

УДК 621.05

А. П. Верещак, А. Б. Данилин, А. Н. Зайченко, Е. Е. Малафеев

Публічне акціонерне товариство «АТ Науково-дослідний інститут радіотехнічних вимірювань», Харків

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «АО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ» — ВЕДУЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ УКРАИНЫ В ОБЛАСТИ КОСМИЧЕСКОГО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Приведена история создания Публичного акционерного общества «АО Научно-исследовательский институт радиотехнических измерений». Рассмотрены результаты создания в АО НИИРИ бортовых радиоэлектронных подсистем обеспечения функционирования космических аппаратов и бортовых подсистем полезной нагрузки. Приводятся основные технические характеристики наземной и бортовой аппаратуры совмещенных командно-телеметрических измерительных радиолиний, созданных АО НИИРИ. Представлен краткий обзор основных технических характеристик станций приема информации со спутников дистанционного зондирования Земли, разработанных АО НИИРИ.

ИСТОРИЯ ИНСТИТУТА

История создания института ведет начало с 1953 г., когда в г. Харькове на заводе им. Т. Г. Шевченко было создано Особое конструкторское бюро № 285. С 1957 по 1968 гг. коллектив института входил в состав Особого конструкторского бюро № 692, позднее КБ электроприборостроения (в настоящее время — ОАО «Хартрон»). В сентябре 1968 г. коллектив института получил статус самостоятельного предприятия — «Украинского филиала научно-исследовательского института измерительной техники» (УФНИИИТ). В марте 1986 г. УФНИИИТ был преобразован в «Научно-исследовательский институт радиотехнических измерений» (НИИРИ), в декабре 1995 г. — в Открытое акционерное общество «АО Научно-исследовательский институт радиотехнических измерений», а в апреле 2011 г. — в Публичное акционерное общество АО НИИРИ.

Начиная с 1960-х годов, коллектив института принимал участие в создании ряда высокоточ-

ных фазометрических систем для обеспечения испытаний ракет и носителей космических аппаратов всех типов, а также в разработке и изготовлении бортовой аппаратуры для радиолокационных и радиометрических измерений физических характеристик поверхности океана, которая использовалась на космических аппаратах серий «Космос» и «Океан». За эти работы ведущим специалистам НИИРИ была присуждена Государственная премия СССР (1983 г., 1989 г.).

Радиотехнические приборы, разработанные и изготовленные в институте, были размещены на космических станциях «Салют» и «Мир», а также на ракете-носителе «Энергия», которая вывела на околоземную орбиту корабль многоцелевого использования «Буран».

В соответствии с первой Государственной космической программой Украины НИИРИ обеспечил формирование и модернизацию наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами Украины, который управлял полетом первого отечественного космического аппарата «Січ-1», микроспутника МС1 и КА МС-2 ... МС-8. В 1996 г. деятельность коллектива института была отмечена Государст-

венной премией Украины. Коллектив института принимал участие в создании бортовой аппаратуры египетского КА «EgyptSat» и наземной станции для его управления.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ ПРЕДПРИЯТИЯ В КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

1. Космическое приборостроение. В рамках этого направления предприятием разрабатываются:

1.1. Командно-измерительные комплексы (бортовая аппаратура — БА, контрольно-проверочная аппаратура — КПА и наземные станции — НС) управления космическими аппаратами (КА).

1.2. Системы телеметрических измерений (БА и КПА) для КА и перспективных ракет-носителей (РН).

1.3. Специальные информационные радиолинии (БА, КПА, НС).

1.4. Бортовые связные транспондеры Store & Forward КА (БА, КПА и наземные терминалы пользователя).

1.5. Аппаратура спутниковой навигации КА и РН (БА и КПА).

1.6. Аппаратура (БА и КПА) дистанционного зондирования Земли (радиолокаторы бокового обзора РЛС БО, радиометры).

1.7. Универсальные наземные станции приема информации от КА дистанционного зондирования Земли.

