

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»**

А.А. Мещеряков

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Методические указания к лабораторным работам по курсу «Конструкции космических аппаратов» для студентов радиотехнических специальностей

Томск
2023

УДК 629.78

ББК 39.6

Рецензент:
Гулько В.Л, с.н.с НИИ РТС ТУСУР, кандидат
технических наук

Мещеряков Александр Алексеевич

Лабораторный практикум: методические указания к лабораторным работам по курсу «Конструкции космических аппаратов» для студентов радиотехнических специальностей / А.А. Мещеряков — Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2023. – 31 с.

Лабораторный практикум сопровождает курс «Конструкции космических аппаратов» и предназначен для ознакомления и обучения студентов старших курсов с современными основами устройств и функционирования космических аппаратов различного назначения и включает в себя методические указания студентам при подготовке к лабораторным работам и в процессе их выполнения.

Одобрено на заседании каф. РТС, протокол № 5 от 01.12.2022 г.

УДК 629.78
ББК 39.6

© Мещеряков А.А., 2023
© Томск. гос. ун-т систем упр. и
радиоэлектроники, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	4
1. Лабораторная работа №1. Основы устройства и функционирования искусственных спутников Земли.....	5
2. Лабораторная работа №2. Основы устройства и функционирования космического корабля.....	9
3. Лабораторная работа №3 Конструкция модуля полезной нагрузки.....	21
4. Лабораторная работа №4 Основы устройства и функционирования автоматической межпланетной станции.....	27

Предисловие

Лабораторный практикум сопровождает курс «Конструкции космических аппаратов» и предназначен для ознакомления и обучения студентов старших курсов с современными основами устройств и функционирования космических аппаратов различного назначения и включает в себя методические указания студентам при подготовке к лабораторным работам и в процессе их выполнения.

Цель лабораторного практикума – ознакомить и научить студентов старших курсов проведению на современном уровне ряда этапов инженерной и научно-исследовательской деятельности от момента проектирования научной аппаратуры до анализа получаемой информации. Практикум состоит из четырех работ.

Первая лабораторная работа «Основы устройства и функционирования искусственных спутников Земли» предназначена для изучения основ устройства и функционирования искусственного спутника Земли, на примере спутника связи серии «Луч» и космического корабля на примере космического аппарата «Союз».

Вторая лабораторная работа «Основы устройства и функционирования космического корабля» является изучением основ устройства и функционирования космического корабля на примере международной космической станции (МКС).

Третья лабораторная работа «Конструкция модуля полезной нагрузки» предназначена для изучения на примере технического описания модуля полезной нагрузки (МПН) возможных вариантов размещения аппаратуры ретрансляции, антенн, приборов системы ориентации, требующих точной ориентации относительно осей космического аппарата.

Четвертая лабораторная работа «Основы устройства и функционирования автоматической межпланетной станции» выполняется на примере изучения основ устройства и принципах межпланетных станций «Вега» для закрепления студентами на практике теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях.

Выполнение представленных лабораторных работ требует от студентов знания (прослушивания соответствующих курсов): космические системы и конструкции космических аппаратов. С другой стороны выполнение этих работ будет способствовать повышению знаний студентов по перечисленным дисциплинам. Особо отметим, что перечисленные работы способствуют улучшению инженерной подготовки наших студентов.

1. Лабораторная работа 1 «Основы устройства и функционирования искусственных спутников Земли»

Целью данной лабораторной работы является изучение основ устройства и функционирования искусственного спутника Земли, на примере спутника связи серии «Луч» и космического корабля на примере космического аппарата «Союз».

Часть 1. Спутник связи.

Космические аппараты многофункциональной космической системы ретрансляторов (МКСР) «Луч» обеспечивают возможность ретрансляции информации целевого назначения с российского сегмента Международной космической станции, пилотируемых и автоматических низколетающих космических аппаратов в центры управления полетом и пункты приема информации. Кроме того, они позволяют производить обмен информацией между объектами наземной инфраструктуры и индивидуальными потребителями. В задачи космических аппаратов-ретрансляторов также входит передача сигналов гидрометеорологической системы Росгидромета, автоматических сигналов международной системы спасания КОСПАС-САРСАТ и сигналов системы дифференциальной коррекции и мониторинга для потребителей системы ГЛОНАСС.

Особенностью МКСР «Луч» является ее глобальность: космические аппараты-ретрансляторы, входящие в ее состав, способны принимать информацию от низколетающих объектов ракетно-космической техники, в том числе с ракет-носителей и разгонных блоков на активных и пассивных участках полета, вне зон радиовидимости этих объектов с российской территории и передавать ее в пункты приема информации на территории России в режиме реального времени.

Федеральной космической программой России предусмотрено создание и развитие МКСР «Луч».

Основные характеристики спутника связи серии «Луч» представлены в таблице 1.

Таблица 1. Технические и эксплуатационные характеристики спутника.

Тип формируемых услуг	Ретрансляция и управление
Орбита	Геостационарная
Расчетный срок службы	3 года
Стартовая масса	2400 кг
Электрическая мощность системы электропитания:	1750 Вт
Количество ретрансляторов	3

Спутники такого типа выводятся на орбиту ракетоносителем «Протон», с разгонным блоком «Д». Общий вид спутника связи серии «Луч» представлен на рис. 1.1.

Космические спутники связи серии «Луч» разрабатывались для ретрансляции с орбитальной станции «Мир» и на нее телевизионной информации, обеспечения двусторонней связи с орбитальным кораблем многоцелевого использования «Буран», с космическими кораблями «Союз» и «Прогресс» и разгонными блоками – межорбитальными буксирами.

В процессе испытаний выяснилось, что радиолинии спутника имеют существенный запас по энергетике и по времени работы, который может быть использован для других целей, в частности для системы сбора и передачи оперативной телевизионной информации. Такая система обеспечивает двусторонний обмен ТВ-информацией между центральными и репортажными станциями и позволяет проводить «телемосты», телеконфе-

ренции или передавать телерепортажи из «горячих» точек в реальном времени практически из любой точки Земли.

При полном развертывании орбитальной группировки в ней должны быть три ИСЗ с точками стояния 16^0 з.д., 95^0 в.д., 160^0 з.д.

Космические аппараты «Луч» сыграли огромную роль в развитии отечественного спутникостроения. Запуск спутников связи «Луч» в 80-х годах позволил в два раза увеличить продолжительность сеанса связи орбитального комплекса «Мир» с Землей: Центр управления полета видел орбитальную станцию «Мир» даже на противоположной стороне планеты.

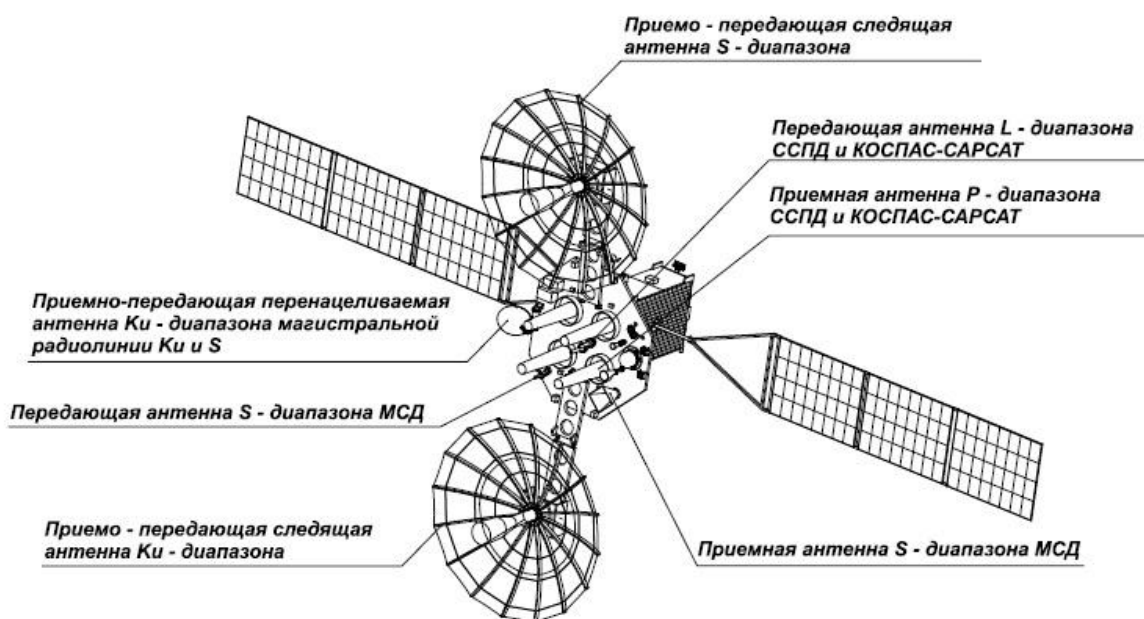


Рисунок 1.1 – Общий вид спутника Луч – 5А.

Часть 2. Космический корабль «Союз».

Программа полетов пилотируемых космических кораблей (КК) «Союз» предусматривает широкие научные и технические исследования в околоземном космическом пространстве при автономных полетах КК и в совместных полетах с орбитальной станцией.

Расположение КК «Союз» в составе космической головной части (КГЧ) ракеты-носителя (РН) «Союз» показано на рис. 1.2.

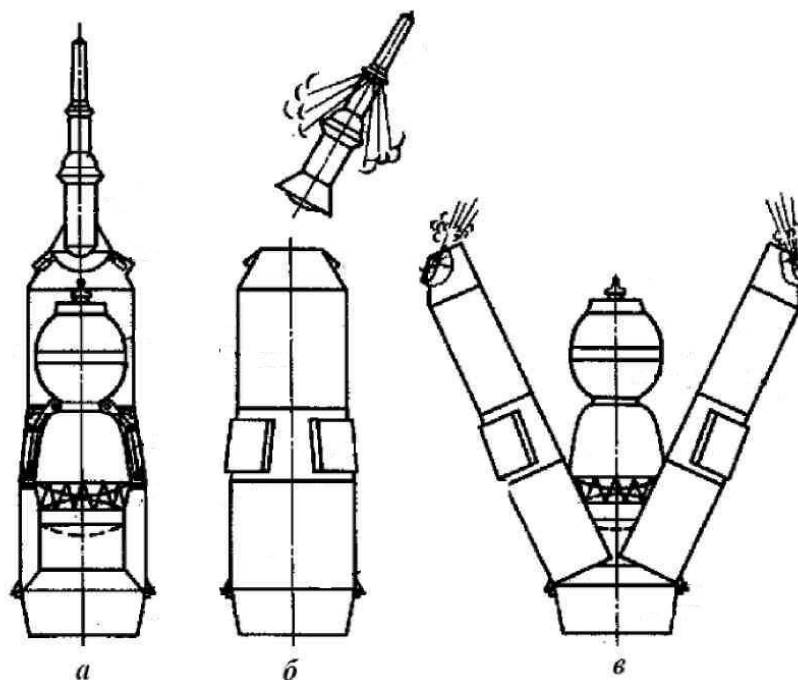


Рисунок 1.2 – Космический корабль «Союз» в составе ракетносителя.
 (а – Космическая головная часть ракетносителя; б – Увод ракетным двигателем твердого топлива (РДТТ) системы аварийного спасения (САС) разделительным РДТТ при штатном полете; в – Разворот створок головного обтекателя)

Космический корабль «Союз» массой 6,5 - 6,8 тонн и длиной 7,5 м при максимальном диаметре 2,72 м состоит из трех отсеков (Рис. 1.3):

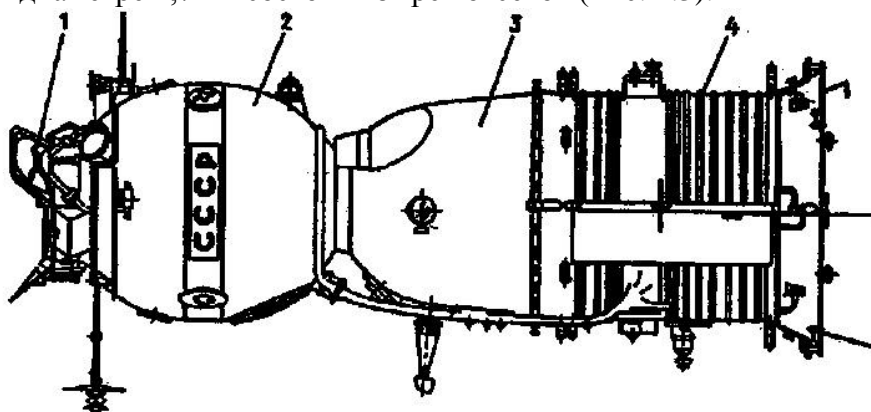


Рисунок 1.3 - Общий вид космического корабля «Союз»:
 (1 — Стыковочный агрегат; 2 — Орбитальный отсек; 3 — Спускаемый аппарат;
 4 — Приборно-агрегатный отсек)

1. Орбитальный отсек (ОО), предназначенный для работы и отдыха экипажа на орбите. В нем размещается научно-исследовательская и другая аппаратура для работы и наблюдений, места для отдыха и сна, шлюзовая камера для выхода в открытый космос, стыковочный агрегат и др.

