскими специалистами.

VI. СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Информационно-измерительная система (ИИС) предназначена для сбора данных научных экспериментов на борту, передачи на Землю, бортовой и наземной обработки.

Основными звенями ИИС являются прибор БЛИСИ и две радиотелеметрические системы, наземные измерительные пункты дальней космической связи, устройства обработки на борту, входящие в состав комплекса научной аппаратуры, и система наземной обработки и обмена данными со странами - участниками научных экспериментов.

Система наземной обработки и обмена данными должна обеспечивать решение нескольких задач. Функционирование ее началось уже во время проведения наземных испытаний научной аппаратуры. Обработка информации, получаемой при наземных испытаниях, производится на комплексе ЭВМ, а результаты выдаются в виде таблиц, графиков, на магнитных лентах - для последующей обработки. Часть данных обрабатывается в режиме реального времени и экспериментаторы получают результаты обработки на экране дисплея, расположенного непосредственно в месте проведения испытаний. На рис. II0 представлена упрощенная схема проведения обработки данных испытаний КИ.

Во время полета КА система должна обеспечивать обработку данных с целью определения работоспособности научных приборов, их режимов и условий, в которых они работают. В основном эти данные можно получить при обработке так называемых служебных параметров

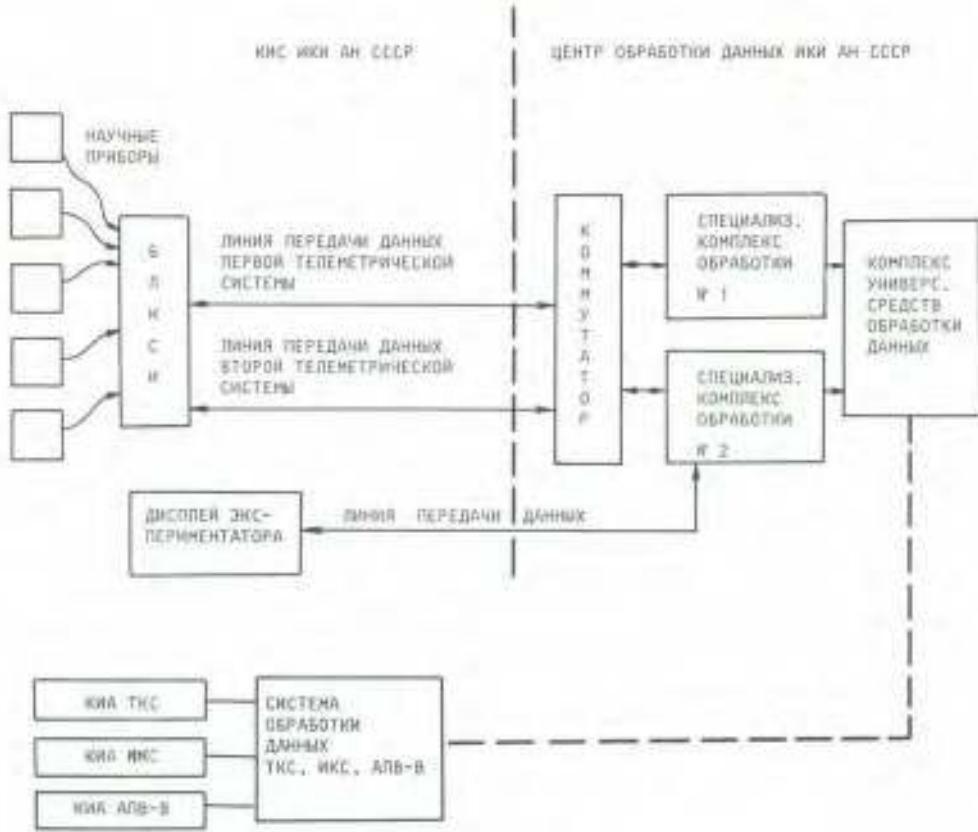


РИС. 110.

научной аппаратуры и параметров служебных систем КА. Объем этих данных существенно меньше, чем полный объем данных, передаваемых с борта обеими радиотелеметрическими системами, но зато и время, которое можно затратить на обработку, очень ограничено. Обработка должна быть выполнена в режиме реального времени, либо в режиме почти реального времени. Задержка в выдаче обработанных результатов не должна превышать 1 - 2 ч с момента приема данных на Земле, так как эти результаты используются для принятия решений и выдачи команд управления научными экспериментами.

