

УДК 629.783

## **Малый космический аппарат «Михаил Решетнев». Результаты работы**

**Зимин И. И.\*, Валов М. В.\*\*, Яковлев А. В.\*\*\*, Галочкин С. А.\*\*\*\***

*Информационные спутниковые системы им. академика М. Ф. Решетнева,  
ул. Ленина, 52, Железнодорожный, Московская область, 140120, Россия*

*\*e-mail: i.zimin@iss-reshetnev.ru*

*\*\*e-mail: mike110@iss-reshetnev.ru*

*\*\*\*e-mail: yav@iss-reshetnev.ru*

*\*\*\*\*e-mail: gals@iss-reshetnev.ru*

### **Аннотация**

В статье представлены результаты работы малого космического аппарата научно-экспериментального назначения «Михаил Решетнёв» созданного в ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва».

### **Ключевые слова.**

малый, космический, аппарат, экспериментальный, научный, мир, результаты, исс, мка, юбилейный

Создание малых космических аппаратов (МКА) – одна из важных тенденций развития мировой космической техники. Их очевидные плюсы – небольшие габариты и относительно невысокая стоимость, а также возможность организации группового запуска нескольких таких аппаратов, что ещё больше снижает расходы по реализации конкретного космического проекта. Малые спутники незаменимы при отработке новых инженерных и технологических решений, проведении научных экспериментов, тем более, если для них требуется определённая оперативность, которая достигается за счёт сокращения времени на изготовление МКА. В ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» малые космические аппараты разрабатываются с первых лет

существования предприятия. Кроме большой серии космических аппаратов для министерства обороны РФ, на ОАО «ИСС» в разные годы были созданы радиолюбительские спутники серий «Радио», «Зея», «Можаец». У большей части из них срок работы на орбите был достаточно кратким, но с помощью этих космических аппаратов предприятием решены важнейшие задачи в области отработки технологий телекоммуникационных услуг, навигации, оценки влияния радиационных потоков и т.д.

В недавнем прошлом в ОАО «ИСС» создана унифицированная космическая платформа малого класса негерметичного конструктивного исполнения – «Юбилейный». К настоящему времени на базе космической платформы «Юбилейный» создано два малых научно-экспериментальных КА – «Юбилейный» и «Михаил Решетнев» («МиР»).

Космический аппарат «МиР» прежде всего, научно-экспериментального назначения и создавался для испытаний в условиях космоса ряда технических разработок ОАО «ИСС» и смежных организаций.

В частности, планировалось подтвердить эффективность новых схемотехнических и технологических решений в бортовой радиоаппаратуре, функционирования контурных тепловых труб, малогабаритных чувствительных элементов системы ориентации и стабилизации (СОС) с высокими точностными характеристиками. В составе научно-экспериментальной аппаратуры МКА «МиР» находится экспериментальный модуль батареи солнечной (БС), выполняющий проверку эффективности оптических характеристик концентраторов солнечного света. Проведённые эксперименты обеспечили дальнейшее развитие технического уровня создаваемых в ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» космических аппаратов. Часть экспериментальных приборов для МКА «МиР» изготовлена при участии студентов и научных сотрудников Сибирского государственного аэрокосмического университета (СибГАУ), с которым ОАО «ИСС» тесно взаимодействует. Таким образом, ещё одна задача, решаемая при создании спутника «МиР» – это совершенствование современных форм учебной и проектно-командной подготовки специалистов для ОАО «ИСС» на базе профильного учебного заведения СибГАУ.

Приборы, изготовленные при участии СибГАУ, направлены на отработку технологий дистанционного зондирования Земли. В частности, это камера, для наблюдения за поверхностью нашей планеты, а так же блок управления камерой. Дистанционное зондирование Земли – одно из новых направлений, активно развиваемых ОАО «ИСС».

Основные задачи, решаемые МКА «МиР»:

- Получение научно-технического задела в области конкурентоспособной космической техники и технологий нового поколения для оборонного, научного и коммерческого применения;
- Создание и отработка в натуральных условиях экспериментальных составных частей МКА и перспективных КА ОАО «ИСС»;
- Получение опыта создания и эксплуатации КА для дистанционного зондирования Земли;
- Обзорное наблюдение больших площадей Земной поверхности с целью обнаружения источников интересующей информации и определения координатно-временной информации об этих источниках;
- Совершенствование современных форм проектно-командной подготовки специалистов для ОАО «ИСС» на базе СибГАУ;
- Привлечение к работам по созданию МКА научный потенциал ведущих отечественных и зарубежных ВУЗов.