1.8. Блоки, приборы и системы СВЧ для радиолокаторов (РТ-70, г. Евпатория).

2. Системы специального назначения.

2.1. Многопараметрические системы высокоточных траекторных измерений (ВТИ) космических и авиационных объектов (БА, КПА и НС).

АО НИИРИ создал ряд систем траекторных измерений, в том числе и высокоточную фазометрическую систему траекторных измерений типа «Вега-Н(К)». Оснащение этой системой как базовой траекторной измерительной системой всех космодромов сыграло заметную роль в отработке многих космических программ.

2.2. Система координатно-временного и навигационного обеспечения Украины (СКНОУ) — по заказу ГКАУ предприятием создана, развер-

нута и введена в эксплуатацию в Украине система (контрольно-корректирующие станции, региональные пункты контроля навигационного поля, основной и резервный центры контроля навигационного поля), являющаяся дифференциальным дополнением спутниковых радионавигационных систем (СРНС) и обеспечивающая круглосуточный непрерывный мониторинг радионавигационных полей СРНС GPS, ГЛОНАСС, EGNOS, а также расчет и доставку потребителям дифференциальной корректирующей информации, позволяющей осуществлять навигационные параметры потребителя с точностью 1–2 м по координатам в реальном масштабе времени на всей территории Украины.

2.3. Системы и средства геофизического мониторинга.

В рамках этого направления совместно с компанией Science Application International Corporation (США) ОАО АО НИИРИ выполнял работы по созданию на базе Украинской сейсмической группы (Житомирская область) станции сейсмического мониторинга (по международной классификации — PS-45), которая затем была включена в состав международной сети станций контроля за испытаниями ядерного оружия Организации договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний.

ОАО АО НИИРИ также разработало ряд программно-аппаратных средств для технического переоснащения служб Главного центра специального контроля национального космического агентства Украины.

БОРТОВАЯ АППАРАТУРА И НАЗЕМНЫЕ СТАНЦИИ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ УКРАИНЫ, РАЗРАБОТАННЫЕ ПРЕДПРИЯТИЕМ

При выполнении первой украинской космической программы одним из приоритетных направлений являлось создание микроспутников. Были созданы и запущены отечественные микроспутники МС1 и КА МС-2 ... МС-8. Необходимые для управления этими спутниками командные и телеметрические системы, наземные станции управления пришлось разрабатывать фактически заново.

В ОАО АО НИИРИ были разработаны и созданы два типа совмещенных командно-телеметрических измерительных радиолиний (СКТРЛ):

- СКТРЛ МС1 для управления первым отечественным микроспутником МС1.

Бортовая аппаратура (БА) и наземная станция (НС) этой системы была модернизирована (НС СКТРЛ-М) для управления вторым отечественным микроспутником КА МС-2 ... МС-8.

Таблица 1. Технические характеристики СКТРЛ МС1 и СКТРЛ для управления КА МС-2 ... МС-8

СКТРЛ МС1 обеспечивает связь между КА и НС на орбитах с высотой до 1000 км, при углах места 7° и более, любом азимуте, ориентированного и неориентированного положения КА	
СКТРЛ МС-2 ... МС-8 обеспечивает связь между КА и НС на орбитах с высотой до 700—800 км, при углах места 5° и более, любом азимуте, ориентированного и неориентированного положения КА	
Диаметр основной антенны НС СКТРЛ МС1	3 м
Диаметр антенны пеленгатора НС СКТРЛ МС1	1.8 м
Диаметр антенны НС СКТРЛ МС-2 ... МС-8 (используется одна антенна для информационного канала и пеленгатора)	3 м
Частотная полоса для линии «Земля — борт»	2025...2110 МГц
Частотная полоса для линии «борт — Земля»	2200...2290 МГц
Время вхождения в радиосвязь	~3—5 с для СКТРЛ МС1 ~1 с для СКТРЛ МС-2 ... МС-8
Техническая скорость передачи информации	
по каналу «Земля — борт»	1 Кбит/с для СКТРЛ МС1 32 Кбит/с для СКТРЛ МС-2 ... МС-8
по каналу «борт — Земля»	32 Кбит/с
Вероятность сбоя на символ принимаемой информации	
по каналу «Земля — борт»	10 ⁻⁷
по каналу «борт — Земля»	10 ⁻⁵
Предельная погрешность измерения:	
по радиальной скорости	0.1 м/с для СКТРЛ МС1 0.05 м/с для СКТРЛ МС-2 ... МС-8
по дальности	50 м
Предельная погрешность сверки бортовой шкалы времени с наземной шкалой	1 мс
СКТРЛ обеспечивает автоматическую перестройку с одного КА на другой и вхождение в связь с новым КА за время	1 мин
Сопровождение КА осуществляется в режиме автосопровождения или по целеуказаниям	
Управление работой НС автоматизировано	
Состав обслуживающего персонала	5 человек
Средний срок службы НС	10 лет
Гарантийный срок	5 лет
Средний ресурс	10000 ч



