

**А. В. Марков, А. А. Кузнецов, И. В. Сорокин,
И. Б. Петрушкевич, Г. А. Шаманина, Н. И. Локтева,
О. И. Егорова, Т. А. Ушакова**

РКК «Енергія» ім. С. П. Корольова, Корольов Московської області, Росія

**Первые шесть экспедиций на МКС:
итоги и перспективы реализации программ
научно-прикладных исследований
и экспериментов на российском сегменте**

Подано короткі підсумки реалізації російської довгострокової програми наукових досліджень за перші три роки пілотованого польоту МКС, а також наводяться перші статистичні дані про ресурси, витрачені на її виконання.

С момента стыковки 2 ноября 2000 г. с МКС транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМ-31» с экипажем МКС-1 начался этап эксплуатации станции в пилотируемом режиме и проведение научных исследований и экспериментов.

На этапе сборки МКС приоритет отдается служебным операциям на российском и американском сегментах. Время, электроэнергия и другие ресурсы на научные исследования выделяются по остаточному принципу.

В 2001 году программа научно-прикладных исследований на российском сегменте МКС выполнялась российскими космонавтами первых четырех основных экспедиций, а также во время смены кораблей «Союз-ТМ32» и «Союз ТМ-33» экипажами первой и второй экспедиций посещения.

В ходе экспедиций посещения, кроме экспериментов по российской программе, выполнялись также программы исследований, разработанные учеными Казахстана «Гарыш» (ЭП-1) и Франции «Андромеда» (ЭП-2).

В 2002 году были продолжены эксперименты по научной программе в рамках основных экспедиций МКС-4 и МКС-5, а также во время смены кораблей

«Союз ТМ-34» и «Союз ТМА-1» экипажами третьей и четвертой экспедиций посещения.

В ходе этих экспедиций были выполнены целевые программы исследований, разработанные учеными Италии — «Марко Поло» (ЭП-3), Бельгии — «Одиссея» (ЭП-4), а также ЮАР — эксперименты М. Шаттлворта (ЭП-3).

Всего за время пилотируемого полета на РС МКС (до августа 2003 г. включительно) проведено 90 экспериментов, из них 37 — по российской программе и 53 — по контрактным и международным программам.

По итогам выполнения российской программы НПИ в течение первых трех лет полета МКС в пилотируемом режиме можно сделать следующие выводы.

1. На борту двух российских модулей «Звезда» и «Пирс» российскими постановщиками начато размещение комплекса научной аппаратуры, который позволил начать единичные эксперименты по семи направлениям из одиннадцати, имеющихся в «Долгосрочной программе научно-прикладных исследований на РС МКС»:

— геофизические исследования;



Рис. 1. Длительность экспедиций на МКС



Рис. 2. Размещение научной аппаратуры на внешней поверхности служебного модуля РС МКС

Таблица 1. Распределение российских научных экспериментов по направлениям исследований

Отрасль	2001 г.	2002 г.	2003 г.
Медицина, биология	10(2)	13	18
Техника	7	10	10
Природные ресурсы	1	1	1
Биотехнология	0	1	3
Проблемы энергетики	1	1	1
Геофизика	2	3	3
Космические лучи	0	1	1
Астрономия	0	0	0
Исследование планет	0	0	0
Технологии	0	0	0
Всего	21	30	37
Завершены	2	0	0

- медико-биологические проблемы;
- исследование природных ресурсов и экологический мониторинг (начиная с МКС-2);
- космическая биотехнология (начиная с ЭП-4);
- технические исследования и эксперименты;
- проблемы космических энергосистем и двигательных установок (начиная с МКС-3);
- исследования космических лучей (начиная с МКС-4).

2. По российской программе научных исследований за время пилотируемого полета на РС МКС была начата реализация 37 экспериментов (12 % от заявленных в долгосрочной программе). Исследования по двум медико-биологическим экспериментам «Виток-2» и «Массоперенос» к настоящему времени завершены.

3. Более 80 % экспериментов из реализуемых в настоящее время на РСМКС выполняются по традиционным для пилотируемой космонавтики направлениям: медицине, биологии, технике и визуальным наблюдениям (табл. 1).