Космический аппарат «МиР» решает возложенные на него задачи на низкой круговой орбите высотой 1500 км и наклоном 82,5°. Срок активного существования малого спутника – один год. Масса – 60 кг. Запуск МКА осуществлён с космодрома «Плесецк» 28 Июля 2012 г. ракетой-носителем «Рокот». Ввиду того, что при запуске блока штатных аппаратов «Гонец-М» РН «Рокот» обладает резервом по массе порядка 80 кг., аппарат выведен на орбиту в качестве попутного груза. В ОАО «ИСС» проведена адаптация и все необходимые мероприятия для использования массового резерва РН «Рокот», в целях попутного выведения МКА класса «Юбилейный» на орбиту функционирования.

Конструктивно аппарат состоит из негерметичного шестигранного приборного отсека и разделяющих его трёх поперечных силовых сотовых панелей – верхней, средней и нижней. Верхняя панель содержит полезную нагрузку, на средней – установлена аппаратура служебных систем платформы, а на нижней панели расположена магнитно-гравитационная система ориентации (для трёхосной ориентации МКА) и антенна навигационной аппаратуры. Панели солнечных батарей, смонтированные на наружной поверхности приборного отсека, изготовлены из высокоэффективного трёхкаскадного арсенида галлия и позволяют обеспечить электроэнергией бортовую аппаратуру МКА на освещённой части орбиты. Выбранная форма приборного отсека задаёт необходимую величину эффективной площади

БС при различном положении спутника относительно Солнца. На теневых участках орбиты аппаратуру космического аппарата электроэнергией обеспечивает никель-металлогидридная аккумуляторная батарея. Особенностью платформы спутника является пассивная система терморегулирования (СТР): требуемый температурный режим создается нерегулируемым соотношением оптических коэффициентов на поверхностях элементов конструкции, теплоизолирующими элементами, электрообогревателями и тепловыми трубами (ТТ), которые обеспечивают тепловой режим бортовой аппаратуре.

Основные технические характеристики МКА «МиР» приведены в таблице 1.

Характеристики МКА «МиР»

Таблица 1

<b>Характеристика</b>	<b>Значение</b>
Масса платформы	30 кг
Масса полезной нагрузки	30 кг
Мощность СЭП для полезной нагрузки (средневитковая)	До 40 Вт
Конструктивное исполнение	Негерметичное
Тип ориентации	Трехосная, орбитальная, магнитно-гравитационная
<b>Точность СОС:</b> – крен – тангаж – рыскание	$\pm 3^\circ$ $\pm 3^\circ$ $\pm 20^\circ$
<b>Частоты командных радиолиний:</b> – Земля-Космос – Космос-Земля <b>Частота целевой радиолинии</b>	145 МГц 435 МГц 2,4 ГГц
<b>Скорость передачи данных:</b> – по командной радиолинии – по целевой радиолинии	2,5 кбит/с 1 мбит/с
САС КА	1 год
Орбита функционирования	Низкая круговая 1500 км
Средства выведения	РН «Рокот» с РБ «Бриз-КМ»

Список научной аппаратуры, установленной на МКА «МиР» и ее разработчики показаны в таблице 2.

Таблица 2

<b>Наименование аппаратуры</b>	<b>Разработчик</b>
ДОКА-Б 251ю	НИЛАКТ РОСТО

Наименование аппаратуры	Разработчик
Одноосный измеритель угловой скорости	ООО НПК «Оптолинк»
Твердотельный волновой гироскоп	ЗАО НПП «Медикон»
Камера ДЗЗ	СибГАУ
Прибор ориентации на солнце (ПОС 201М2)	ОАО НПП КП «Квант»
Датчик давления ДД-905	НГУ
Блок обработки сигналов (БРА)	ОАО «РТИ»
Блок управления ПН	СибГАУ
Угловой отражатель	СибГАУ
Экспериментальный модуль БС	ОАО «ИСС»
Прибор ориентации на Землю 347К-Ю	ОАО НПП «Геофизика-Космос»
Прибор ориентации на Солнце 349К-Ю	ОАО НПП «Геофизика-Космос»
Приемо-передатчик	НИЛАКТ РОСТО
Приемник навигационный НП-101	ФГУП НПП «Радиосвязь»

На рисунке 1 представлено технологическое деление аппарата, а так же места установки некоторой научной аппаратуры.