2. Спускаемый аппарат (СА), обеспечивающий безопасное возвращение экипажа и необходимого оборудования на Землю. Спускаемый аппарат имеет прочный корпус, выдерживающий нагрузки при спуске в атмосфере Земли, специальные кресла (ложементы) для размещения членов экипажа, обеспечивающие наименьшие отрицательные воздействия перегрузок на организм космонавтов. Систему жизнеобеспечения для экипажа и индивидуальные средства (скафандры) для каждого космонавта, а также пуль-

ты и механизмы, воздействующие на систему управления спускаемым аппаратом в экстремальных условиях.

3. Приборно-агрегатный отсек, в котором размещаются основные приборы и оборудование, обеспечивающие различные функциональные задачи, и сближающе-корректирующая двигательная установка (ДУ).

Компоновочные схемы отсеков КК

Конструктивно-компоновочная схема спускаемого аппарата КК «Союз» представлена на рис. 1.4 и рис. 1.5.

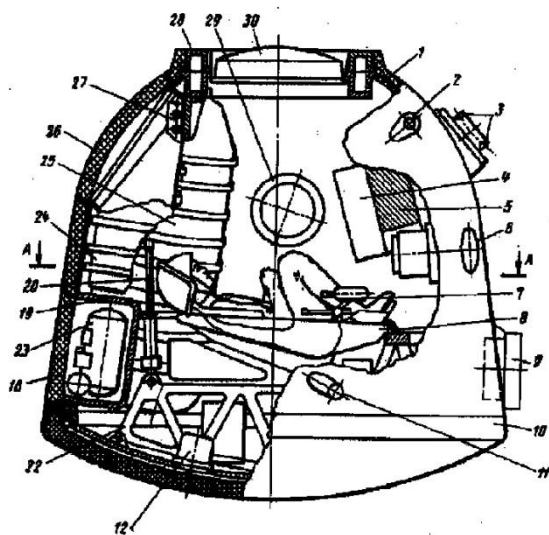


Рисунок 1.4 - Конструктивно-компоновочная схема спускаемого аппарата КК «Союз». Вид сбоку.

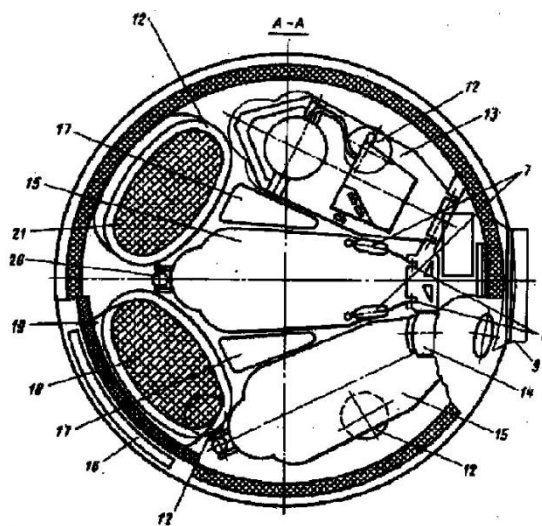


Рисунок 1.5 - Конструктивно-компоновочная схема спускаемого аппарата КК «Союз». Вид снизу.

Обозначения, представленные на рисунках:

1 – корпус с тепловой защитой; 2,3, 11 – двигатели управления в пространстве, 4 – командно-сигнальное устройство; 5 – приборная доска; 6 – иллюминатор оптического прибора. 7 – ручка управления КК. 8 – шарнир кресла. 9 – отрывная плата; 10 – сбрасываемый лобовой теплозащитный экран; 12 – пороховые двигатели мягкой посадки (ДМП); 13 – рама с баллоном и арматурой для подачи газа в скафандры; 14 – кабинная часть оптического прибора. 15 – кресло космонавта; 16 – люк для доступа к бакам с топливом; 17 – контейнеры с пищей, водой и носимым аварийным запасом; 18 – запасная парашютная система; 19 – ниша для установки баков; 20 – амортизатор кресла; 21 – основная парашютная система; 22 – приборная рама; 23 – баки с топливом. 24 – контейнер запасной парашютной системы. 25 – контейнер основной парашютной системы; 26 – крышка парашютного контейнера. 27 – узел крепления стренг парашют; 28 – донный шпангоут; 29 – иллюминатор; 30 – крышка люка-лаза со щелевой антенной.

Общий объём воздуха жилых помещений – 10 м³. Две жизненно важные системы дублированы: тормозная и парашютная система.

Методические указания студентам при подготовке к лабораторной работе и в процессе ее выполнения.

При подготовке к лабораторной работе студенты должны изучить необходимый лекционный материал и рекомендованную учебную литературу.

В процессе самоподготовки по лабораторной работе студенты должны изучить:

- Целевое назначение систем.

- Технические характеристики ИСЗ.
 - Устройство и принципы работы его основных подсистем: полезной нагрузки, системы ориентации, двигательной установки, бортового оборудования.
 - Подготовить отчет по лабораторной работе.
- В качестве привлекаемых для выполнения лабораторных работ средств используется следующее учебно-методическое обеспечение:
1. Космонавтика, энциклопедия. Москва, 1985.
 2. Гущин В.Н. Основы устройства и конструирования космических аппаратов. М.: Издательство «Машиностроение», 2003.

2. Лабораторная работа 2 «Основы устройства и функционирования космического корабля»

Целью данной лабораторной работы является изучение основ устройства и функционирования космического корабля на примере международной космической станции.

Международная космическая станция (МКС) (International Space Station - ISS) — пилотируемая орбитальная станция, используемая как многоцелевой космический исследовательский комплекс. МКС — совместный международный проект, в котором участвуют 14 стран: Бельгия, Германия, Дания, Испания, Италия, Канада, Нидерланды, Норвегия, Россия, США, Франция, Швейцария, Швеция, Япония.

Работы по международной космической станции начались в 1993. К этому моменту Россия имела более чем 25-летний опыт эксплуатации орбитальных станций «Салют» и «Мир», располагала уникальным опытом проведения длительных полетов, а также разнообразными космическими системами и развитой инфраструктурой для обеспечения их полетов. Но к 1991 году Россия оказалась в состоянии тяжелого экономического кризиса и уже не могла поддерживать финансирование космонавтики на прежнем уровне. В это же время в тяжелом финансовом положении оказались создатели орбитальной станции «Фридом» (США). Поэтому появилось предложение объединить усилия России и США в осуществлении пилотируемых программ.

15 марта 1993 генеральный директор Российского космического агентства (РКА) Ю.Н.Коптев и генеральный конструктор научно-производственного объединения (НПО) «Энергия» Ю.П.Семенов обратились к руководителю НАСА Д.Голдину с предложением о создании МКС. А уже 2 сентября 1993 было подписано «Совместное заявление о сотрудничестве в космосе», предусматривавшее создание МКС.

В итоге дальнейших переговоров определилось, что в создании станции, кроме России (РКА) и США (NASA), участвуют Канада (CSA), Япония (NASDA) и страны Европейского сотрудничества (ESA), всего 16 стран, и что станция будет состоять из 2-х интегрированных сегментов (российского и американского) и собираться на орбите постепенно из отдельных модулей. Основная работа должна быть закончена к 2003; общая масса станции к этому времени превысит 450 т. Доставка грузов и экипажей на орбиту осуществляется российскими ракетами-носителями «Протон» и «Союз», а также американскими многоразовыми кораблями типа «Спейс Шаттл».

Этапы строительства станции

Развертывание МКС началось запуском 20 ноября 1998 с помощью ракеты «Протон» функционально-грузового блока (ФГБ) «Заря», построенного в России. 5 декабря 1998 состоялся старт космического шаттла «Индевор» с американским стыковочным модулем NODE-1 («Юнити») на борту. 7 декабря «Индевор» причалил к ФГБ, перенес манипулятором и пристыковал к нему модуль NODE-1. Экипаж корабля «Индевор» выполнил на ФГБ (внутри и снаружи) монтаж аппаратуры связи и ремонтные работы.

27 мая 1999 стартовал шаттл «Дискавери» (STS-96) и 29 мая состыковался с МКС. 18 мая 2000 стартовал шаттл «Дискавери» (STS-101), Экипаж осуществил ремонтные работы на ФГБ и монтаж грузовой стрелы и поручней на внешней поверхности станции. Двигателем шаттла осуществлена коррекция (подъем) орбиты МКС.

26 июля 2000 осуществлена стыковка служебного модуля «Звезда» с модулями «Заря» – «Юнити». Начало функционирования на орбите комплекса «Звезда» – «Заря» – «Юнити» общей массой 52,5 т.

С момента (2 ноября 2000) стыковки с МКС корабля «Союз ТМ-31» с экипажем МКС-1 на борту начался этап эксплуатации станции в пилотируемом режиме и проведения на ней научно-технических исследований.

Поэтапная сборка МКС представлена на рис. 2.1.

Основные технические и лётные характеристики МКС представлены в таблице 1. Данные за декабрь 2019 года.

Таблица 1. Основные характеристики МКС.

Технические характеристики		Полётные данные станции	
Масса	417 289 кг	Перигей	413 км
Длина	109 м	Апогей	418 км
Ширина	73,15 м	Высота орбиты	337-430 км
Жилой объём	916 м ³	Орбитальная скорость	7,6 км/с
Температура	около 29 ⁰ С	Оборотов в день	15,5

Научные и технические эксперименты на МКС

Формирование программы научных исследований на российском сегменте (РС) МКС было начато в 1995 после объявления конкурса среди научных учреждений, промышленных организаций и высших учебных заведений. Было получено 406 заявок от более 80 организаций по 11 основным направлениям исследований. В 1999 с учетом проведенной специалистами РКК «Энергия» технической проработки реализуемости полученных заявок была разработана «Долгосрочная программа научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на РС МКС».

Устройство МКС

В основе устройства станции лежит модульный принцип. Конструкция МКС ведется по принципу последовательного добавления очередного блока или модуля к комплексу, ранее доставленного на орбиту. При этом по окончании строительства допустимо изменение расположения модулей относительно друг друга.