Статистические данные по затраченным ресурсам. В соответствии с материалами эскизного проекта на РС МКС пользователям выделяются следующие ресурсы:

- рабочие места на внешней поверхности и внутри гермоотсеков;
- объемы внутри гермоотсеков для размещения и хранения научной аппаратуры;
- энергообеспечение;
- внекорабельная деятельность для установки и демонтажа научной аппаратуры;
- время экипажа на проведение экспериментов;
- каналы для передачи телеметрической и научной информации;
- грузопоток (доставка и возврат научной аппаратуры и оборудования).

Таблица 2. Объем доставленной аппаратуры, входящей в комплекс целевых нагрузок

Принадлежность	Комплекс целевых нагрузок, м ³			
	Научная аппаратура	Комплекс средств поддержки и обеспечения	Расходуемые материалы	Всего
Российская программа	0.69	0.12	0.1	0.91
Контрактные эксперименты	0.77	0.2	0.15	1.12
Всего	1.46	0.32	0.25	2.03

Размещение научной аппаратуры. Основную часть внутреннего объема модулей СМ и СО1 занимают служебные системы и средства обеспечения жизнедеятельности экипажа.

В настоящее время внутри СМ есть лишь два специально оборудованных места для установки и подключения научной аппаратуры.

Доставляемое оборудование размещается внутри станции на имеющихся свободных местах, исходя, в первую очередь, из соображений удобства экипажа:

- на панелях интерьера с фиксацией на ворсовой молнии либо под резиновыми фиксаторами;
- на поручнях и элементах каркаса интерьера с использованием замков;
- на иллюминаторах.

В настоящее время объем доставленной аппаратуры, входящей в комплекс целевых нагрузок (КЦН), составляет 2.03 м³ (табл. 2). Наибольший объем внутри СМ занимает научная аппаратура, используемая в экспериментах «Плазменный кристалл», «Растения-2», «Релаксация» и «Молния-СМ».

Учитывая необходимость выполнения контрактных обязательств, взятых на себя российской стороной, большую часть внутреннего объема приходится использовать для размещения оборудования по контрактным экспериментам.

На РС МКС после операций возврата укладок с результатами и утилизации использованного оборудования и расходных материалов в настоящее время размещено 110 наименований научной аппаратуры и оборудования общей массой более 494.9 кг, из них 413.6 кг внутри ГО и 81.3 кг снаружи.

Ограниченные ресурсы РС МКС в данной конфигурации (СМ+СО1) не позволяют проводить эксперименты с использованием НА, имеющей большие габариты.

На одном из рабочих мест в зоне усиленных обходных поручней на корпусе СМ на специально созданной ферме размещена аппаратура по контрактному эксперименту МРАС & SEED. На внешней поверхности СМ также размещено оборудование по экспериментам «Платан» (на кольцевом поручне 3-й плоскости) и «Кромка» (на ГЗУ около блока сопел двигателя ориентации), не использующее интерфейсов с бортом в части электропитания, передачи информации и терморегулирования.

Энергообеспечение аппаратуры. Из 37 российских экспериментов, которые реализуются в течение первых трех лет пилотируемого полета станции, научная аппаратура, требующая электропитания, используется в 22 экспериментах. Электропитание не требуется для выполнения 7 экспериментов, 8 технических экспериментов реализуются с использованием служебных систем.

По длительности работы аппаратуры в режиме потребления электроэнергии эксперименты распределяются следующим образом: 3 эксперимента — с постоянным энергопотреблением; 2 эксперимента — с длительным энергопотреблением (до нескольких суток); 17 экспериментов — с периодическим энергопотреблением (до нескольких часов).

При этом основным потребителем электроэнергии является аппаратура для медико-биологических и технических исследований. Суммарные энергозатраты при проведении медицинских и биологических экспериментов («Растения-2», «Диурез», «Профилактика») составляют 240 кВт·час, а по техническим («Плазменный кристалл», «Скорпион») — 67 кВт·час (табл. 3).

В настоящее время при проведении экспериментов постоянное среднесуточное энергопотребление научной аппаратуры не превышает 200 Вт, а кратковременное — 1 кВт.

Учитывая ограниченные ресурсы РС МКС в данной конфигурации (СМ + СО1), когда проведение

энергоемких экспериментов проблематично, изготовление научной аппаратуры с большой потребляемой мощностью пока не планируется.