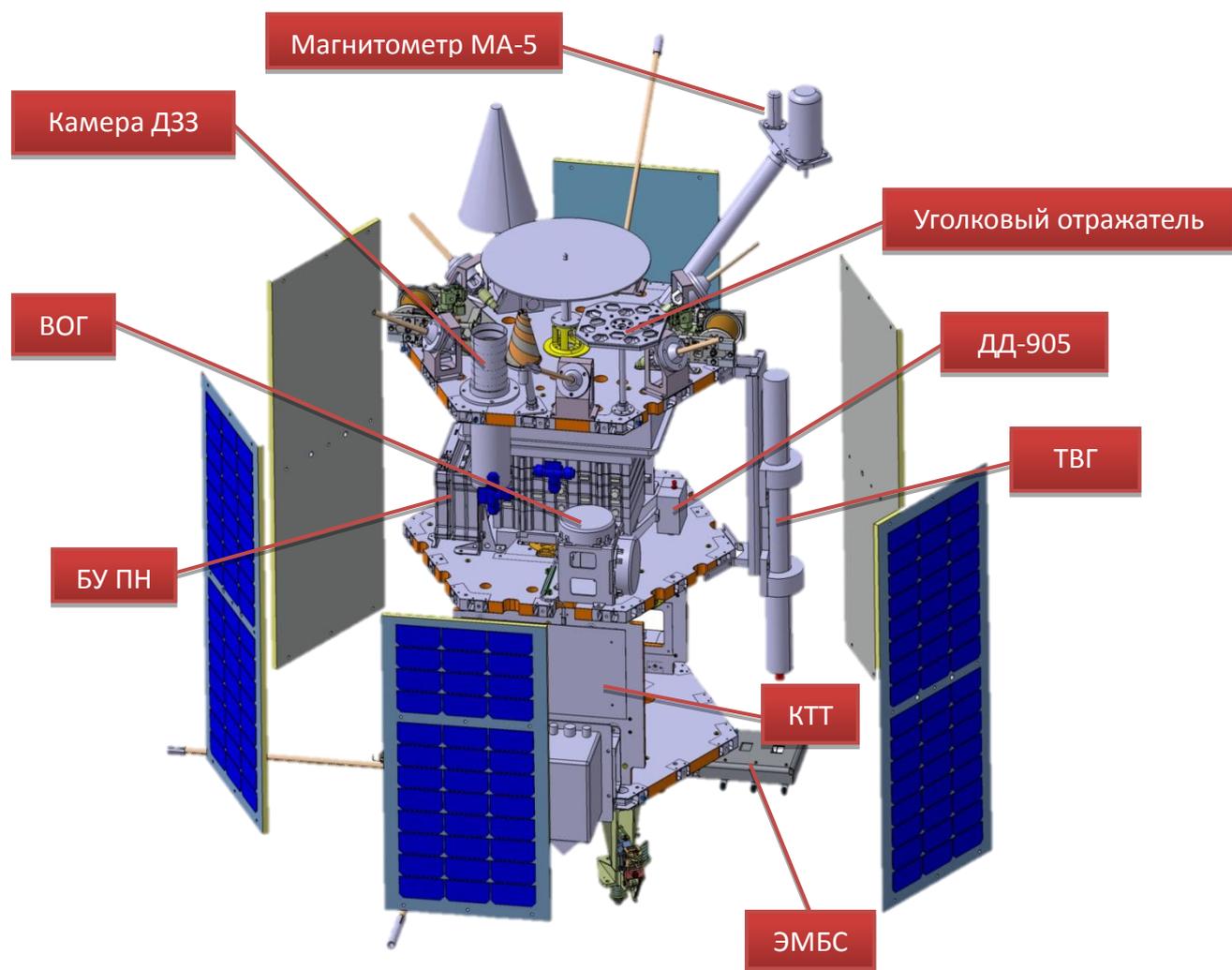


Рис. 1 – МКА «МиР»

В настоящее время получены результаты работы экспериментальных приборов:

- датчика давления ДД-905;
- экспериментального прибора ЭМБС (электронный модуль батареи солнечной);
- контурной тепловой трубы (КТТ);
- одноосного измерителя угловой скорости;
- малогабаритного магнитометра;
- камеры ДЗЗ.