Рис. 1. Антенное устройство НС СКТРЛ МС-2 ... МС-8

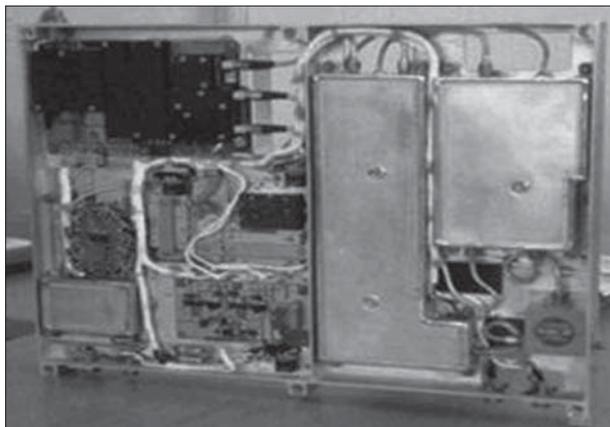


Рис. 2. Бортовая аппаратура СКТРЛ МС-2 ... МС-8

Разработанные СКТРЛ обеспечивают:

- связь КА с НС по радиоканалам «Земля — борт» и «борт — Земля» в S-диапазоне;
- передачу и прием по каналу «Земля — борт» командно-программной информации (КПИ)

и выдачу КПИ в бортовой цифровой вычислительный комплекс (БЦВК);

- передачу по каналу «борт — Земля» квитанций БЦВК;
- сверку наземной шкалы времени (НШВ) с бортовой шкалой времени (БШВ), формируемой в БЦВК, и выдачу в центр управления полетом (ЦУП) результатов сверки;
- передачу и прием по каналу «борт — Земля» телеметрической информации;
- передачу и прием массивов данных по каналам «Земля — борт», «борт — Земля»;
- измерение текущих навигационных параметров (ИТНП) КА — наклонной дальности (R) и радиальной скорости (\dot{R}) КА;
- поочередное выполнение всех задач для 10 КА одновременно находящихся на орбите.

Технические характеристики СКТРЛ МС1 и СКТРЛ для управления КА МС-2 ... МС-8 приведены в табл. 1.

Бортовая аппаратура СКТРЛ совместно с бортовым антенно-фидерным устройством предназначена для установки на микроспутниках, малых и средних спутниках для решения совместно с НС СКТРЛ задач управления, телеконтроля и траекторных измерений КА. При этом БА СКТРЛ обеспечивает прием и излучение сигналов в направлении НС при произвольном положении спутников.

Таблица 2. Технические характеристики БА СКТРЛ МС1 и БА СКТРЛ МС-2 ... МС-8

Частотная полоса для линии «Земля — борт»	2025...2110 МГц
Частотная полоса для линии «борт — Земля»	2200...2290 МГц
Вид модуляции	MSK
Мощность бортового передатчика	0.5 Вт
Чувствительность приемного устройства	минус 144 дБ Вт
Энергопотребление	20 Вт
Объем аппаратуры	5 дм ³
Масса	5 кг
Характер резервирования	полное холодное резервирование
Защита от несанкционированного доступа	имеется

Технические характеристики БА СКТРЛ МС1 и БА СКТРЛ МС-2 ... МС-8 приведены в табл. 2.