Внекорабельная деятельность. Для выполнения ВнеКД используются стыковочный отсек СО1 на российском сегменте и шлюзовая камера QUEST на американском сегменте.

Особенностью основных сборочных операций на МКС является то, что работы на российском сегменте, как правило, осуществляет экипаж станции, а сборку американского сегмента — экипажи кораблей «Шаттл».

По российской программе за время полета станции в пилотируемом режиме было выполнено восемь «Выходов»:

- МКС-3 — ВнеКД №№ 2, 4, 4а по служебным операциям; — ВнеКД № 3 по экспериментам «Кромка», «МРАС & SEED» и «Взгляд»;
- МКС-4 — ВнеКД № 5 по служебным операциям; — ВнеКД № 6 по служебным операциям и экспериментам «Кромка» и «Платан»;
- МКС-5 — ВнеКД № 7 по служебным операциям; — ВнеКД № 8 по служебным операциям и экспериментам «Кромка» и «МРАС & SEED».

В табл. 4 представлены работы, выполнявшиеся экипажем при ВнеКД по научной программе.

В интересах программы НПИ за первые 3 года пилотируемого полета было проведено три ВнеКД общей продолжительностью 9 ч, что в среднем составляет 1 ВнеКД в год.

Для сравнения можно отметить, что за 15 лет эксплуатации ОК «Мир» было проведено 78 «Выходов», из них 32 — в интересах выполнения научной программы, что составляло в среднем два «Выхода» в год.

Распределение времени экипажа. В ходе первых двух экспедиций затраты времени экипажа на проведение научных исследований определялись только объемом программы экспериментов. В связи с необходимостью возврата проданных НАСА (в соответствии с контрактом) 4000 часов российского времени, начиная с третьей экспедиции, время, выделенное на работу экипажа с российскими полезными нагрузками, определялось квотами (табл. 5).

В период с 3 по 13 экспедицию действует следующее соотношение: 87.5 % времени используется в интересах НАСА и 12.5 % в интересах Росавиакосмоса. Кроме этого, в случае отклонения фактического времени, затраченного экипажем на работу с полезными нагрузками, от выделенного по квотам, ведется учет компенсации с нарастающим итогом.

Увеличение общего количества экспериментов за счет доставки новой научной аппаратуры приводит

Таблица 3. Затраты электроэнергии на реализацию научных программ на РС МКС, кВт·ч

Станция	Российские эксперименты	Контрактные эксперименты
МКС-1	1.6	0
МКС-2	0.2	13.7
ЭП-1	1.3	0
МКС-3	0.27	20.6
ЭП-2	1.3	7.6
МКС-4	18.2	60.4
ЭП-3	1.3	4.9
МКС-5	84.4	21.1
ЭП-4	0.06	5.0
МКС-6	201.4	39.9

Таблица 4. Внекорабельные работы по научной программе, выполнявшиеся экипажем

№ ВнеКД	Дата	Эксперимент								Суммарное время
		«Кромка»	Время	«Платан»	Время	MPAC & SEED	Время	«Взгляд»	Время	
3	15.10.01	Монтаж планшета № 0	40 мин	—	—	Монтаж трех панелей с образцами	4 ч	Установка логотипа «Кодак»	40 мин	5 ч 20 мин
6	25.01.02	Демонтаж планшета № 0, монтаж планшета № 1	1 ч 30 мин	Монтаж детектирующего блока «Платан-М»	20 мин	—	—	—	—	1 ч 50 мин
8	26.08.02	Демонтаж планшета № 1, монтаж планшета № 2	50 мин	—	—	Демонтаж панели № 1, переустановка панели № 2 на рабочее место панели № 1, сдвиг панели № 3 на новое место	1 ч	—	—	1 ч 50 мин
Итого			3 ч		20 мин		5 ч		40 мин	9 ч