Результаты оперативной обработки могут быть использованы для выдачи команд, изменяющих конфигурацию бортовой аппаратуры или режим ее функционирования.

Для получения предварительных научных результатов производится другой вид обработки - экспресс-обработка данных. Особенно ответственен этот вид на решающих фазах выполнения проекта: при работе СА в атмосфере Венеры, при подлете к комете Галлея и при пролете ее. Объем данных, которые необходимо обработать примерно в течение суток в пролетном сеансе, составляет около 70 млн. измерений. Для обработки будут использованы комплексы ВС ЭВМ, а также комплексы специализированных средств обработки.

Радиотелеметрические данные о научных экспериментах, принятые наземно-измерительными пунктами, будут поступать в реальном масштабе времени в ИКИ АН СССР, где располагаются основные средства обработки, по широкополосным каналам передачи данных. Кроме того, радиотелеметрические данные будут поступать на Терминалную станцию ИКИ АН СССР, расположенную в непосредственной близости от Центра дальней космической связи. Ряд задач быстрой обработки данных в интересах управления научными экспериментами будет решаться на специализированных вычислительных средствах Терминалной станции.

Затем будет производиться полная обработка данных, полученных всеми наземно-измерительными пунктами. Этот этап обработки выполняется по более сложным алгоритмам по всему объему данных, в том числе и навигационных. Даже первые фазы этого этапа обработки потребуют нескольких дней, затем экспериментаторы продолжат обработку, которая может потребовать в некоторых случаях много-месячной работы.

Предусмотрены специальные системы наземной передачи данных и формы обмена ими, так как в проекте участвуют экспериментаторы многих советских и зарубежных научных учреждений. Для передачи данных используются проводные каналы связи, а также способ передачи на магнитных лентах ЭВМ, которые возможно обрабатывать с помощью вычислительных средств всех организаций, участвующих в экспериментах.

Подрисуточные подписи к планшету
"Венера-Галлея"

- Рис.1. Расчет терминальной скорости пылевых частиц как функции их размера.
- Рис.2. Параболоид вращения, образуемый траекториями частиц.
- Рис.3. Результаты вычислений эффективности радиационного давления ($Q_{\rho r}$).
- Рис.4. Результаты вычислений величин апексов (В).
- Рис.5. Схема защитных экранов (2α - угол конуса разлета частиц I-го экрана; D - расстояние между защитными экранами; ℓ - основание конуса разлета частиц).
- Рис.6. Схематическая картина обтекания кометы солнечным ветром:
1 - магнитные силовые линии, 2 - ядро кометы, 3 - комопауза,
4 - ударная волна.
- Рис.7. Изменение плотности плазмы (n), ее скорости (u) и напряженности магнитного поля (B) на оси обтекающего комету потока в зависимости от расстояния (z) до ядра кометы.
- Рис.8. Выведение КА к Венере.
- Рис.9. Перелет Земля-Венера. Вид с северного полюса эклиптики.
- Рис.10. Схема припланетного участка.
- Рис.11. Перелет Венера - комета Галлея. Вид с северного полюса эклиптики.
- Рис.12. Участок полета около кометы.
Положение АСЛ-Г: 1 - на подлете, 2 - при встрече, 3 - на отлете.
- Рис.13. Схема полета космического аппарата ВЕГА.
- Рис.14. Космический аппарат ВЕГА:
а - общий вид, б - пролетный аппарат.
- Рис.15. Блок-схема системы наведения АСЛ-Г:
ЩД - шаговый двигатель, ТДН - телевизионный датчик наведения,
ТВУ - телевизионная узкоугольная камера.

Рис.16. Общий вид АСИ-Г.

Рис.17. Общий вид АСИ-Г с научной аппаратурой.

Рис.18. Расположение аэростатного зонда в верхней полусфере СА.

Рис.19. Схема спуска спускаемого аппарата.

Рис.20. Посадочный аппарат.

Рис.21. Схема эксперимента "Аэростат".

Рис.22. Гондола АЗ.

Рис.23. Расположение радиотелескопов , принимавших сигналы аэростатного зонда и пролетного аппарата на волне 18 см.