#### **Датчик давления ДД-905**

На МКА «МиР» был установлен экспериментальный датчик давления ДД-905, разработанный специалистами Новосибирского Государственного Университета.

Целью установки ДД-905 являлась отработка технологии измерения давления внутри НГПО (негерметичный приборный отсек) и проведение летных испытаний самого датчика.

Аппаратура ДД-905 предназначена для измерения давления внутри НГПО на участке выведения КА на орбиту и в период нахождения КА на орбите.

ДД-905 выполняет следующие задачи:

- измерение давления в диапазоне от 850 до  $1 \cdot 10^{-5}$  торр;
- измерение температуры внутри блока в диапазоне от  $-10$  до  $55^{\circ}\text{C}$ ;

ДД-905 начинает работу после автоматической выдачи команды на включение питания. Датчик давления при автономных испытаниях был откалиброван при температуре  $20^{\circ}\text{C}$ .

В соответствии с заложенной программой полета ДД-905 включился на 91 секунде после отработки КО (контакт отделения). Измерения давления проводились с интервалом 5 секунд. При функционировании ДД-905 температура блока датчика соответствовала заданной в ТЗ и колебалась в диапазоне от  $+20$  до  $+25^{\circ}\text{C}$ .

Анализ системных данных показал, что датчик функционирует без каких либо сбоях и отклонений от режима работы.

Динамика спада давления в НГПО представлена на рисунке 2. Как видно из графика на 26-й минуте работы датчик давления достигает порогового значения измерения  $10^{-5}$  торр.

Данная динамика спада давления обусловлена постепенным возрастанием температуры блока ДД-905. График возрастания температуры за этот же промежуток времени представлен на рисунке 3.

Проанализировав данные графики температуры и давления можно сделать вывод, что в процессе достижения датчиком давления температуры 22°C и выше, показания давления стремятся к минимально возможному значению  $10^{-5}$  торр. При снижении температуры с 22°C показания датчика давления увеличиваются.

По представленным данным можно сделать вывод, что на момент включения ДД-905 на высоте 1500 км над уровнем моря, давление в НГПО МКА «МиР» было ниже, чем  $10^{-3}$  торр.

Так как температура датчика существенно отличается от температуры калибровки и показания близки к предельным характеристикам датчика, то показания можно рассматривать только как гарантию того, что реальное давление ниже, чем показания датчика.



Рис.2 – Спад давления на МКА «МиР»