Компоненты станции:

«Заря» — функционально-грузовой модуль, который был одним из первых модулей, доставленных на орбиту МКС. Его длина — 12,6 метров, масса — 20 тонн, объём — 80 кубических метров, диаметр — 4 метра. В его «арсенале» - большие солнечные батареи и реактивные двигатели, предназначенные для коррекции орбиты станции. По предварительным расчетам, минимальный срок эксплуатации модуля - 15 лет;

Противометеоритная панель (противомикрометеорная защита) – обязательный компонент, смонтированный на модуле «Звезда» по требованию с американской стороны;

«Звезда» — служебный модуль, который вмещает в себе систему жизнеобеспечения, систему управления полётом, информационный и энергетический центры и каюты для космонавтов. Масса данного модуля составляет 24 тонны. Он имеет четыре стыковочных узла и разделяется на пять отсеков;

Малые исследовательские модули (МИМ) - два российских грузовых модуля «Поиск» и «Рассвет», которые предназначены для хранения необходимого в целях проведения научных экспериментов оборудования;

«Наука» - лабораторный многофункциональный российский модуль, предусматривающий условия для временного проживания экипажа, проведения научных экспериментов, хранения научного оборудования;

Европейский дистанционный манипулятор - предназначен для перемещения расположенного за пределами станции оборудования;

Гермоадаптер — герметичный стыковочный переходник, который необходим в целях соединения модулей МКС между собой, а также обеспечения стыковок шаттлов;

«Транквилити» - модуль, соединенный с модулем «Юнити», который отвечает за функцию обеспечения и содержащий системы по регенерации воздуха, переработке воды, утилизации отходов и так далее;

«Юнити» - модуль МКС, первый из трёх соединительных модулей, выполнивший функцию стыковочного узла, а также ставший коммутатором электроэнергии для модулей «Нод-3», «Квест», фермы Z1 и стыкующихся посредством него через Гермоадаптер-3 транспортных кораблей;

«Пирс» — «порт причаливания» для российских кораблей «Прогресс» и «Союз», установленный на модуле «Звезда»;

Внешние складские платформы - три негерметичные внешние платформы, которые предназначены исключительно в целях хранения оборудования и грузов;

Фермы – ферменная в своем объединении структура, предназначенная для негерметичного хранения разного рода оборудования и грузов, характеризующаяся установкой на элементах солнечных батарей, дистанционных манипуляторов и панелей радиаторов;

Мобильная обслуживающая система («Канадарм 2») - канадская система дистанционных манипуляторов, которая является основным инструментом для перемещения внешнего оборудования и разгрузки транспортных кораблей;

«Декстр» — канадская система, состоящая из двух дистанционных манипуляторов, которая служит в целях перемещения оборудования, расположенного за пределами станции;

«Квест» - шлюзовой специализированный модуль, который предназначен для осуществления выхода астронавтов и космонавтов в открытый космос при сохранении возможности предварительного проведения вымывания азота из крови человека (десатурации);

«Гармония» - действующий в качестве коммутатора электроэнергии для трёх научных лабораторий, а также выполняющий функцию стыковочного узла модуль;

«Коламбус» - лабораторный модуль, разработанный в Европе, пристыкованный к модулю «Гармония», содержащий научное оборудование и хабы (сетевые коммутаторы), которые предназначены для обеспечения связи между компьютерным оборудованием станции.

«Дестини» - американский лабораторный модуль, который состыкован с модулем «Гармония»;

«Кибо» - лабораторный модуль, созданный японцами, который состоит из основного дистанционного манипулятора и трёх отсеков. Он необходим для проведения биологических, биотехнологических, физических и других научных экспериментов в негерметичных и герметичных условиях;

«Купол» - семь иллюминаторов купола предназначены для использования их в целях проведения экспериментов и наблюдения за нашей планетой в частности, и за Космосом в целом. Помимо этого, здесь же расположены пульт управления главным дистанционным манипулятором станции и место для отдыха членов экипажа;

ТСП - негерметичные платформы в количестве четырех штук, которые закреплены на фермах 3 и 4. Используются для размещения необходимого для экспериментов в вакууме оборудования;

Герметичный многофункциональный модуль – склад для хранения грузов, пристыкованный к «Дестини».

Помимо этого, на МКС расположены три грузовых модуля «Рафаэль», «Донателло» и «Леонардо», которые поочередно доставляются на орбиту в целях дооснащения МКС необходимыми грузами, в том числе и оборудованием.

Основные научные и технические задачи МКС:

- Изучение Земли из космоса;
- Изучение физических и биологических процессов в условиях невесомости и контролируемой гравитации;
- Астрофизические наблюдения, в частности на станции будет большой комплекс солнечных телескопов;
- Испытание новых материалов и приборов для работы в космосе;
- Отработка технологии сборки на орбите крупных систем, в том числе с использованием роботов;
- Испытание новых фармацевтических технологий и опытное производство новых препаратов в условиях микрогравитации;
- Опытное производство полупроводниковых материалов.

Общий вид МКС представлен на рис. 2. Фото сделано 23 мая 2010 года членом экипажа STS-132 на борту космического челнока Атлантис.

Сборка МКС

на июнь 2008 года

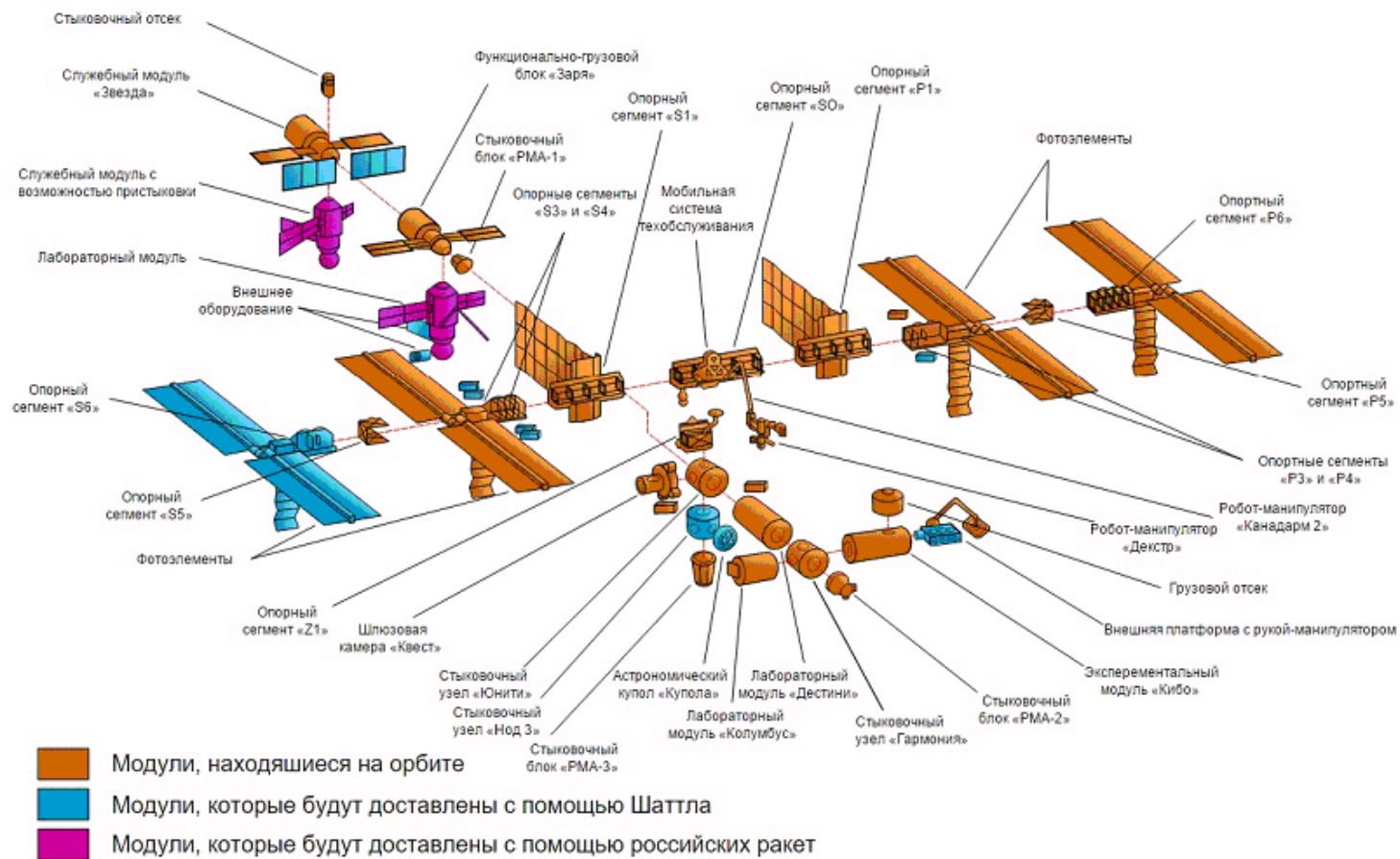


Рисунок 2.1 - Состав международной космической станции. Данные на июнь 2008 года.

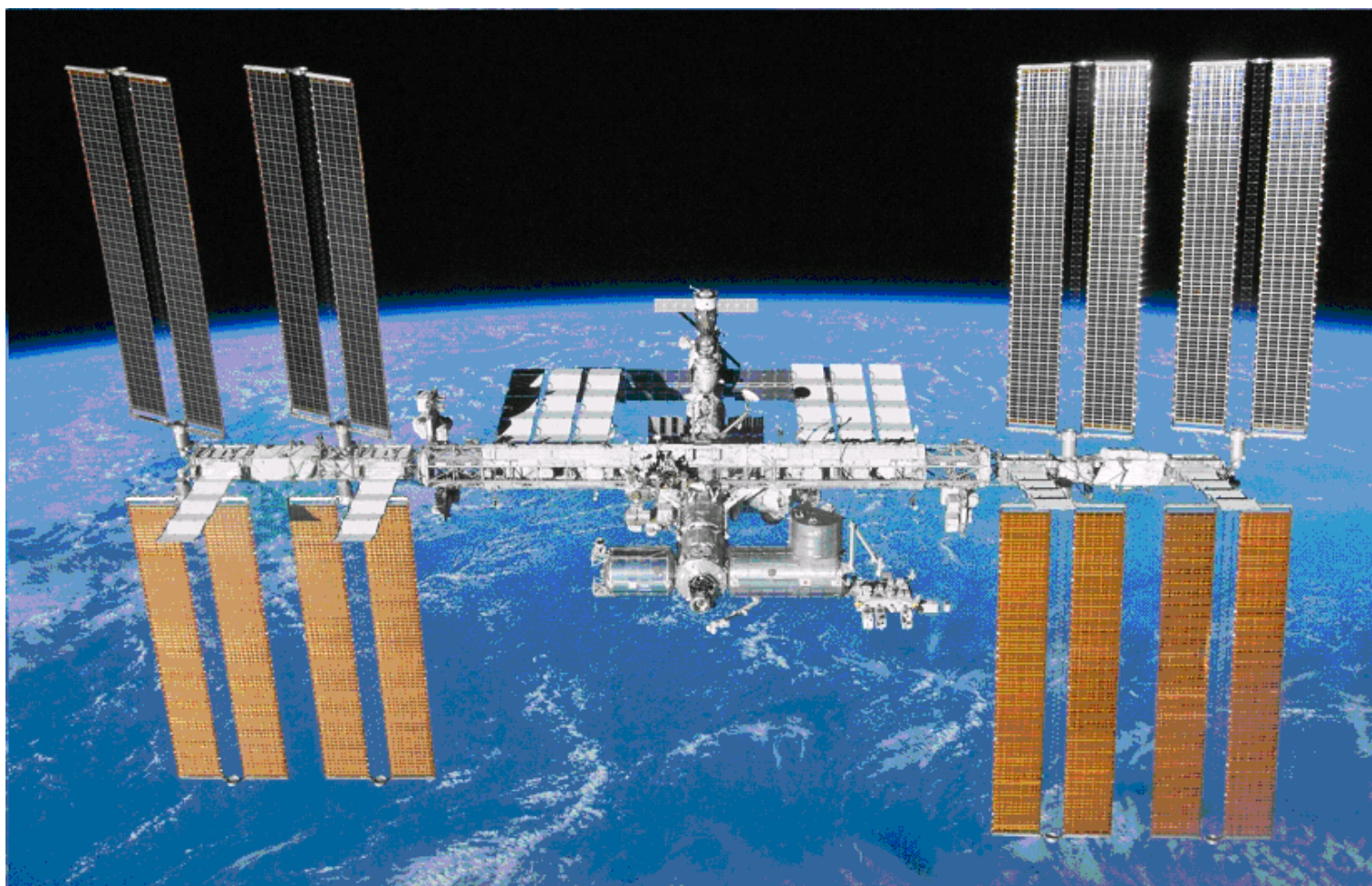


Рисунок 2.2 - Фото международной космической станции

Конфигурация Российского сегмента МКС

Конфигурация Российского сегмента (РС) МКС приведена на рис. 2.3.
В состав РС МКС входят следующие модули.