На рис. 1 показано антенное устройство НС СКТРЛ МС-2 ... МС-8; на рис. 2 — БА СКТРЛ МС-2 ... МС-8.

В соответствии с требованиями ТЗ НС СКТРЛ должна обеспечить радиосвязь со спутником на больших дальностях (до 3000 км для СКТРЛ МС1, до 2800 км для СКТРЛ МС-2 ... МС-8, при точности измерения дальности $\delta_R < 50$ м, радиальной скорости $\delta_R < 0.1$ м/с (для СКТРЛ МС-2 ... МС-8 $\delta_R < 0.05$ м/с) и достаточно большую скорость передачи информации (32 кбит/с).

БОРТОВАЯ АППАРАТУРА СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ, РАЗРАБОТАННАЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

В результате проведенных работ на предприятии создана аппаратура спутниковой навигации (АСН), соответствующая современному техническому уровню в области космической техники. Разработанная АСН устанавливалась на КА (Сич-1М, МС1, «EgyptSat-1», МС-2 ... МС-8) и ракетносителях (РН) (РН «Днепр», «Циклон-4»).

Применение АСН на борту КА (РН) позволяет решать следующие задачи:

Таблица 3. Основные технические характеристики БА АСН

Наименование параметра	Значение параметра
Частота принимаемого сигнала	1575.42 МГц
Чувствительность	-160 дБВт
Потребляемая мощность при «холодном» старте (первое включение)	5 Вт
при «теплом» старте (повторное включение после потери питания связи со спутниками на время не более 5 мин)	35 мин
при «горячем» старте (после потери радиосвязи на время не более 3 с)	3 мин
Предельная погрешность навигационных определений:	8...15 с
по координатам, не более	15 м
по проекциям вектора скорости, не более	0.5 м/с
Объем	0.90 дм ³
Масса	1.5 кг

- определение в реальном масштабе времени координат, составляющих вектора скорости и сдвига часов АСН по сигналам глобальной спутниковой навигации системы NAVSTAR (GPS);

- формирование и выдачу в подсистему управления КА (РН) секундной метки в шкале UTC;
- формирование телеметрической информации и передачу ее в пункт управления.

Основные технические характеристики БА АСН показаны в табл. 3.

БОРТОВАЯ АППАРАТУРА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ КА И СТАНЦИИ ПРИЕМА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

В результате проведенных работ создана высокоскоростная аппаратура передачи данных полезной нагрузки спутника, соответствующая современному техническому уровню в области космической техники.

Бортовая аппаратура передачи информации полезной нагрузки X -диапазона является составной частью информационной радиолинии космического аппарата и работает в X -диапазоне — 8025...8400 МГц.

Указанная аппаратура обеспечивает передачу на наземную станцию приема данных (НСПД) группового информационного потока со скоростью 30.72 Мбит/с, поступающего от полезной нагрузки.

Для радиолинии выбран вид модуляции QPSK со сдвигом (OQPSK), позволяющий обеспечить эффективность использования занимаемой полосы частот и минимальные искажения спектра сигнала при прохождении его через нелинейные цепи передатчика (минимальный уровень амплитудной модуляции сигнала).

Энергетическая эффективность бортовой аппаратуры X -диапазона повышена за счет сверточного кодирования. Энергетический выигрыш сверточного кодирования при реализованных кодовой скорости $R = 1/2$, длине кодового ограничения $k = 7$ и использовании мягкой схемы принятия решений в ходе декодирования по алгоритму Витерби в декодере наземной станции составляет 5.3 дБ при коэффициенте ошибки передачи информации $P = 10^{-6}$.