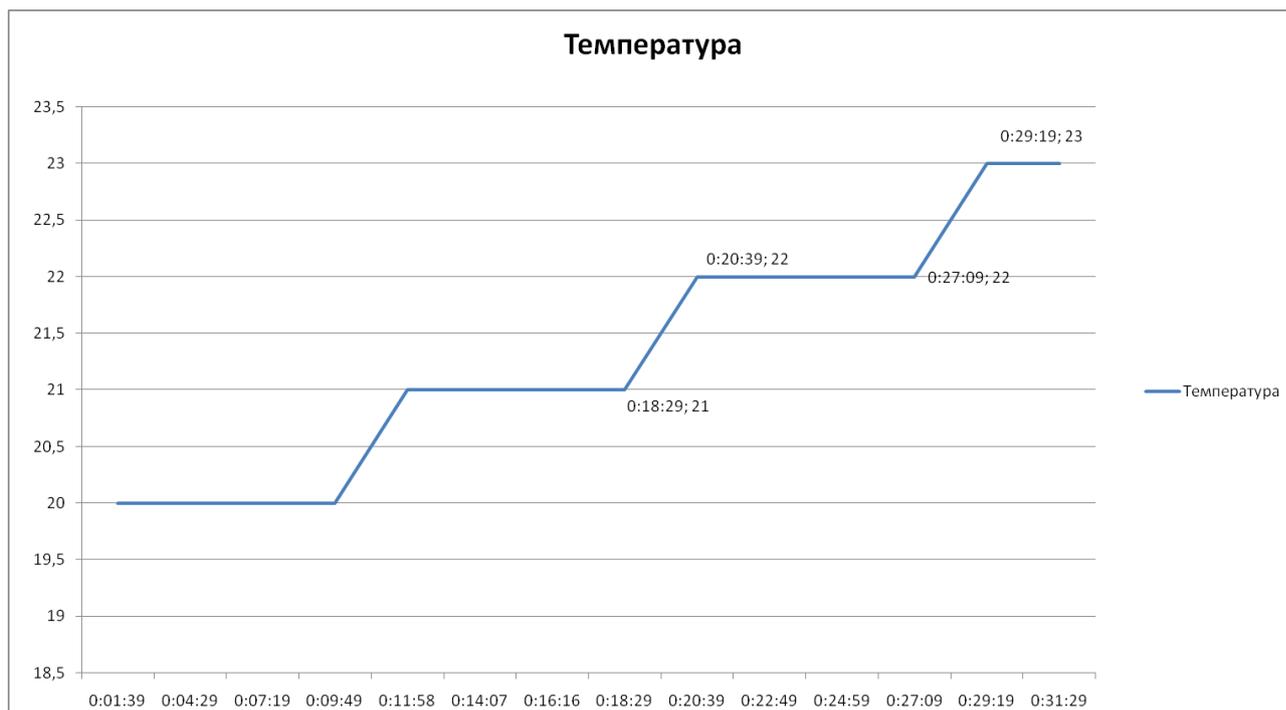


Рис. 3 – Возрастание температуры на МКА «МиР»

### Экспериментальный прибор ЭМБС

В настоящее время традиционным способом повышения удельных характеристик БС является повышение КПД фотопреобразователей.

Альтернативным способом повышения удельных характеристик БС является разработка инновационных конструкций БС с применением концентраторов солнечного излучения. Основной задачей на пути внедрения БС с концентраторами солнечного излучения, является подтверждение их оптических характеристик в течение ресурса.

Воспроизведение в наземных условиях длительного воздействия всех факторов космического пространства практически невозможно. Поэтому единственной возможностью подтверждения характеристик БС с концентраторами является проведение лётного эксперимента.

ОАО «ИСС» совместно с ОАО «НПП «Квант» разработан и установлен на МКА «МиР» экспериментальный образец БС с концентратором солнечного излучения.

Экспериментальный образец БС представляет собой исследуемый модуль с составными плоскими концентраторами солнечного излучения и контрольный модуль.

В состав исследуемого модуля входит концентратор солнечного света в виде плоского составного отражателя, состоящий из двух отражающих солнечный свет плоскостей,

закреплённых под разными углами к плоскости фотопреобразователей, что обеспечивает наиболее оптимальную концентрацию солнечного света.

В процессе проведения эксперимента проводятся измерения тока испытуемого и контрольного образцов.

Сравнительный анализ проводимых измерений позволит оценить деградацию характеристик разработанного концентратора солнечного излучения.

Методика проведения замеров, разработанная с учётом особенностей функционирования КА (орбита КА, ориентация КА, доступные ресурсы телеметрии), позволяет проводить оценку характеристик экспериментального образца в течение пяти сезонов в год. Длительность одного сезона измерений составляет 20 дней. Интервал между сезонами составляет 1,5 месяца.

Первый сезон измерений показал, что характеристики испытуемого и контрольного модулей соответствуют расчётным, ток модуля БС с концентратором в 2 раза превышает ток контрольного модуля (см. рис.4). Это обусловлено тем, что на испытуемый модуль кроме прямого солнечного излучения попадает отраженный от плоскостей концентратора солнечного света поток.



Рис. 4

Лётные испытания будут продолжены. Необходимый объём измерений для оценки темпов деградации концентратора солнечного света ожидается получить в течение года лётной эксплуатации.

## Одноосный измеритель угловой скорости ОИУС501

Еще одним прибором, установленным на МКА, был одноосный измеритель угловой скорости ОИУС501 на основе волнового оптического гироскопа. Данный прибор обеспечивает измерение угловой скорости относительно оси, связанной с приборной системой координат и является чувствительным элементом системы ориентации и стабилизации.

На рисунке 5 представлены угловые скорости МКА «МиР», измеренными тремя блоками прибора ОИУС501, расположенными по трем осям связанной системы координат аппарата. Из рисунка видно, что аппарат вращается вокруг оси Zка (ОИУС1) в среднем со скоростью  $\sim 0,1^\circ/\text{с}$  (6 угл.мин/с), что соответствует логике работы системы. Из данного графика можно сделать вывод, что МКА находится в магнитной ориентации. Относительно других осей аппарат совершает колебательные движения.