Рис.24. Рабочий спектральный диапазон ТВС.

Рис.25. Компоновочная схема телевизионной камеры на ПЭС-матрице:
а - ТВУ; б - ТДН и БЭ ТВС.

Рис.26. Телевизионная система пролетного аппарата "Венера-Галлей":
ПЭС - прибор с зарядовой связью, КИС - контрольный источник света. ТДН-А - телевизионный датчик наведения, аналоговый.

Рис.27. Блок-схема вычислительного интерактивного комплекса.

Рис.28. Упрощенная схема ИКС.

Рис.29. Схема фокального оптического блока ИКС.

Рис.30. Расчетная зависимость сигнала в канале КИ от расстояния при различных размерах ядра.

(ЭМШ - уровень эквивалентной мощности шума):

1 - $R_{\text{ядра}} = 5 \text{ км}$, 2 - $R_{\text{ядра}} = 3 \text{ км}$, 3 - $R_{\text{ядра}} = 2 \text{ км}$,
4 - $R_{\text{ядра}} = 1 \text{ км}$, 5 - $R_{\text{ядра}} = 0,5 \text{ км}$.

Рис.31. Синтетический спектр центральной части внутренней комы.

КНК и ДНК - диапазоны и разрешение спектральных каналов ИКС;
- - - расчетные кривые для излучения пыли и ядра,
— полосы излучения молекул.

Рис.32. ИКС без противосолнечной бленды и экранно-вакуумной изоляции.

Рис.33. ИКС с противосолнечной блендою без экранно-вакуумной изоляции.

Рис.34. Схема устройства трехканального спектрометра ТКС.

Рис.35. Общая схема электронных блоков ТКС.

Рис.36. Расположение оптических элементов прибора ТКС.

Рис.37. Общий вид прибора ТКС со снятыми крышками.

Рис.38. Схема анализатора прибора ПУМА (а) с двумя типами мишени (б) и диаграмма токов (в).

Рис.39. Калибровочный спектр удара железной пылинки по серебряной мишени.

Рис.40. Общий вид прибора ПУМА.

Рис.41. Модель атмосферы кометы Галлея.

Рис.42. Датчик *EIS* (с ионизацией электрическим полем):
а - схема устройства, б - игла источника ионизации.

Рис.43. Схематическое устройство *EIS*-анализатора.

Рис.44. Общий вид масс-спектрометра нейтрального газа (ИНГ).

Рис.45. Общий вид магнитометра МИША :
а - блок электроники (с кабелями), б - трехкомпонентный
датчик (с кабелем).

Рис.46. Блок-схема магнитометра МИША.

Рис.47. Схема потока информации в приборе МИША.

Рис.48. Электронный энергоспектрометр, принципиальная схема:
1 - анализирующие пластинки, 2 - коллиматор; 3 - сетка,
4 - каналотрон (U_{an} - анализирующее напряжение).

Рис.49. Ионный спектрометр, принципиальная схема:

1 - угол прихода, 2 - квадрупольная линза, 3 - сферическая
анализирующая система, 4 - каналотрон (U_{ac} - напряжение на квад-
ропольной линзе; U_A - анализирующее напряжение).

Рис.50. Интегральные плазменные детекторы (I_C - ток коллектора).

Рис.51. Схема монитора нейтральных частиц и пыли.

Рис.52. Функциональная схема аппаратуры "ПЛАЗМАГ-И".

Рис.53. Общий вид прибора "ПЛАЗМАГ-И".

Рис.54. Блок-схема прибора "ТИНДЕ-М."

Рис.55. Схема телескопов.

Рис.56. Блок-схема узла аналоговой обработки.

Рис.57. Блок-схема цифровой электроники.

Рис.58. Общий вид прибора "ГИИДЕ-М."

Рис.59. Результаты распределения электронной плотности для двух моделей.

Рис.60. Результаты оценки уровня шумов.

Рис.61. Уровни шума различных антенн и динамический диапазон измерений на космических аппаратах:

1 - *Pioneer-Venus* , диполь 0,75 м (решетчатые сферы); 2 - *ISEE-1* , диполь 0,61 м, расположенный на двухметровой штанге (решетчатые сферы); 3 - Венера-Галлея , диполь 10 м; 4 - *ISEE-2* , диполь 15 м; 5 - *ISEE-1* , диполь 107 м.