Таблица 4. Основные технические характеристики аппаратуры передачи информации полезной нагрузки

Параметр	Значение параметра
Частота несущего колебания выходного сигнала, в пределах	8025...8400 МГц
Мощность излучаемого сигнала, не менее	3.5 Вт
Максимальный коэффициент усиления бортовой антенны	6 дБ
Нестабильность частоты несущего колебания выходного сигнала	$5 \cdot 10^{-7}$
Вид модуляции выходного сигнала	OQPSK
Кодирование	сверхточное ($R = 1/2$)
Информационная скорость передачи данных	30.72 Мбит/с
Техническая скорость передачи информации	61.44 Мбит/с
Ширина рабочей полосы излучаемого сигнала	61.44 МГц
Коэффициент ошибки при передаче информации	10^{-6}
Напряжение электропитания	24...34 В
Потребляемая мощность, не более в рабочем режиме и режиме тестирования	50 Вт
в режиме хронизатора	5 Вт
Масса БА без АФУ	5.35 кг
Масса БА с АФУ	7.08 кг
Габаритные размеры	380 × 326 × 60 мм
Время непрерывной работы, не более	12 мин
Характер резервирования	однократное ненагруженное (кроме АФУ)
Вероятность безотказной работы: для трех лет активного существования	0.97
для пяти лет активного существования	0.96

Для повышения надежности работы системы синхронизации и декодера наземной станции в аппаратуре X-диапазона применено скремблирование.

Аппаратура передачи информации полезной нагрузки обеспечивает решение следующих задач:

- формирование высокостабильного радиосигнала несущей частоты;

Таблица 5. Технические характеристики УН СПИ-8.2

Параметр	Номинальное значение
Несущая частота принимаемого радиосигнала изображения	Оперативно перестраивается в пределах рабочего диапазона 8025...8400 МГц, шаг перестройки 150 кГц
Имеющиеся миссии спутников	МС-2 ... МС-8, «Сич-1М», «Сич-3», «Envisat-1», «Landsat-7», «Ikonos-1», QuickBird, OrbView-3
Радиус зоны приема сигналов	2500 км
Количество независимых частотных каналов приема	2
Модуляция радиосигнала	BPSK, SQPSK, AQPSK
Максимальная скорость демодуляции принятого сигнала в каждом канале	320 Мбит/с
Коэффициент ошибки на бит данных	10^{-6}
Диаметр рефлектора	12 м
Коэффициент усиления антенны	56.7 ± 1.5 дБ
Наведение антенны	Программное, по сигналам рассогласования пеленгатора
Пределы вращения антенны:	0...+270°, 0...-270°;
азимутальная ось	+5°...+85°
угломестная ось	

- фазовую модуляцию радиосигнала информационным цифровым потоком;
- усиление по мощности промодулированного радиосигнала;
- формирование тестового сигнала ПСП;
- формирование синхрочастот;
- формирование телеметрических сигналов.

Указанная аппаратура работает в трех режимах: 1) «рабочий режим», 2) «режим хронизатора», 3) «режим тестирования».

В рабочем режиме аппаратура X-диапазона передает на наземную станцию приема данных информационный поток, поступающий от ПДПН. В режиме синхронизации аппаратура X-диапазона формирует для ПДПН синхрочастоты 30.72 МГц и 46.08 МГц для обеспечения ее работы в режиме записи информации вне зоны

Таблица 6. Телеметрические характеристики РПУ S-диапазона и ВИП

Параметр	Значение параметра
<i>Радиопередающие устройства</i>	
Диапазон частот	2200...2300 МГц
Количество частотных литер	2
Мощность излучаемого сигнала	10 Вт
Скорость передачи информации	64...2048 Кбит/с
Вид модуляции	OQPSK
Вероятность ошибки на бит передаваемой информации	10^{-6}
Энергопотребление	75 Вт
Масса, не более	3 кг
Объём, не более	2 дм ³
<i>ВИП</i>	
Диапазон частот приема информации	2200...2290 МГц
Минимальная наклонная дальность приема сигналов	15 км
Максимальная наклонная дальность приема сигналов	2500 км
Вероятность ошибки на бит принимаемой телеметрической информации	10^{-5} / 1 бит
Модуляция принимаемого сигнала, вид	QPSK, OQPSK
Скорость принимаемой информации	64...2048 кбит/с
Время регистрации	900 с
Потребляемая мощность, не более	2 кВА