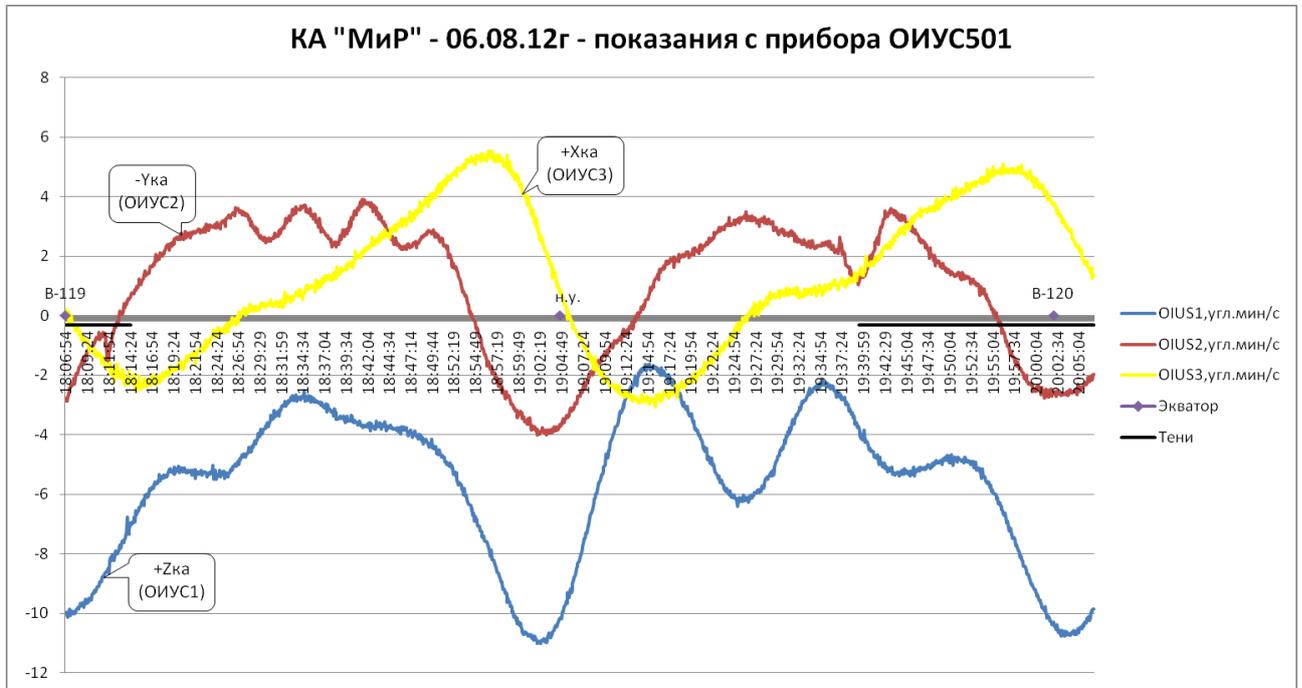


Рис. 5

## Малогабаритный магнитометр МА-5.

Так же, на МКА «МиР» проходил летные испытания малогабаритный аналоговый трехкомпонентный феррозондовый магнитометр МА-5 для микро и малых КА. Данный прибор является чувствительным элементом системы ориентации и стабилизации.

На рисунке 6 представлены графики изменения трех компонент вектора магнитной индукции МПЗ, измеряемые магнитометром МА-5. Из графика изменения показаний по оси Хка видно, что аппарат совершает один оборот за виток с максимальными значениями в районах северного и южного полюсов и нулевыми значениями в районе восходящего и нисходящего узлах орбиты. Данные показания магнитометра свидетельствует о том, что КА находится в режиме гравитационной ориентации.