Рис.62. Дипольная антенна с базой II м.

Рис.63. Датчик АПВ-В.

Рис.64. Зонды Ленгмиора на штанге антенны.

Рис.65. Блок-схема АПВ-В:

1 - датчик плотности плазмы, 2 - датчик температуры плазмы, 3 - датчик электрического поля, 4 - источник напряжения, 5 - выбор режима работы, 6 - свип-генератор, 7 - калибровка по постоянному току - калибровка I, 8 - источник тока - I ($2,5 \pm 5 \cdot 10^{-8}$ А), 9 - источник тока - 2 ($2,5 \pm 5 \cdot 10^{-8}$ А), 10 - калибровка по переменному напряжению - калибровка 4, II - выбор входного сигнала, I2 - преобразователь ток-напряжение, I3 - калибровка по току - калибровка 2, I4 - преобразователь ток/напряжение, I5 - фильтр низких частот (8 Гц), I6 - предусилитель, I7 - калибровка по переменному напряжению - калибровка 3, I8 - флукутуации плотности, I9 - логарифмический усилитель, 20 - логарифмический усилитель, 21 - фильтр низких частот (0,2 Гц), 22 - канал переменного напряжения

(0,1 + 8 Гц), 23 - канал постоянного напряжения (0 + 0,1 Гц),
24 - канал фильтров с логарифмическим усилителем (0 + 25 Гц),
25 - канал фильтров с логарифмическим усилителем (25 + 75 Гц),
26 - канал фильтров с логарифмическим усилителем (75 + 300 Гц),
27 - канал фильтров с логарифмическим усилителем (300+1200 Гц),
28 - канал фильтров с логарифмическим усилителем (1,2 + 19 кГц),
29 - канал фильтров с логарифмическим усилителем (19+300 кГц),
30 - датчик температуры блока электроники, 31 - 26-канальный
коммутатор, 32 - аналогово-цифровой преобразователь, 33 - обмен-
ная линия данных и команд, 34 - согласование с аналоговой ТМ,
35 - к аналоговой ТМ, 36 - блок памяти данных (8 кбит),
37 - блок памяти программ (4 кбит), 38 - оперативная память,
39 - блок приоритетности, 40 - синхронизатор, 41 - блок
памяти телекоманд, 42 - согласующее устройство приема телеко-
манд, 43 - согласующее устройство для быстрой ТМ, 44 - согла-
сующее устройство для медленной ТМ, 45 - преобразователь пи-
тания, 46 - синхрочастота (1024 Гц), 47 - к БУЛА, 48 - к
БЛСИ РЛ, 49 - к БЛСИ ТМ, 50 - к бортовой сети питания.

Рис.66. Блок-схема АПВ-Н.

Рис.67. Блоки БД-1, БД-2, БД-3,

Рис.68. Пороги чувствительности приборов для измерения плазменных
волн на космических аппаратах "Гелиос-1" (1), "Прогноз-8"
(2) и "Вега" (3); 4 - спектр, измеренный на фронте около-
земной ударной волны на ИСЗ "Прогноз-8".

Рис.69. Общий вид КПА - АПВ-Н.

Рис.70. Счетчик пылевых частиц СП-2.

Рис.71. Схема прибора СП-2:

1 - демпфер, 2 - акустический изолитор, 3 - мембрана,
4 - пьезоэлемент, 5 - контрольный пьезоэлемент, 6 - элек-
троника, 7 - дефлектор 0 - 2 кВ, 8 - сетка 0 В, 9 - сет-
ка камеры 2 кВ, 10 - коллектор камеры, 0 В.

Рис.72. Выходной сигнал. Разворотка 100 мкс/см.

Рис.73. Прибор СП-2 с тестером.

Рис.74. Общий вид прибора СП-1.

Рис.75. Схематический вид датчика прибора:

1 - основание, 2 - золотая мишень (фольга 0,1 мм),
3 - изолятор, 4 - коллектор, 5 - защитная диафрагма.

Рис.76. Функциональная схема прибора СП-1.

Рис.77. Общий вид прибора "ФОТОН"

Рис.78 . Функциональная схема оптико-электронного прибора "ФОТОН".