радиовидимости спутника наземной станции приема данных полезной нагрузки. При этом в аппаратуре X-диапазона включаются только устройства формирования синхрочастот. В режиме тестирования аппаратура X-диапазона формиру-

ет и передает тестовую информацию для обеспечения независимого контроля ее функционирования.

Основные технические характеристики аппаратуры передачи информации полезной нагрузки приведены в табл. 4.

Для наземного приема информации полезной нагрузки указанных спутников КА МС-2-8, перспективного украинского спутника «Січ-3» и зарубежных существующих и перспективных спутников ДЗЗ предприятием была создана унифицированная наземная станция приема информации (расположена в г. Дунаевцы Хмельницкой области).

Технические характеристики УН СПИ-8.2 представлены в табл. 5.

СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ, РАЗРАБОТАННЫЕ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Для обеспечения телеметрических измерений при запуске РН предприятием разработаны: радиопередающие устройства (РПУ) радиоволн для передачи телеметрии (РПУ S-диапазона для РКН «Циклон-4»), а также мобильная система приема телеметрии (ВИП) для обеспечения запусков КА РН на неоснащенных трассах пусков.

Телеметрические характеристики РПУ S-диапазона и ВИП представлены в табл. 6.

В настоящее время институт проводит работы в рамках реализации проектов с Государственным космическим агентством Украины, ГКБ «Южное», НПП «Хартрон-Аркос» и др. Разработанная и разрабатываемая институтом аппаратура будет устанавливаться на перспективных украинских космических аппаратах и ракетах-носителях.

Стаття надійшла до редакції 22.10.14

*А. П. Верещак, А. Б. Данилин,
А. Н. Зайченко, Е. Е. Малафеев*

ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
«АТ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
РАДІОТЕХНІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ» —
ПРОВІДНЕ ПІДПРИЄМСТВО УКРАЇНИ
У ГАЛУЗІ КОСМІЧНОГО РАДІОЕЛЕКТРОННОГО
ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Приведено історію створення Публічного акціонерного товариства «АТ Науково-дослідний інститут радіотехнічних вимірювань». Розглянуто результати створення в АТ НДІРВ бортових радіоелектронних підсистем забезпечення функціонування космічних апаратів і бортових підсистем корисного навантаження. Приводяться основні технічні характеристики наземної та бортової апаратури суміщених командно-телеметричних вимірювальних радіоліній, створених в АТ НДІРВ. Подано короткий огляд основних технічних характеристик станцій приймання інформації зі супутників дистанційного зондування Землі, розроблених в АТ НДІРВ.

*A. P. Vereshchak, A. B. Danilin,
A. N. Zaichenko, E. E. Malafeev*

PUBLIC JOINT STOCK COMPANY
«JSC SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE
OF RADIO ENGINEERING MEASUREMENTS»,
THE LEADING UKRAINIAN ENTERPRISE
IN THE FIELD OF SPACE RADIO-ELECTRONIC
INSTRUMENT MAKING

The history of the Public Joint Stock Company «JSC Scientific Research Institute of Radio Engineering Measurements» foundation is described. We consider the results of creation of on-board radio-electronic spacecraft maintenance subsystems and on-board spacecraft payload subsystems at the JSC SRIREM. We present key technical characteristics of ground-based and on-board equipment within the combined command and telemetry radio lines (TT&C) which were developed by the JSC SRIREM company. A short overview of the key technical characteristics of receiving stations obtaining data from remote Earth sensing satellites which were developed by the JSC SRIREM company is given.