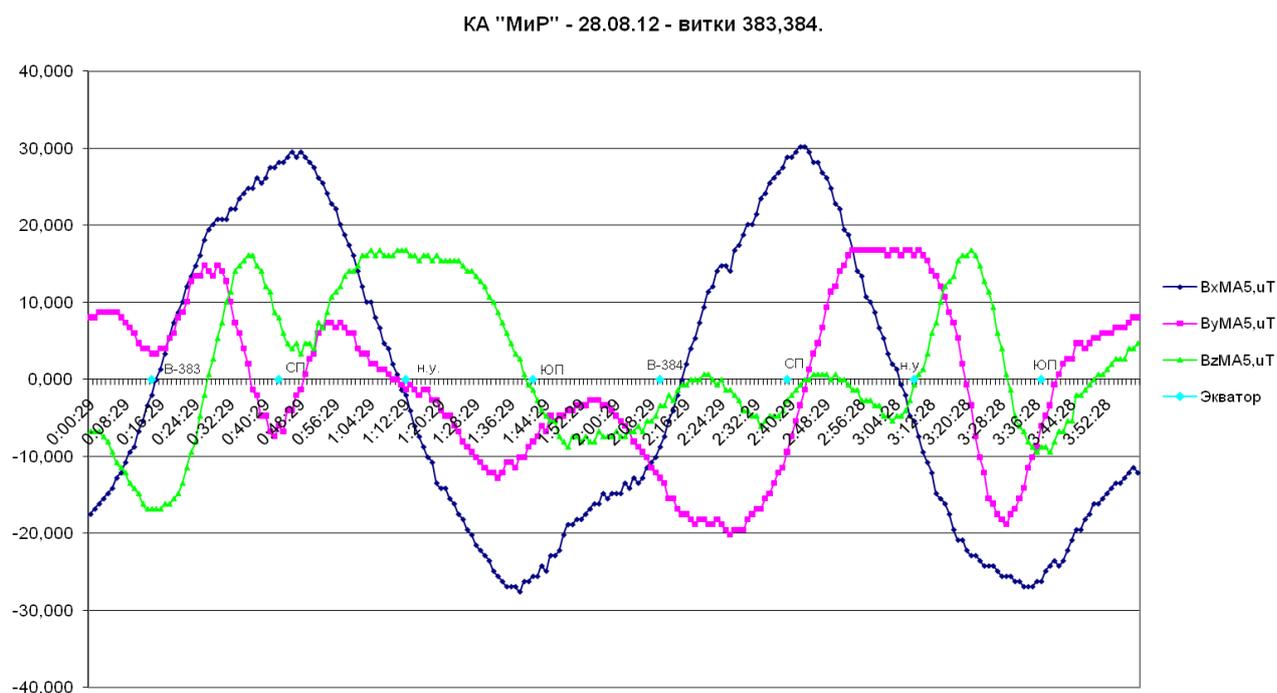


Рис. 6

### Контурная тепловая труба

Основой СТР аппаратов открытого исполнения всё в большей степени становятся тепловые трубы. Это простейшая двухфазная система, в которой в противоположных направлениях движутся потоки пара и жидкости, перенося до 100 Вт тепла на расстояние более 2 м при очень малой разнице температур.

Новое направление развития двухфазных систем – контурные тепловые трубы (КТТ). Они намного превосходят обычные тепловые. В основе КТТ лежит испаритель (капиллярный насос) с высокопористой структурой из спеченного порошка металла с диаметром пор около 2 мкм. В нем за счет сил поверхностного натяжения создается капиллярный напор до 0,4 ат при использовании аммиака, что обеспечивает циркуляцию пара и жидкости по контуру на десятки метров при очень малых, в несколько миллиметров,

размерах магистралей. Кроме того, благодаря высокому напору нет существенных ограничений по положению контурной тепловой трубы относительно горизонта в условиях наземных испытаний.