Служебный модуль (СМ)

В конструкции СМ предусмотрен ряд зон для установки научной аппаратуры (НА) в условиях полета, в которых конструктивно обеспечена возможность механического закрепления и подключения НА к служебным системам МКС.

Внутри гермоотсека СМ для установки и подключения НА резервируются объемы: размером до 175×400×60 мм и размером до 220×350×300 мм.

Внешний вид СМ представлен на рис.2.4а и рис. 2.4б.

Стыковочный отсек №1 (СО1)

Особенности использования СО1 для проведения экспериментов:

- возможность установки аппаратуры на внешней поверхности для наблюдения плоскости местного горизонта;
- наличие иллюминатора с возможностью визирования аппаратуры в плоскости горизонта;
- возможность краткосрочного размещения аппаратуры внутри герметического отсека (ГО) для проведения космического эксперимента (КЭ);
- ресурсы бортовых систем для научного оборудования на внешней поверхности в основном заимствуются с СМ.

Размещение целевого оборудования, иллюминаторов и розеток бортовой сети на СО1 представлено на рис. 2.5.

Малый исследовательский модуль №2 (МИМ2)

Характеристики:

- стартовая масса, кг: 3670±50 кг;
- гермообъем, м³: 12,5;
- объем для хранения грузов и НА, м³: 0,2;
- в т.ч. для научной аппаратуры, м³: 0,1;
- электроэнергия для научного оборудования, кВт: до 0,1;
- максимальное среднесуточное тепловыведение от аппаратуры из состава КЦН через воздушный контур СОТР: до 0,1;
- средство доставки: РН «Союз-ФГ»

Внешний вид МИМ2 представлен на рис. 2.6.

Особенности использования МИМ2 для проведения экспериментов:

- возможность установки аппаратуры на внешней поверхности МИМ2 для наблюдения верхней полусферы и плоскости местного горизонта;
- наличие иллюминатора с возможностью визирования аппаратуры в плоскости горизонта;
- возможность краткосрочного размещения аппаратуры внутри ГО для проведения КЭ;
- ресурсы бортовых систем для научного оборудования на внешней поверхности в основном заимствуются с СМ.

Малый исследовательский модуль №1 (МИМ1)

Характеристики:

- стартовая масса, кг: 7900;
- гермообъем, м³: 17,4;
- объем для хранения грузов и НА, м³: 5,0;
- в т.ч. для научной аппаратуры, м³: 3,0;
- электроэнергия для научного оборудования, кВт: до 0,1;
- максимальное среднесуточное тепловыведение от аппаратуры кВт: до 0,1;
- средство доставки: ОК «Шаттл».

Внешний вид МИМ1 представлен на рис. 2.7.

Многоцелевой лабораторный модуль (МЛМ)

Характеристики:

- стартовая масса, кг: 20700 кг;
- гермообъем, м³: 70,0;
- объем для научной аппаратуры, м³: 8,0;
- электроэнергия для научного оборудования, кВт: до 1,0 кВт (среднесуточно) внутри ГО и до 1,5 кВт (среднесуточно) снаружи ГО;
- максимальное среднесуточное тепловыведение от аппаратуры из состава КЦН, кВт: до 1,0;
- средство доставки: РН «Протон М».

МЛМ обеспечивает для интеграции НА:

- установку целевых нагрузок внутри гермоотсека МЛМ (16 универсальных внутренних рабочих мест) с суммарным объемом зон размещения не менее 8 куб.м. (в том числе рабочее место, оснащенное иллюминатором для установки оптических блоков научной аппаратуры);
- установку целевых нагрузок вне гермоотсека МЛМ в количестве не менее двенадцати одновременно;
- механические интерфейсы;
- вакуумные интерфейсы;
- интерфейсы обеспечения термостатирования научной аппаратуры;
- интерфейсы электропитания научной аппаратуры;
- командно-информационные интерфейсы научной аппаратуры;
- условия работы целевых нагрузок в требуемых режимах при проведении космических экспериментов;
- сохранение исходных материалов и получаемых результатов.

Кроме того, для выполнения долгосрочной программы научно-прикладных исследований на МЛМ предусмотрено следующее целевое оборудование:

- виброзащитная платформа;
- перчаточный бокс;
- термостаты.

Для установки НА на внешние рабочие места предусмотрены робототехнические средства:

- манипулятор ERA;
- автоматизированная шлюзовая камера (ШК).

Внешний вид МЛМ представлен на рис. 2.8.