Таблица 5. Распределение времени экипажа

Станция	Распределение времени экипажа, %		Фактическое время, ч		Компенсация за превышение квоты, ч		Возврат времени по контракту NAS15-10110, ч	Российские эксперименты, ч	Контрактные эксперименты, ч
	Россия	США	Россия	США	Россия → США	США → России	Россия		
МКС-1	50	50	69.00	47.00	11.00	—	—	64.25	5.25
МКС-2	50	50	51.00	263.11	—	106.06	—	42.25	12.25
МКС-3	12.5	87.5	130.85	201.35	89.33	—	32.25	48.25	191.25
МКС-4	12.5	87.5	58.00	337.72	8.54	—	139.86	96	26.8
МКС-5	12.5	87.5	73.90	279.66	29.71	—	102.88	114.8	57.2
МКС-6	12.5	87.5	73.48	277.18	0*	—	104.19	119	2.5
Всего	—	—	456.23	1406.02	32.52	—	382.18	484.55	295.25

* В соответствии с протоколом встречи российско-американской рабочей группы по операциям с ПН в августе 2003 г. достигнута договоренность не учитывать превышение Россией квоты для МКС-6 из-за невыполнения НАСА запланированных объемов исследований.

Таблица 6. Распределение времени экипажа по служебным и целевым операциям

Операции	Доля времени, %
Работы с полезной нагрузкой	12.0
Рутинные операции	25.0
Инвентарный учет	4.7
Переговоры с Землей	6.3
Передача смены	3.8
Тренировки и медицинские операции	11.0
Внекорабельные работы	7.6
Работы со служебными системами	29.6

к росту затрат времени экипажа на реализацию программы НПИ, которое является очень ограниченным из-за большого числа работ со служебными системами и рутинных операций, таких как ежедневные конференции (связь с ЦУПами), ознаком-

ление с программой полета, инвентаризация, подготовка отчетов и т. п.

В табл. 6 приведены сравнительные данные по распределению времени экипажа на различные операции на борту, полученные в ходе первых шести основных экспедиций МКС.

К сожалению, на операции с полезными нагрузками основной экипаж тратит лишь 12 % рабочего времени, что зачастую недостаточно для эффективного проведения экспериментов.

В отличие от основных экспедиций, временные ресурсы экспедиций посещения не лимитируются международными соглашениями и находятся полностью в распоряжении российской стороны. Значительная часть времени экипажа экспедиций посещения, выделяемая на проведение экспериментов, позволяет проводить большой объем научных исследований, в том числе на коммерческой основе, за короткий период нахождения экипажа на борту

Таблица 7. Время, затраченное экспедициями посещения на проведение экспериментов

Направление исследований	Затраченное время, ч : мин										
	МКС-1	МКС-2	ЭП-1	МКС-3	ЭП-2	МКС-4	ЭП-3	МКС-5	ЭП-4	МКС-6	Всего
Геофизические исследования	6:35	11:55	—	14:46	—	39:05	—	29:20	4:20	23:57	129:58
Медико-биологические проблемы	34:00	14:30	6:40	12:30	0:50	35:50	1:00	46:35	1:10	58:35	211:40
Исследование природных ресурсов	—	11:30	2:30	5:45	1:50	7:40	—	13:20	3:45	6:45	53:05
Биотехнологические исследования	—	2:20	—	—	—	—	—	—	1:15	1:15	4:50
Технические исследования	23:40	2:00	21:10	13:55	15:15	6:55	14:00	10:50	3:45	26:40	138:10
Энергетика и двигательные установки	—	—	—	1:20	—	4:10	—	6:55	—	1:00	13:25
Исследования космических лучей	—	—	—	—	—	2:20	—	—	—	—	2:20
Контрактные работы и эксперименты	5:15	12:15	10:40	191:15	54:55	26:50	94:08	54:20	101:45	2:10	553:33
Всего, ч : мин	69:30	54:30	41:00	239:31	72:50	122:50	109:08	161:20	116:00	120:22	1107:01

(табл. 7). Приведенные в таблице затраты времени экипажа на выполнение научной программы включают в себя также работы основного экипажа с полезной нагрузкой в личное время (дополнительно к котируемому времени) и работы с научной аппаратурой в рамках проведения служебных операций (погрузка/разгрузка транспортных кораблей, первичный монтаж аппаратуры, подготовка к ВнеКД).

Анализ данных, представленных в таблице, показывает, что 50 % времени российских экипажей было затрачено на проведение контрактных программ и экспериментов.