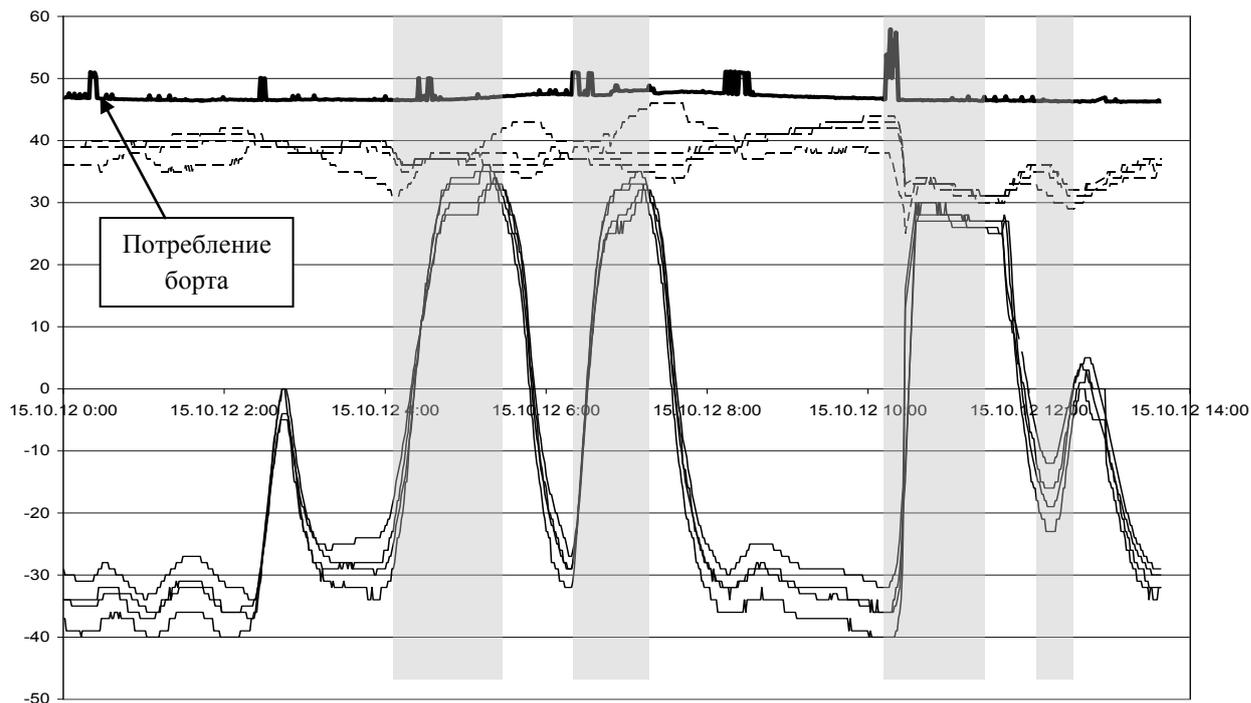
На борту МКА «МиР» установлена миниатюрная контурная тепловая труба для проведения летного эксперимента.

Она в два с половиной раза легче тепловой трубы стандартного изготовления, возможности одной КТТ передавать тепло намного выше, и ограничены при прочих равных условиях лишь размерами радиатора.

На рисунке 7 приведены данные по температурам, получаемым с датчиков, установленных на КТТ. Показания на графике сгруппированы по зонам размещения датчиков: пунктиром обозначена группа в зоне испарителя, сплошной линией – в зоне радиатора, серым цветом обозначены зоны, где показания обеих групп температур начинают сходиться, что свидетельствует о циркуляции теплоносителя и переносе тепла, т.е. о работе КТТ.

Из рисунка 7 видна особенность работы КТТ. Для её запуска требуется подача мощности (включение оборудования). При работе повышается температура радиатора КТТ, несколько возрастает температура испарителя (на 5 – 7°C). При выключении мощности КТТ возвращается на исходный уровень температуры и прекращает работу.

КТТ работает в соответствии с параметрами данного устройства. Замечаний нет.



– пунктир – T12, T13, T14, T19;  
 – сплошная – T15, T16, T17, T18.

Серым цветом обозначены временные участки работы КТТ.

Рис. 7 – Значения температур КТТ

### Камера ДЗЗ

На борту МКА «Михаил Решетнев» была установлена камера ДЗЗ. Целью данного эксперимента является отработка технологии дистанционного зондирования Земли.

Камера была изготовлена специалистами СибГАУ. При изготовлении камеры были использованы как составные части собственной разработки, так и элементы промышленной видеокамеры.

Камера ДЗЗ имеет следующие характеристики:

Характеристика	Значение
Разрешение цветной матрицы	1024x1024
Размер матрицы	12.7мм
Размер пикселя	5.5 на 5.5мкм
Фокусное расстояние объектива	50мм
Получаемое пространственное разрешение с высоты 1500 км	371 м/пиксель

Характеристика	Значение
Производительность съёмки при передаче по 0.6 Мбит/с радиоканалу при работе с одной наземной станции	40 снимков в сутки
Максимальная интенсивность съёмки	1 снимок в 8 секунд
Обеспечиваемое перекрытие снимков	до 70%
Максимальное количество снимков для фотографирования за 1 сеанс	200шт.
Максимальное суммарное количество снимков хранящееся автономно без передачи на наземную станцию	200шт.
Масса камеры	1кг

В настоящее время успешно получены и обработаны снимки с камеры.



Рис. 8 – Снимок МКА «МиР» Канада



Рис. 9 – Снимок МКА «МиР» Непал. Долина Катманду



Рис. 10 – Снимок МКА «МиР» Новая Зеландия

По результатам отработки приборов будет принято решение о перспективах их использования на серийных космических аппаратах разработки ОАО «ИСС».