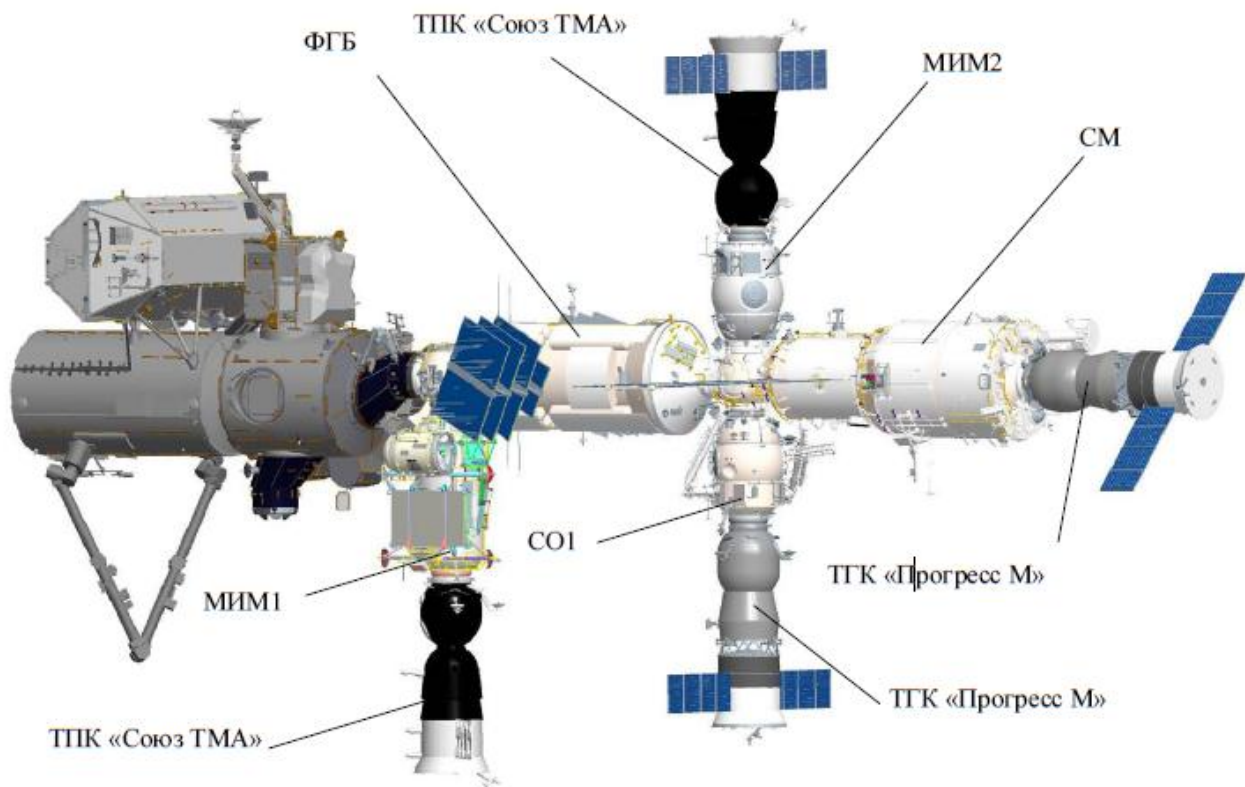


Рисунок 2.3 – Конфигурация РС МКС в составе СМ, СО1, МИМ2 и МИМ1

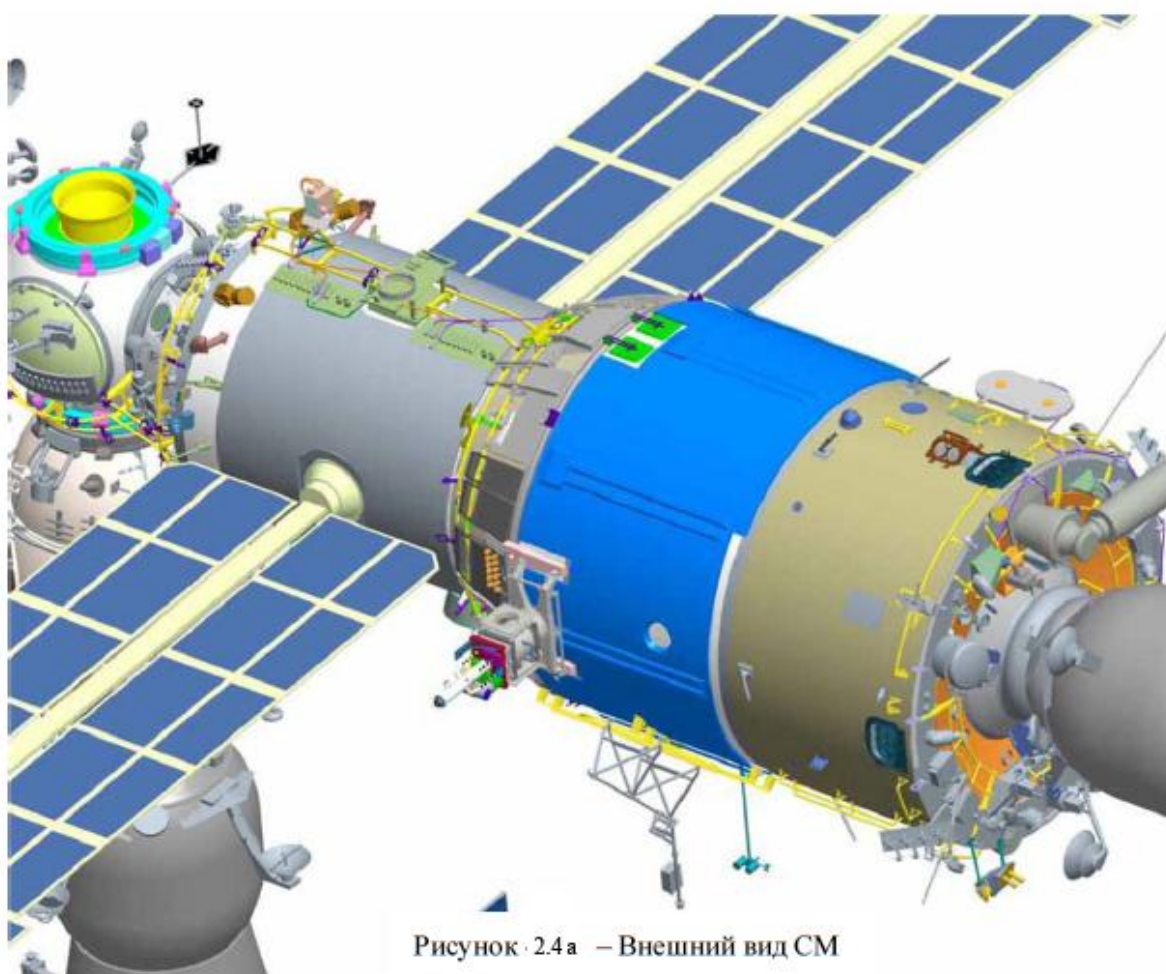


Рисунок 2.4а – Внешний вид СМ

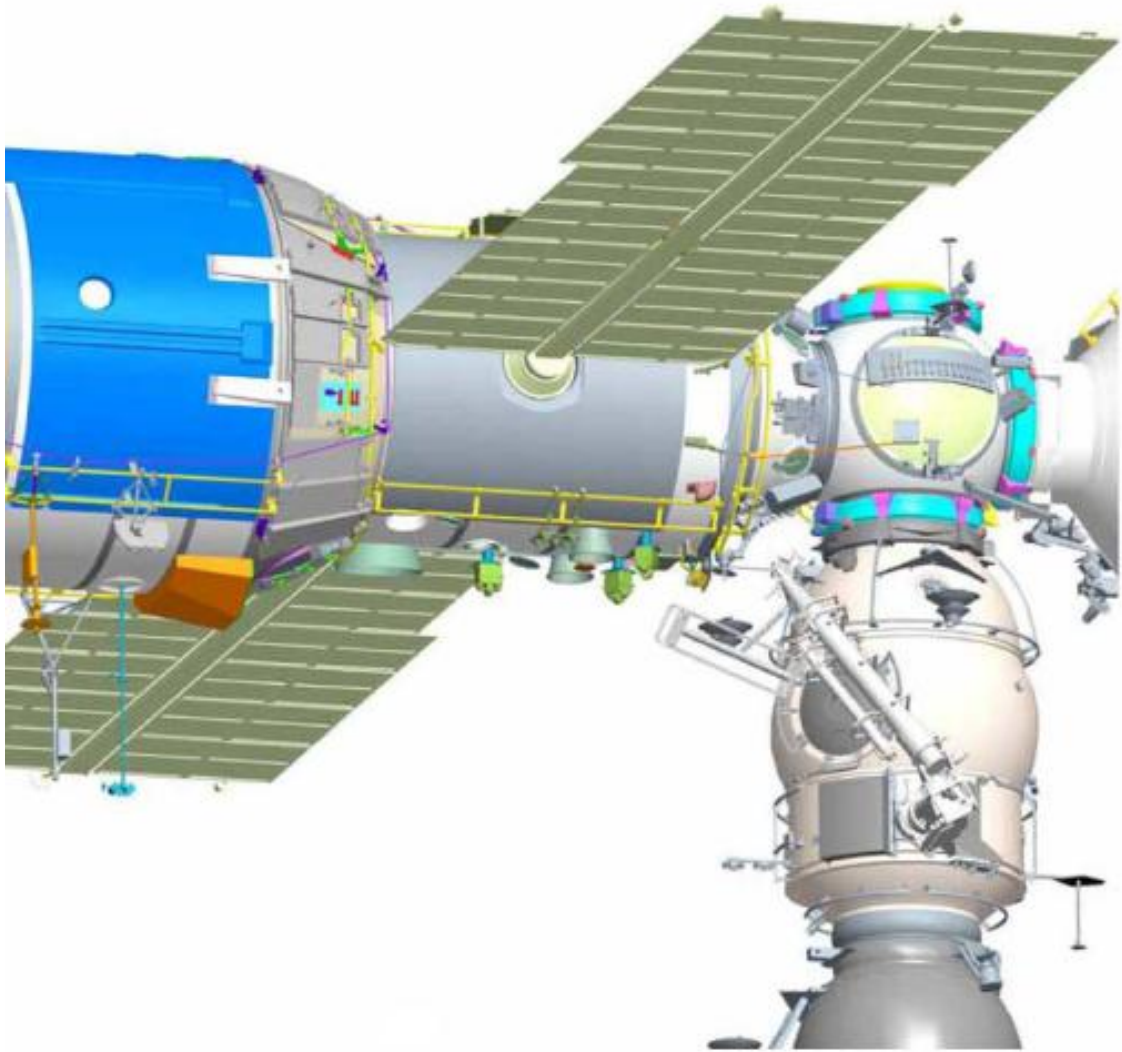


Рисунок 2.46 – Внешний вид СМ

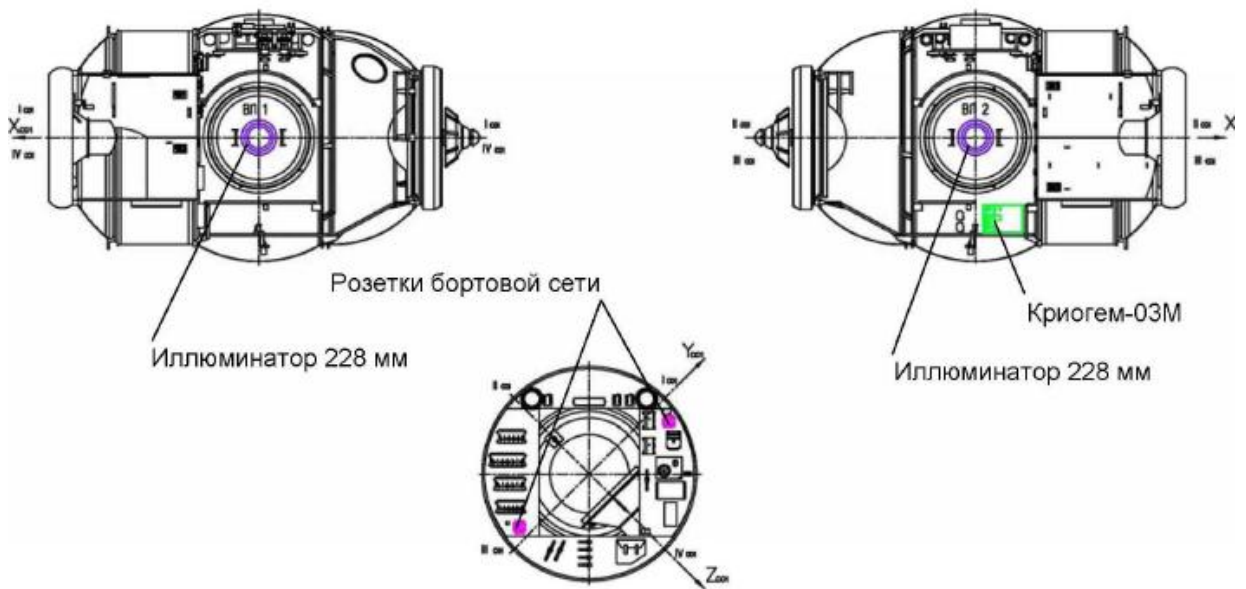


Рисунок 2.5 – Размещение целевого оборудования, иллюминаторов и розеток бортовой сети на СО1

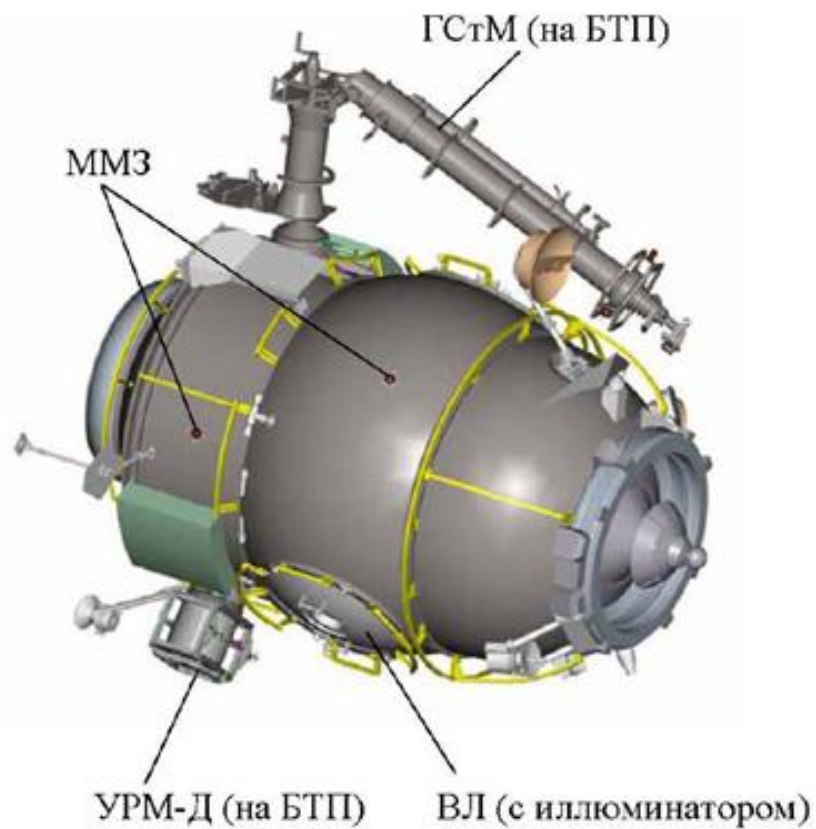


Рисунок 2.6 – Внешний вид МИМ2

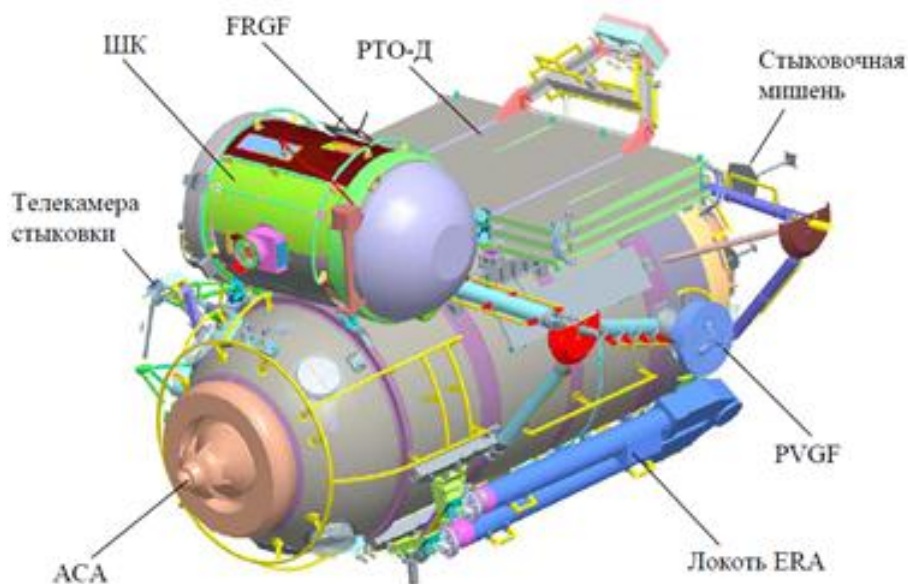


Рисунок 2.7 – Внешний вид МИМ1

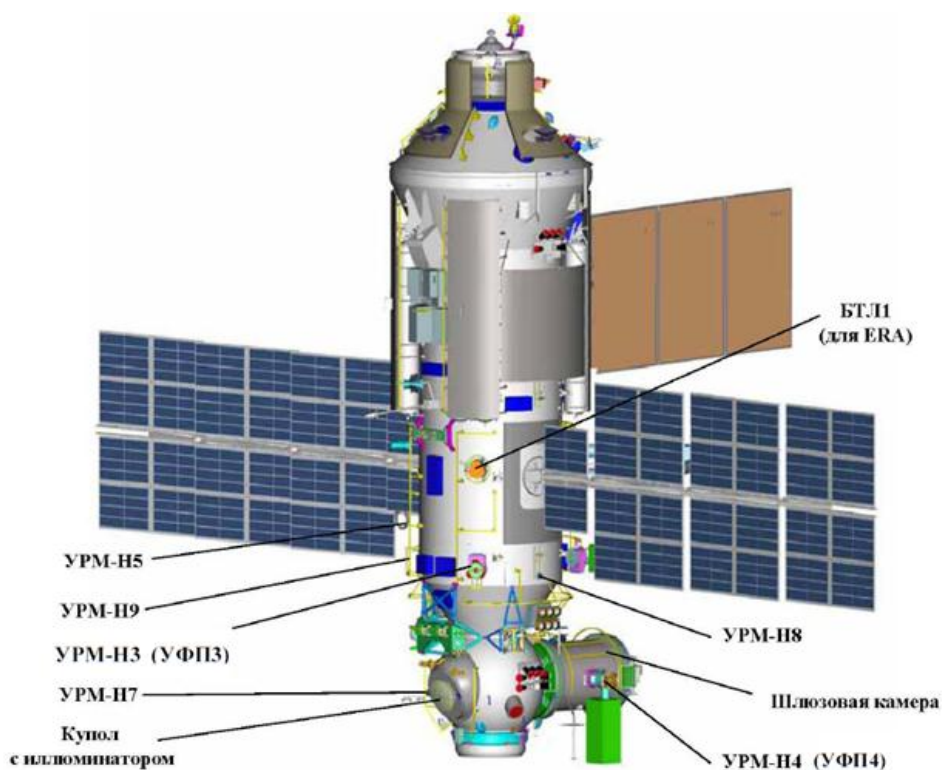


Рисунок 2.8 – Внешний вид МЛМ

Учебно-методическое обеспечение

1. Крис Хэтфилд. Руководство астронавта по жизни на Земле. Чему научили меня 4000 часов на орбите. Альпина Нон-фикшн, 2015 г.
2. Анатолий Зак. Российский сегмент МКС. Обзор. Москва. 2009 г.
3. Ю.В. Слепушкин, ВП. Шинкин, Н.А. Яцынин: Конструкция и проектирование космических летательных аппаратов. Москва: Издательство «Машиностроение», 1986.