Всего шестью основными экипажами за три года эксплуатации станции в пилотируемом режиме на выполнение программы экспериментов затрачено 768 ч, а в период четырех экспедиций посещения — 339 ч.

В среднем затраты времени экипажа составили:
— основной экспедиции — 153 ч (0.9 ч/сут);
— экспедиции посещения — 83 ч (7.7 ч/сут).

Информационное обеспечение. Анализ информационных потоков по 37 российским экспериментам, реализуемым на РС МКС, показывает, что в настоящее время только в 10 экспериментах используются низкоинформативные каналы для передачи небольших объемов информации. При этом в 8 технических экспериментах сброс телеметрической информации (до 100 Кбайт на каждом витке) осуществляется в автоматическом режиме по служебному каналу системы бортовых измерений БИТС2-12.

По экспериментам «Кардио-ОДНТ» (до 2 Мбайт) и «Плазменный кристалл» (до 9 Мбайт) информация передается на Землю в реальном масштабе времени (по каналам РТС и БИТС 2-12, режим НП).

В 11 экспериментах — медицинских, биологиче-

ских, биотехнологических, геофизических и визуальных наблюдений данные в основном записываются на сменные электронные носители для последующего возврата на Землю раз в полгода. Кроме того, 4 эксперимента проводятся с пассивно экспонирующейся аппаратурой, а в 12 экспериментах осуществляется только отбор проб и не требуется предоставление информационных каналов.

Характеристики существующих систем РС МКС, обеспечивающих прием и передачу информации, представлены в табл. 8.

Аппаратура ТМО, позволяющая существенно увеличить скорости передачи информации с использованием телевизионного канала, в настоящее время находится на борту МКС, проводятся ее тестовые проверки для ввода в штатную эксплуатацию.

Как видно из таблицы, в настоящее время РС МКС располагает существенно ограниченными возможностями по передаче больших объемов телеметрической и цифровой информации, что не позволяет реализовывать научные эксперименты, требующие высокоинформативных каналов связи.

Доставка и возврат научной аппаратуры и оборудования. Всего за время существования станции (по состоянию на август 2003 г.) на РС МКС было доставлено 777.1 кг российской и зарубежной научной аппаратуры и оборудования (табл. 9).

За период с 2001 по 2003 гг. на Землю было возвращено около 155 кг материалов с результатами экспериментов и утилизировано 128 кг оборудования и расходных материалов.

Текущая сводка по массе комплекса целевых нагрузок к середине 2003 г. приведена в табл. 10.

К августу 2003 года на борту находятся 494 кг работоспособной аппаратуры комплекса целевых нагрузок, из них доставленной по российской программе НИП — 298 кг.

Таблица 8. Характеристики существующих систем РС МКС, обеспечивающих прием и передачу информации

Система/аппаратура	Максимальная информативность, кбит/с	
	Борт—Земля	Земля—Борт
Система бортовых измерений БИТС2-12 (служебная система)	256	—
Радиотехническая система управления и связи (РСУС) «Регул-ОС» (служебная система)	16	13.2
Устройство сопряжения (УС) с системой телефонно-телеграфной связи (ТТС) (служебная система)	1.2	1.2
Блок сопряжения с РСУС «Регул-ОС» (БСР)	4.8	4.8
Телевизионный модуль обмена (ТМО) (планируется ввод в действие в конце 2003 г.)	2000	128

Таблица 9. Распределение доставленной на борт РС МКС научной аппаратуры по направлениям исследований

Направление исследований	Масса, кг
Контрактные работы	448.4
Исследования космических лучей	3.7
Проблемы энергетики	14.2
Технические исследования	102.1
Биотехнологические исследования	13.3
Исследование природных ресурсов Земли	4.4
Медико-биологические проблемы	107.1
Геофизические исследования	53.3
Общеобразовательные проекты	30.6

Таблица 10. Сводка по массе целевых грузов к середине 2003 г.

Состав	Масса аппаратуры и оборудования КИП, кг			
	На борту	Возвращено	Утилизировано	Всего
Научная аппаратура	368.3	79.1	82.7	530.1
Средства поддержки и обеспечения	94.6	25.3	16.1	136.0
Расходуемые материалы	30.8	50.7	29.5	111.0
Всего	493.7	155.1	128.3	777.1

Доставка научной аппаратуры осуществляется российскими транспортными грузовыми и пилотируемыми кораблями и в составе модулей (табл. 11). Возврат грузов — транспортными пилотируемыми кораблями «Союз» и американскими кораблями «Шаттл» (табл. 12).