ФД - фотоприемник вспышки, освещенности, ДТ1, ДТ2 - преобразователи температуры фотодиода и пьезокерамики; РКП - пьезокерамический преобразователь, СИ - светосигнолучатель, ФН, ФВ - фильтры низких и верхних частот, ЛЗ - линия задержки, АЛУ - арифметически-логическое устройство, ВМО, АЦД, ЦАПО, ССО - устройство выбора масштаба, аналого-цифровой преобразователь, цифроаналоговый преобразователь, согласующая схема по каналу освещенности, ИОН - источник опорных напряжений, РТМ - распределитель тактовых импульсов, РЧ - регулятор чувствительности, ЦАППО, ССПО - цифроаналоговый преобразователь, согласующая схема по каналу приращения освещенности, ЦД, ВМА - пиковый детектор, устройство выбора масштаба амплитуды вспышки, ОЗУ - оперативное запоминающее устройство, ФДЛ, МДЛ, ССДЛ, ЦАЦДЛ - формирователь, масштабный преобразователь, согласующая схема, цифроаналоговый преобразователь по каналу длительности импульса вспышки, ПВК - преобразователь время-код, СИВ - счетчик импульсов вспышки, ЦАПКВ - цифроаналоговый преобразователь количества вспышек, СК - стробирующий каскад, СС - согласующая схема по каналу измерения

количества вспышек и температуры фото-и пьезоприменика, ЛУ - логарифмический усилитель, БИАС, АЦПАС, ЦАПАС, ССАС - устройство выбора масштаба, аналого-цифровой преобразователь, цифро-аналоговый преобразователь, согласующая схема измерителя амплитуды акустического сигнала, УСД, УМ - схема управления светодиодом и мультиплексором, ЦАПМ, ССМ - цифро-аналоговый преобразователь и согласующая схема по каналу масштабных коэффициентов.

Рис.79. Функциональная схема датчика ДУСМА (САС - схема антисовпадений; ПУ - предусилитель).

Рис.80. Общий вид прибора ДУСМА

Рис.81. Общий вид прибора БУНА.

Рис.82. Общий вид прибора БЛМСИ.

Рис.83. Система управления, сбора и передачи научной информации.

Рис.84. Блок-схема прибора БУНА.

Рис.85. Блок-схема прибора БЛМСИ (БТМ, БРЛ).

Рис.86. Структура резерва БТМ.

Рис.87. Структура резерва БРЛ.

Рис.88. Принципиальная блок-схема прибора ИСАВ.

Рис.89. Схема установки отдельных блоков прибора на СА.

Рис.90. Спектр поглощения S_0 , полученный с помощью прототипа УФ-спектрометра (по оси абсцисс - длина волны в миллимикронах, по оси ординат - параметр $R = \frac{S_A - S_0}{S_{nA} - S_0}$, где S_0 - темновой сигнал, S_{nA} - сигнал при продувке S_0 через трубу блока K (рис.88) S_A - сигнал при отсутствии S_0).

Рис.91. Общий вид прибора ИСАВ.

Рис.92. Блок-схема хроматографа "СИГМА-3": K_i - колонки ($i=1,2,3$) D_b - детекторы ($b=1,2,3$); ЭЭД - электронно-захватный детектор.

Рис.93. Хроматограмма смеси газов, полученная на штатном приборе "СИГМА-3" (I_{cp} - средний уровень тока)

Рис.94. Общий вид прибора "СПИМ-3" без кожуха.

Рис.95. Схема эксперимента (прибор МП):

I - фильтр М, 2 - радионизотопный источник, 3 - детектор рентгеновского излучения.

Рис.96. Функциональная схема прибора МП.

Рис.97. Общий вид прибора "МАЛАХИТ-В".

Рис.99. Калибровочный массо-спектр, полученный на технологическом приборе.

Рис.100. Функциональная схема коллектора-шаролизатора.

(S-разработка СССР, F-разработка Франции)

Рис.101. Общий вид измерителя влажности ЕМ-4.

Рис.102. Устройство термоэлектролитического датчика прибора ЕМ-4:

I - стеклянный стержень, 2 - раствор соли, 3 - электроды, 4 - термометр сопротивления.

Рис.103. Устройство кулонометрического датчика прибора ЕМ-4:

I - стеклянный корпус, 2 - пленка Фаобрной кислоты, 3 - электроды, 4 - блок измерения теплопроводности, 5 - чувствительные элементы.