3. Лабораторная работа 3 «Конструкция модуля полезной нагрузки»

Целью данной лабораторной работы является изучение основ для размещения аппаратуры ретрансляции на примере технического описания модуля полезной нагрузки (МПН).

Конструкция модуля полезной нагрузки предназначена для размещения аппаратуры ретрансляции, антенн, приборов системы ориентации, требующих точной ориентации относительно осей космического аппарата.

Общий вид макета конструкции представлен на рис. 3.1.

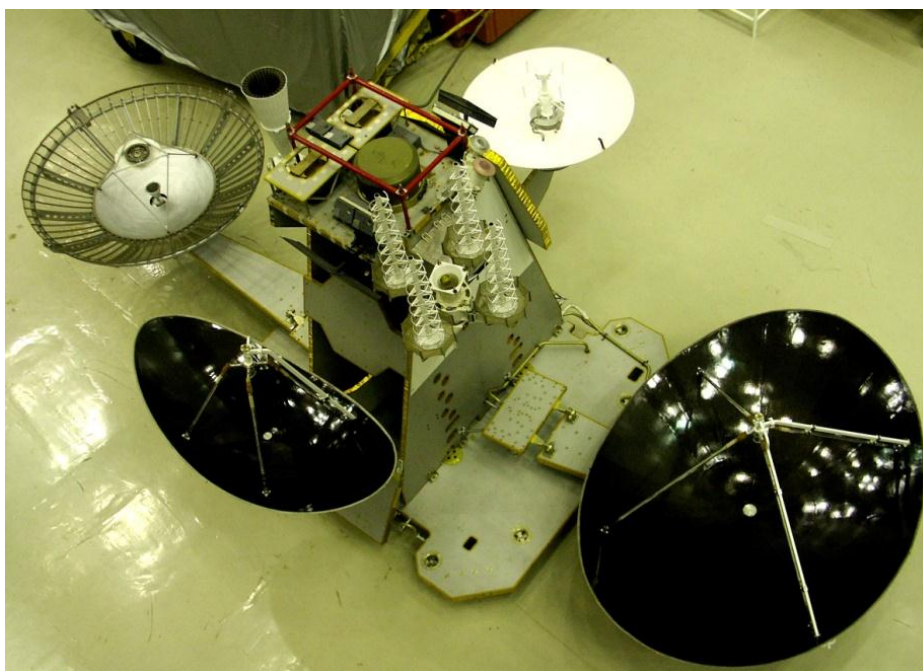


Рисунок 3.1 – Общий вид макета

Вся силовая конструкция МПН выполнена из пяти сотовых панелей, объединенных в единый корпус (рис. 3.2.).

Конструктивное исполнение сотовых панелей

Каждая панель представляет собой трёхслойную клееную конструкцию, состоящую:

- Двух листовых обшивок из алюминиевого сплава;
- Сотового заполнителя из алюминиевой фольги.

Сотовые заполнители представляют собой ячеистую конструкцию, обрабатываемую механическим способом по высоте и позволяющие выполнять местные вырезы.

Для организации крепления панелей между собой и механических интерфейсов с платформой, оборудованием ретранслятора и антеннами внутрь панелей устанавливаются закладные элементы (вставки). Структура панелей представлена на рис. 3.3.

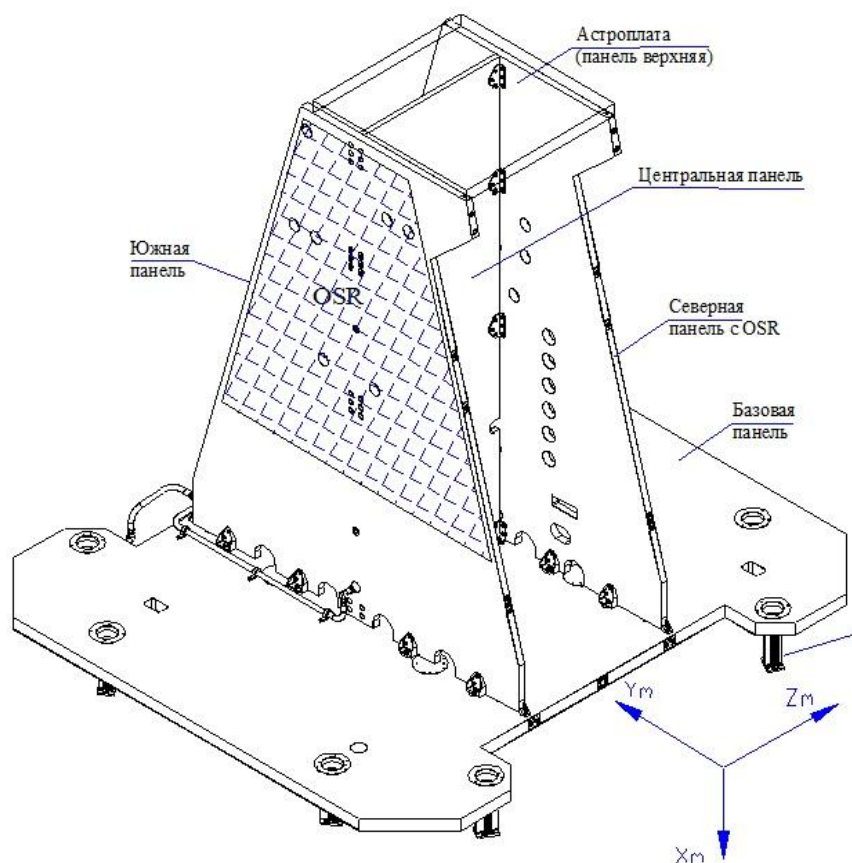


Рисунок 3.2 – Общий вид сотовых панелей МПН

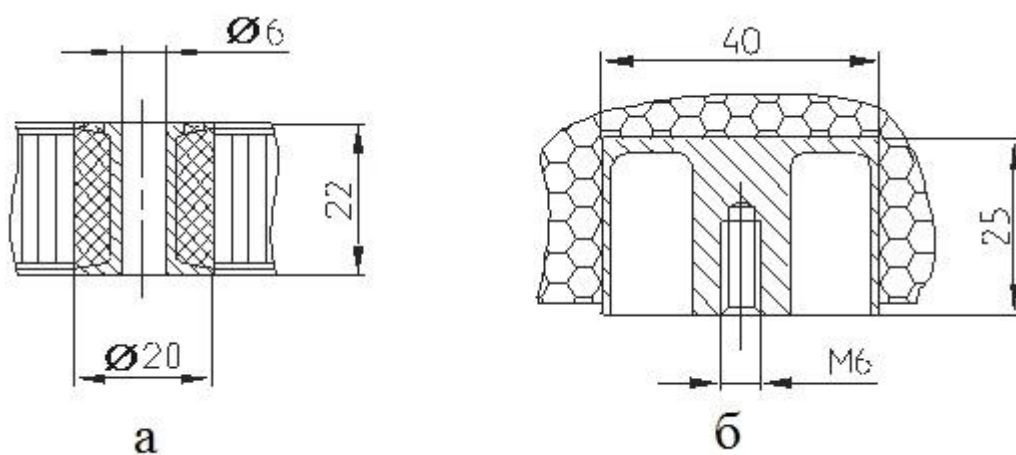


Рисунок 3.3 – Конструктивное исполнение панелей

После механической обработки заполнителя он склеивается с листовыми обшивками панели, вклеиваются закладные резьбовые вставки для монтажа приборов и силовые соединительные элементы. Для крепления панелей между собой дополнительно применяются уголковые кронштейны.

Сотовые панели обеспечивают термостатирование аппаратуры ретрансляции космического аппарата, приборов астронавигации и, при необходимости антенных устройств. Термостатирование обеспечивается системой терморегулирования космического аппарата, для этого в панелях модуля полезной нагрузки встроены

гидравлические тракты. Пример встроенного гидравлического тракта, представлен на рис. 3.4.

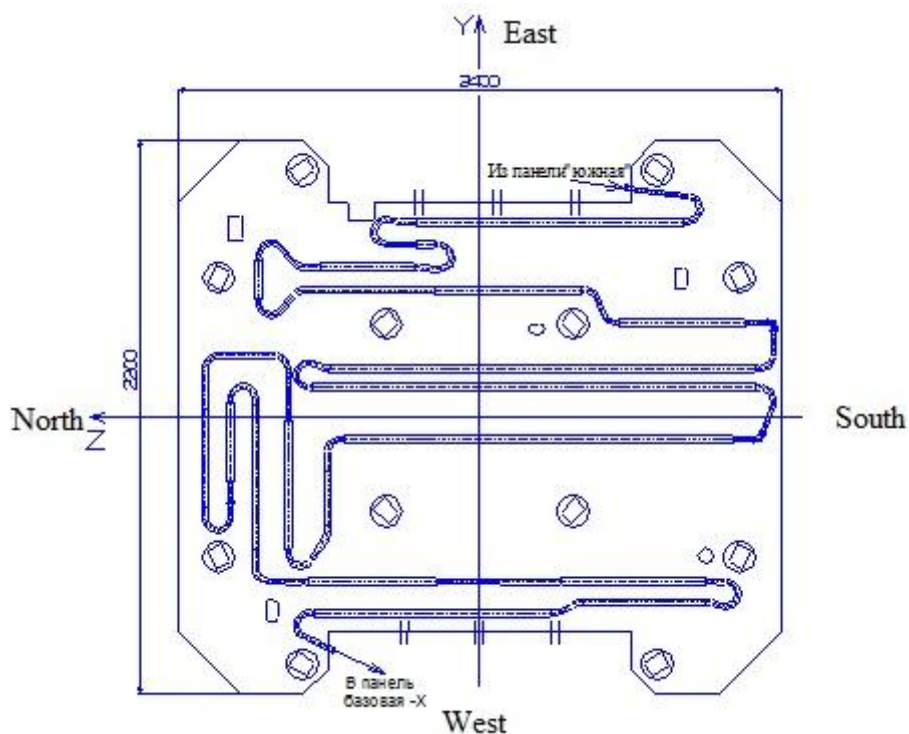


Рисунок 3.4 – Гидравлический тракт

Гидравлический тракт устанавливается внутри сотового заполнителя и приклеивается к обшивке.

После сборки и электрических испытаний модуль полезной нагрузки соединяется с модулем служебных систем космического аппарата как показано на рис. 3.5.