Таблица 11. Распределение массы выводимой научной аппаратуры по средствам доставки (всего 777.1 кг)

Тип корабля	Масса, кг
В стартовом составе РС МКС (64.1 кг)	
СМ	5
СО	59.1
Транспортные грузовые корабли «Прогресс-М, М1» (599 кг)	
М1-4	3.1
М-44	86.3
М1-6	10.7
М-45	182.1
М1-7	57.8
М1-8	73.2
М-46	2.8
М1-9	127.6
М-47	31.6
М1-10	23.8
Транспортные пилотируемые корабли «Союз» (114 кг)	
ТМ-32	21.7
ТМ-33	20.5
ТМ-34	32.8
ТМА-1	24.6
ТМА-2	14.4

Таблица 12. Распределение массы возвращаемых результатов экспериментов по типам транспортных кораблей («Союз-ТМ, ТМА», «Шаттл»)

Тип корабля	Масса, кг
STS 5A.1	2.2
ТМ-31	12.6
STS 7A	8.4
STS 7A.1	0.7
ТМ-32	24.3
UF-1	0.2
ТМ-33	28.5
UF-2	0.4
ТМ-34	36.5
STS 11A	16.7
ТМА-1	24.7
Всего	155.2
Из них на STS	28.6

На борт РС МКС десятью грузовыми и пятью пилотируемыми кораблями доставлено 713 кг научного оборудования, что в среднем составляет 60 кг на ТК «Прогресс» и 23 кг на ТК «Союз».

Возврат 155 кг упаковок с результатами экспериментов осуществлен в составе четырех российских и пяти американских кораблей, в среднем 26 кг в СА «Союз» и 5 кг на КК «Шаттл».

Сводные данные. Накопленный объем информации по реализации программы НПИ за три года

Таблица 13. Сводные данные

Наименование параметра, ресурса	РС МКС (2003 г.)	ОК «Мир»
Количество рабочих мест вне ГО, из них:	6	33
— УРМ	2*	16
— УРМ с поворотными платформами	—	2
Объем для НА внутри ГО, м ³	2.0	18
Энергопотребление, кВт		
— среднесуточное	0.2	0.35
— кратковременное	1.0	2.0
Количество ВнеКД в год	1	2
Количество шлюзовых камер для работ с научной аппаратурой	—	3
Занятость экипажа в сутки, ч		
— основная экспедиция	0.9	2.4
— экспедиция посещения	7.7	7...8
Доставка НА, кг		
— на ТПК «Прогресс»	60	100
— на ТПК «Союз»	23	20
Возврат результатов в СА ТПК «Союз», кг	26	50
Скорость передачи информации, Мбит/с	0.256 — БИТС	0.256 — БИТС-23; 61.4 — БИСУ-ПМ; 16 — РПИ
Количество сеансов экспериментов в год	700	2100

* планируются к развертыванию в 2004 г.

полета РС МКС позволяет сравнить средние показатели по каждому из выделенных ресурсов с аналогичными усредненными данными по ОК «Мир» (табл. 13).

Полученные данные по выполнению научных программ на РС МКС за прошедший период и накопленный опыт ОК «Мир» позволяют определить основные закономерности и параметры выполнения программы исследований и использовать их в дальнейшем при анализе реализуемости долгосрочной программы НПИ в целом и по этапам.

EARLY SIX EXPEDITIONS TO THE ISS: SOME RESULTS AND PROSPECTS OF THE REALIZATION OF PROGRAMS OF SCIENTIFIC AND APPLIED INVESTIGATIONS AND EXPERIMENTS ABOARD THE RUSSIAN SEGMENT

A. V. Markov, A. A. Kuznetsov, I. V. Sorokin,
I. B. Petrushkevich, G. A. Shamanina, N. I. Lokteva,
O. I. Egorova, T. A. Ushakova

We briefly review some results of the realization of the Russian long-term program of scientific investigations for early three years of piloted flight of the ISS. Some statistical data on resources expended for the program execution are presented.