Рис.104. Схема доставки пробы грунта грунтозаборным устройством в зону анализа и расположения основных блоков рентгенофлуоресцентного спектрометра:

I - корпус посадочного аппарата станции, 2 - блок усиления и коммутации, 3 - амплитудный анализатор импульсов, 4 - ТМ-система, 5 - антенна, 6 - детекторы, 7 - источник плутония-238, 8 - грунтозаборное устройство, 9 - проба, 10 - грунтоизъемник, II - источник деления-55.

Рис.I05. Схематическое изображение устройства прибора:

1 - амплитудный анализатор импульсов, 2 - крышка блока детектирования, 3 - корпус блока детектирования, 4 - счетчик, 5 - шланг, 6 - корпус посадочного аппарата станции, 7 - исследуемый образец, 8 - грунтоприемник, 9 - радиоизотопный источник, 10 - электронный блок.

Рис.I06. Схема взаимного расположения источников излучения, детекторов и исследуемого образца.

Рис.I07. Общий вид гамма-спектрометра ГС-15СЦВ.

Рис.I08. Блок детектирования гамма-спектрометра в разрезе:

1 - кристалл $\text{CsI}(\text{Te})$, 2 - реперный источник $\text{^{137}Cs}$, 3 - фотоэлектронный умножитель, 4 - электронный узел, 5 - корпус.

Рис.I09. Общий вид прибора для измерения вертикального профиля температуры и давления при спуске в атмосферу Венеры.

Рис.I10. Общая схема обработки научной информации проекта "Венера-Галлей".

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	11
I. Оптическая модель кометы Галлея.	15
II. Пылевая атмосфера вблизи кометы Галлея и метеоритная опасность	19
III. Плазменная оболочка кометы	29
IV. Основные элементы проекта, их конструктивные и технические характеристики	35
I. Баллистическая схема полета	35
2. Конструкция пролетного аппарата	42
3. Конструкция автоматической стабилизированной платформы	46
4. Конструкция спускаемого аппарата	51
5. Конструкция аэростатного зонда	57
6. Научная аппаратура аэростатного зонда	66
7. Международная сеть радиотелескопов	67
7. Состав научных приборов, цели научных экспериментов, их описание и основные технические характеристики	71
I. Пролетный аппарат	71
I.I. Телевизионная система (ТВС)	71
I.2. Вычислительный интерактивный комплекс обработ- ки космической видеинформации (ВИК)	83
I.3. Иракрасный спектрометр (ИКС)	86
I.4. Трехканальный спектрометр (ТКС)	96
I.5. Пылеударный масс-анализатор ПУМА	108

I.6. Масс-спектрометр нейтрального газа (ИНГ)	114
I.7. Магнитометр МИША	126
I.8. Спектрометр кометной плазмы "ПЛАЗМАГ-1"	131
I.9. Спектрометр энергичных частиц "ТЮНДЕ-М"	145
I.10. Анализатор высокочастотных плазменных волн (АПВ-В)	164
I.II. Анализатор низкочастотных плазменных волн (АПВ-Н)	167
I.I2. Счетчик пылевых частиц (СП-2)	174
I.I3. Счетчик пылевых частиц (СП-1)	180
I.I4. Оптико-электронный прибор "ФОСОН"	185
I.I5. Счетчик и масс-анализатор пылинок ДУСМА	192
I.I6. Бортовая система управления, сбора и передачи научной информации	197
2. Посадочный аппарат	211
2.I. Спектрофотометр ИСАЗ	211
2.2. Газовый хроматограф "Сигма-3"	216
2.3. Прибор для изучения элементного состава аэрозолей облаков Венеры (ИФП)	221
2.4. Масс-спектрометрическая аппаратура для исследования облаков Венеры "Малахит-В"	223
2.5. Измеритель влажности (ВИ-4)	230
2.6. Прибор для рентгенофлуоресцентного анализа состава пород на Венере (БДРП:АМ25)	233
2.7. Гамма-спектрометр для исследования пород Венеры (ГС-15СЧВ)	238
2.8. Приборы для измерения вертикального профиля температуры и давления при спуске в атмосферу Венери	241
УІ. Система сбора и обработки информации	245