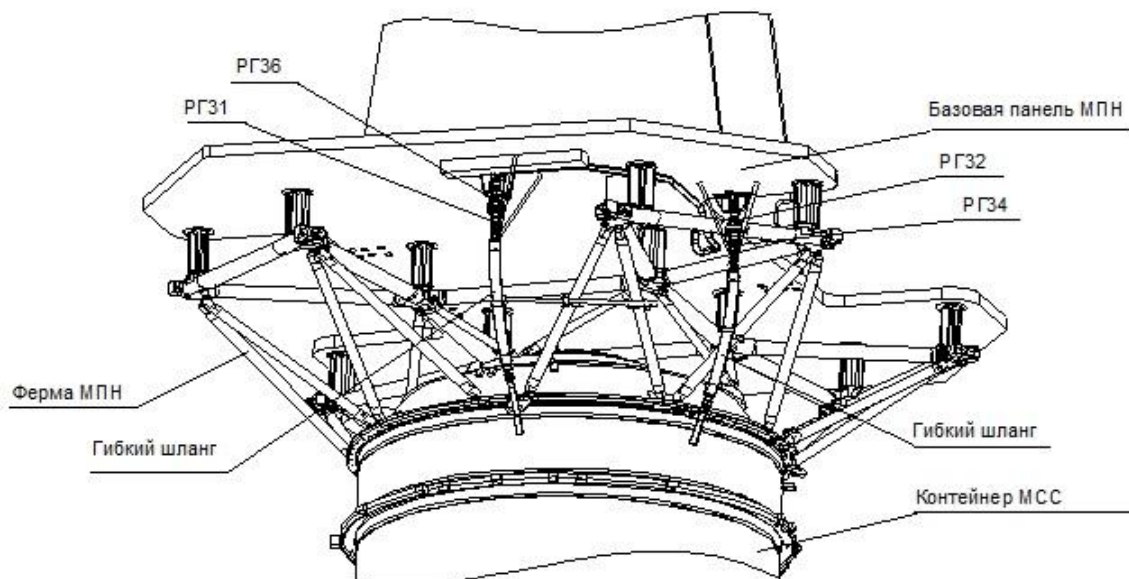


Рисунок 3.5 – Общий вид соединения

Антенны модуля полезной нагрузки

На корпусе МПН установлены антенны, применяемые для комплектации различных космических аппаратов. На рис. 3.6 представлена антенна L – диапазона для персональной связи.

Антенна использовалась на спутнике - ретрансляторе. Антенна относится к классу «антенных решеток» и состоит из 4-х спиральных излучателей расположенных по углам квадрата со стороной 355 мм. Для обеспечения нужной диаграммы направленности и как следствие необходимого коэффициента усиления антенны каждый излучатель снабжен чашеобразным экраном. Экран выполнен на основе плоских Г – образных стальных пружин между которыми натянута электропроводная ткань на основе серебряных нитей. Экран в транспортировочном положении складывается до диаметра спирали. После вывода спутника на орбиту на антенну подается команда на расфиксацию замков системы, и антенна приходит в рабочее положение (рис. 3.6) автоматически под действием собственных пружин.

Антенна спецаппаратуры

Антенна использовалась на геодезическом спутнике и представляет собой блок из трех антенн (рис. 3.7), одной параболической, выполненной по двухзеркальной схеме и двух турникетных, расположенных одна над другой.

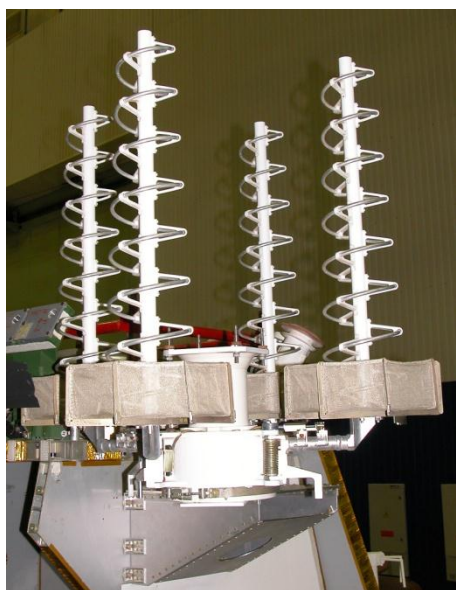


Рисунок 3.6 – Антенна L – диапазона



Рисунок 3.7 – Общий вид параболической антенны спецаппаратуры

Параболическая антенна выполнена в виде штампованного из листа алюминиевого сплава параболоида вращения снабженного, для увеличения жесткости, восемью стрингерами и двумя кольцевыми шпангоутами, объединенными в единую конструкцию заклепными соединениями. По оси параболоида установлен рупорный излучатель, выполненный по специальной форме, и над ним расположен контррефлектор так же выполненный по специальной форме. Для обеспечения заданной формы и необходимых точностей стрингера, облучатель и контррефлектор механически обрабатывается. Турникетные антенны закреплены на тыльной стороне контррефлектора.

Зеркальные параболические антенны Ku-диапазона

Антенны (рис. 3.8) выполнены по классической для рефлекторных параболических антенн однозеркальной схеме, аналогичны друг другу по конструкции и различаются только габаритами, что вызвано различными рабочими частотами антенн (чем выше частота, тем меньше габариты).

Каждая антенна состоит из рефлектора и закрепленного на 4-х стойках облучателя. Рефлектор представляет асимметричную вырезку из параболоида вращения с эллиптическим контуром по периметру вырезки. Конструктивно выполнена как трехслойная сотовая панель с двумя тонкостенными углепластиковыми оболочками с расположенными между ними сотовым наполнителем из алюминиевой фольги. Такая конструкция рефлектора позволяет существенно выиграть в массе и обеспечить приемлемые жесткостные и точностные характеристики рефлектора.

Облучатель антенны представляет эллиптический конус со специальным профилем по внутреннему каналу, выполненным из алюминиевого сплава механической обработкой.

Применение в антеннах рефлекторов с эллиптической апертурой и облучателей с эллиптической внутренней поверхностью позволяет в некоторой степени оптимизировать по конфигурации и площади зону обслуживания на Земле и повысить напряженность сигнала в зоне обслуживания. Антенны используются на связных спутниках.

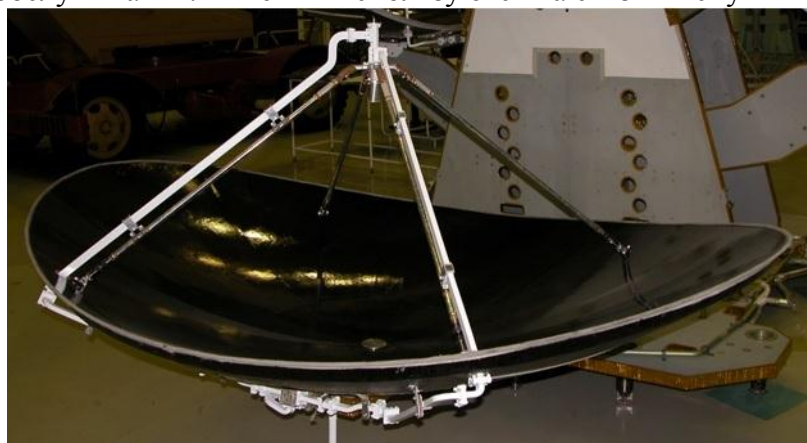


Рисунок 3.8 – Общий вид антенны Ku – диапазона

Глобальная рупорная антенна

Антенна (рис. 3.9) использовалась на геостационарном спутнике и представляет собой рупорную антенну с продольными ребрами. Антенна выполнена методом гальванического наращивания никелем. Рупор соединен посредством фланцев с поляризатором. Поляризатор представляет собой круглую трубу с фланцем, в которой диаметрально расположены настроечные винты, позволяющие производить настройку антенны. К другому фланцу поляризатора закреплен ступенчатый переход, который является согласующим элементом между антенной и волноводным трактом.

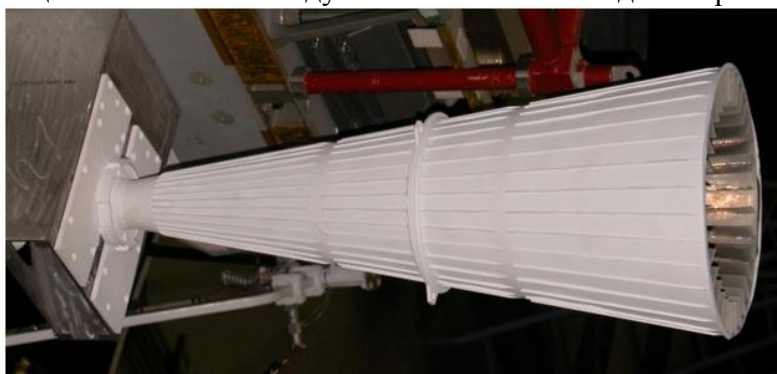


Рисунок 3.9 – Общий вид рупорной антенны

Зеркальная антенна Ки-диапазона для ретрансляции данных

Антенна (рис. 10) имеет две структуры силовую и параболическую поверхность из сетки, которая закреплена на точностных спицах. Силовая структура имеет 2 шпангоута и центральную ступицу. Шпангоуты имеют радиальные связи, которые одним концом приходят в места зачековки рефлектора, а другим к центральной ступице. На шпангоутах расположены бобышки, к которым закрепляются точностные спицы, которые имеют возможность регулировки.

По шаблону, который базируется на центральной ступице, выставляются точностные спицы. В точностных спицах, имеющих отверстия для пришивки сетеполотна к центральной ступице, закрепляется облучающая система, посадочный фланец и регулировочные кольца, предназначенные для регулировки электрической оси относительно посадочной плоскости. На силовом шпангоуте имеются 3 посадочных места под ферму крепления контррефлектора. С целью уменьшения температурных деформаций ферма выполнена из титанового сплава. В верхней части фермы имеется механизм выставки положения контррефлектора.



Рисунок 3.10 – Общий вид антенны Ки-диапазона для ретрансляции данных

Антенна КИС

Антенны командно измерительной станции (КИС) (рис. 3.11) обеспечивают работу изделия в неориентированном режиме и представляет собой антенны типа «открытый конец волновода». Антенны выполнены точением из алюминиевого сплава, снабжены для формирования необходимой диаграммы направленности, на аппаратуре специальными экранами, а со стороны запитки системой переходов от запитывающего волновода прямоугольного сечения к излучающему волноводу круглого сечения. Из конструктивных соображений две антенны (приемная и передающая) объединены в единый блок. Блоки используются на космических аппаратах попарно, как всенаправленные антенны, для обеспечения прохождения команд управления на КА и получения с КА телеметрической информации о его состоянии.



Рисунок 3.11 – Общий вид антенны КИС

Методические указания студентам при подготовке к лабораторной работе и в процессе ее выполнения.

1. Лабораторная работа проводится в учебной лаборатории.
2. При подготовке к лабораторной работе студенты должны изучить необходимый лекционный материал и рекомендованную учебную литературу.
3. В процессе самоподготовки на лабораторной работе студенты должны изучить:
 - Целевое назначение, технические характеристики модуля полезной нагрузки, устройство и принципы работы антенн.

- Подготовиться к сдаче зачета по лабораторной работе.

В качестве привлекаемых для выполнения лабораторных работ средств используется следующее учебно-методическое обеспечение:

Учебно-методическое обеспечение.

1. Космонавтика, энциклопедия М., 1985.
2. Брэдли Дансмор. Справочник по телекоммуникационным технологиям. Вильямс. 2004.
3. Методическая записка к лабораторной работе по модулю полезной нагрузки. Образец модуля полезной нагрузки в учебной лаборатории.

4. Лабораторная работа № 4 «Основы устройства и функционирования автоматической межпланетной станции»

Тема лабораторной работы: изучение основ устройства и функционирования автоматической межпланетной станции (АМС) на примере межпланетных станций «Вега».

Цели работы.

Закрепление студентами на практике теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях, на примере изучения основ устройства и принципах АМС.

Изучаемые вопросы:

1. Целевое назначение АМС.
2. Технические характеристики АМС.

3. Компонировка АМС.
4. Полезная нагрузка АМС.
5. Компоненты и принципы работы системы управления АМС.
6. Компоненты и принципы работы двигательной установки АМС.
7. Состав бортового оборудования АМС.
8. Состав научной аппаратуры АМС.

Основные положения

Автоматические межпланетные станции «Вега» (название происходит от слов "Венера" и "Галлея") предназначены для изучения Венеры (впервые провели изучение атмосферы с помощью аэростатов) и кометы Галлея. Было изготовлено два идентичных аппарата: Вега-1 и Вега-2.

Компировка АМС «Вега» показана на рис. 4.1.

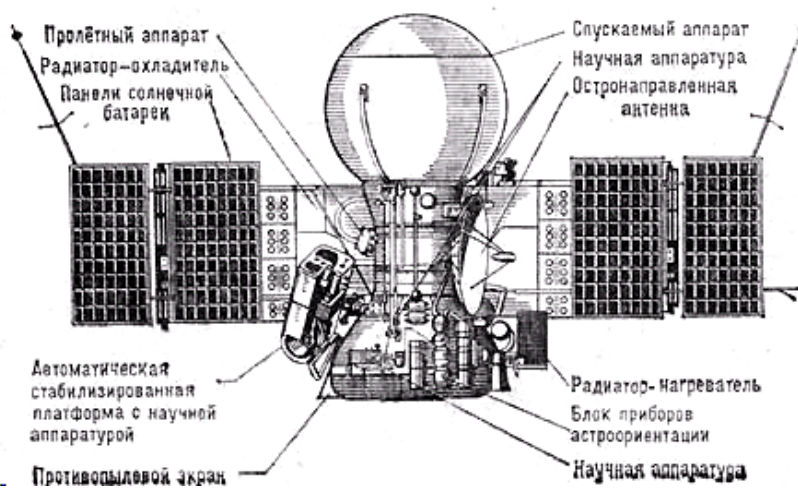


Рисунок 4.1 - Компировка АМС «Вега»

Станции серии «Вега» состоят из двух частей — пролётного модуля, массой около 2,5 тонн, и спускаемого аппарата, массой около 2 тонн. Спускаемый аппарат, в свою очередь, подразделялся на посадочный модуль и аэростатный атмосферный зонд. Общая масса станции в полностью снаряжённом состоянии составляет 4920 кг.

Данные с посадочных модулей ретранслировались на Землю через пролётные аппараты, а с аэростатных зондов — непосредственно на 60-70-метровые антенны, расположенные на территории ряда государств, в том числе СССР и США.

На пролётном модуле (рис.4.2) установлены следующие научные приборы:

- телевизионная система;
- инфракрасный спектрометр;
- трехканальный спектрометр 0,3-1,7 мкм;
- пылеударный масс-спектрометр для исследования химического состава пылевых частиц;
- три счётчика пылевых частиц;
- магнитомер;
- спектрометр кометной плазмы;
- спектрометр энергичных частиц;
- измеритель нейтрального газа;
- анализатор плазменных волн высокочастотный;
- анализатор плазменных волн низкочастотный.

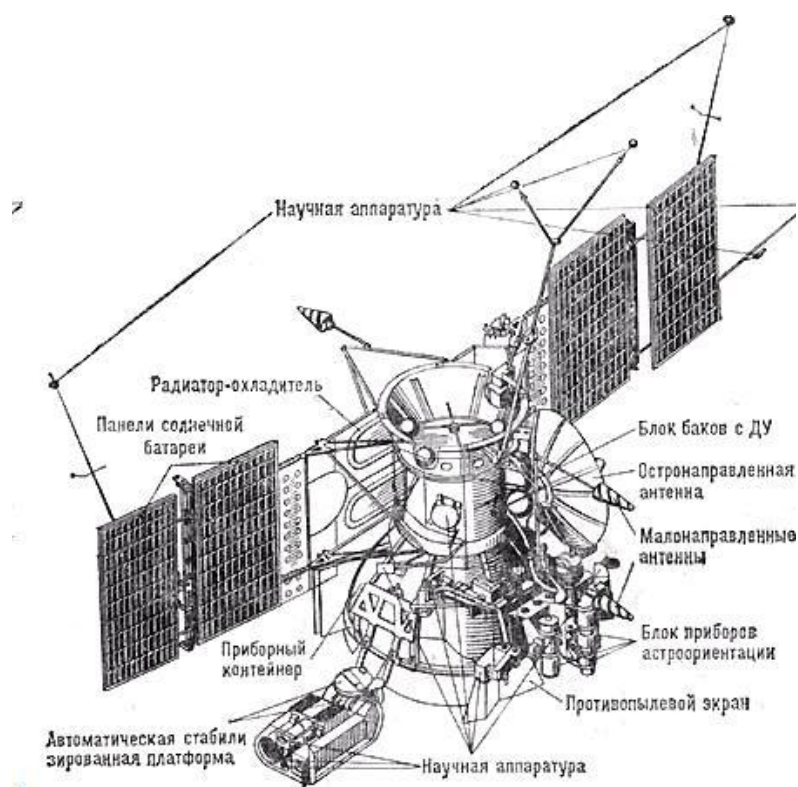


Рисунок 4.2 - Пролетный модуль АМС «Вега»

- Посадочный модуль (рис.4.3) был оборудован следующими научными приборами:
- датчики для измерения температуры и давления атмосферы (СССР);
 - спектрофотометр для исследования атмосферы Венеры (СССР, Франция);
 - газовый хроматограф для изучения химического состава атмосферы и облачного слоя Венеры (СССР);
 - прибор для изучения элементного состава аэрозоля облаков (СССР);
 - спектрометр для получения данных об аэрозольном слое облаков Венеры (СССР);
 - масс-спектрометр для исследования облаков (СССР, Франция);
 - измеритель влажности для определения содержания водяных паров в атмосфере (СССР);
 - спектрометр с грунтозаборным устройством для рентгенофлуоресцентного анализа состава пород венерианского грунта (СССР);
 - гамма-спектрометр для определения в венерианских породах содержания естественных радиоактивных элементов — урана, тория, калия (СССР);
 - прибор для определения физико-механических свойств поверхностного слоя грунта с маленькой буровой установкой (СССР).

Для изучения состава грунта посадочный модуль располагает маленькой буровой установкой.

Аэростатный зонд несет аппаратуру для измерения метеорологических параметров (датчики температуры, давления, скорости ветра, плотности облачности, световых вспышек) и оборудован гелиевыми баллонами для многочасового дрейфа в атмосфере Венеры.

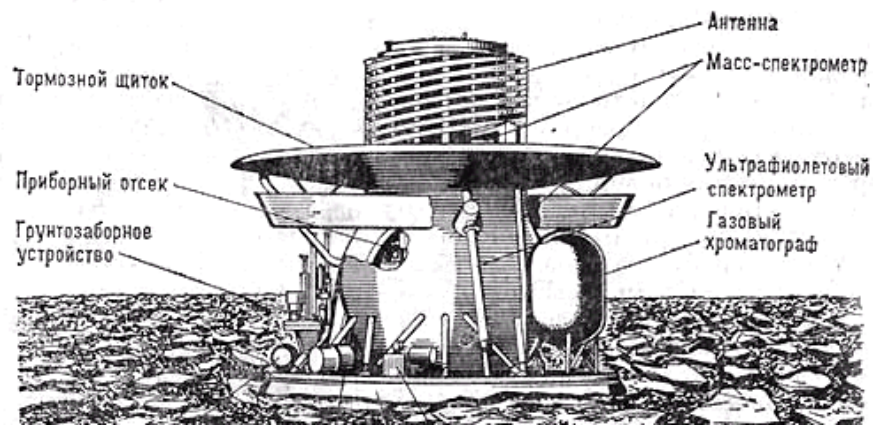


Рисунок 4.3 - Посадочный модуль АМС «Вега»

Изучение Венеры

«Вега-1» и «Вега-2» стартовали 15 и 21 декабря 1984 с помощью ракеты «Протон».

Через 6 месяцев полёта аппараты преодолели 500 млн. км и приблизились к Венере. 9 и 13 июня 1985 от «Веги-1» и «Веги-2» были отделены спускаемые аппараты, которые 11 и 15 июня при входе в атмосферу разделились на посадочные модули и аэростатные зонды.

В процессе снижения посадочных модулей измерялись характеристики облачного слоя и химического состава атмосферы. Была измерена концентрация серной кислоты в облаках, а также обнаружено присутствие серы, хлора и, вероятно, фосфора. Плотность облаков оказалась невысокой (по земным меркам), концентрация была максимальна в двух слоях, имеющих ширину 3 — 5 км и расположенных на высотах 50 и 58 км.

Посадочные модули совершили мягкую посадку на ночную сторону Венеры в районе равнины Русалки.

Посадка модуля «Веги-2» была впервые совершена в высокогорном районе, поэтому анализ грунта в этом месте представлял особый интерес. После посадки были осуществлены заборы грунта и проведены измерения рентгенофлюоресцентных спектров венерианской породы.

Гамма-спектрометры «Вег», предназначенные для измерения содержания урана, тория и калия в венерианских породах, начали работать во время спуска посадочных модулей на высоте 25 км и функционировали вплоть до окончания работы аппаратов. В обеих точках, где произвели посадку модули, обнаружены породы с относительно невысокими содержаниями естественных радиоактивных элементов.

Аэростатные зонды произвели снижение на парашютах и после наполнения их оболочек гелием начали дрейф в атмосфере планеты на высоте 50-60 км, проводя измерения метеорологических параметров.

Давление на этой высоте составляло 0,5 атм., а температура 40 °С.

Данный облачный слой является наиболее плотным в атмосфере Венеры, и в нём, как предполагалось, наиболее отчетливо должна проявляться суперротация атмосферы Венеры — глобальное вращение атмосферы с востока на запад. Каждый зонд проработал около 46 часов и за это время пролетел под действием ветра около 12 тыс. км со средней скоростью 250 км/ч, измеряя вдоль трассы полета температуру, давление, вертикальные порывы ветра, дальность видимости в облаках, среднюю освещенность и следя за наличием световых вспышек. Первый зонд дрейфовал вдоль экватора в северном полушарии, второй — в южном.

Данные зондов показали наличие очень активных процессов в облачном слое Венеры, характеризующихся мощными восходящими и нисходящими потоками. Когда

зонд «Веги-2» пролетал в районе Афродиты над вершиной высотой 5 км, он попал в воздушную яму, резко снизившись на 1,5 км. Оба зонда обнаружили на ночной стороне вариации освещенности и световые вспышки, то есть грозовые разряды. Аэростатный эксперимент позволил получить новую, уникальную информацию об атмосфере планеты.

Изучение кометы Галлея

«Веги» и комета Галлея двигались на встречных курсах и скорость сближения превышала 70 км/с. Если бы аппараты опоздали хотя бы на час, то отклонение при сближении составило бы порядка 100 тыс. км. Трудность состояла ещё и в том, что заранее невозможно было рассчитать траекторию движения кометы с необходимой точностью. Уточнение орбиты кометы продолжалось вплоть до прохождения «Веги» мимо её ядра. Благодаря информации, полученных от «Веги», удалось более точно подвести к комете европейский аппарат «Джотто» (на расстоянии около 600 км).

6 и 9 марта 1986 «Веги» прошли на расстояниях 8890 и 8030 км от ядра кометы.

«Веги» передали около 1500 снимков внутренних областей кометы Галлея и её ядра, информацию о пылевой обстановке внутри кометы, характеристиках плазмы, измерили темп испарения льдов (40 тонн в секунду в момент пролёта «Веги») и другие данные. Изображения ядра кометы были получены впервые в истории. Кроме того, аппараты обнаружили наличие сложных органических молекул.

Методические указания студентам при подготовке к лабораторной работе и в процессе ее выполнения

1. Лабораторная работа проводится в учебной лаборатории.
2. При подготовке к лабораторной работе студенты должны изучить необходимый лекционный материал и рекомендованную учебную литературу.
3. В процессе самоподготовки на лабораторной работе студенты должны:
 - изучить целевое назначение, технические характеристики АМС, устройство и принципы работы его основных модулей и систем;
 - подготовиться к сдаче зачета по лабораторной работе.

В качестве привлекаемых для выполнения лабораторных работ средств используется следующее учебно-методическое обеспечение:

1. Учебно-методическая литература:
 - Космонавтика, энциклопедия. М., 1985.
 - Гуцин В.Н. Основы устройства и конструирования космических аппаратов. М.: Издательство «Машиностроение», 2003.
 - Новиков В.Н., Вейтин В.Е. Введение в ракетно-космическую технику. – М.: Изд-во МАИ. 1997.