

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

УДК 551.5

КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ «ЭЛЕКТРО-М» И «ЭЛЕКТРО-М1»

Л. А. Макриденко, С. Н. Волков,
А. В. Горбунов, В. П. Ходненко

Представлены: назначение, основные проектные параметры и характеристики геостационарного космического аппарата (КА) «Электро-М», предназначенного для решения задач гидрометеорологического и гелиогеофизического обеспечения. Показано, что создание КА «Электро-М» возможно на базе унифицированной малогабаритной космической платформы УМКП-800. Приведена функциональная схема КА, схема выведения КА «Электро-М» на геостационарную (ГСО) и геосинхронную орбиты и затраты характеристической скорости на коррекцию. Даются назначение и основные характеристики полезной нагрузки (ПН) КА «Электро-М» на базе бортового информационно-радиотехнического комплекса (БИРК). Приведена конструктивно-компоновочная схема КА. КА «Электро-М1» проектировался как первая очередь перспективного геостационарного гидрометеорологического комплекса на базе УМКП-800. Представлены общий вид КА «Электро-М1», ПН, а также состав и характеристики космической платформы аппарата. КА «Электро-М» и «Электро-М1» предполагалось создавать с учётом разрабатываемого в НПП ВНИИЭМ семейства малых КА и кооперации со смежными организациями, имеющими большой практический опыт создания и длительной эксплуатации в открытом космосе различных приборов, устройств и конструкций.
Ключевые слова: геостационарный космический аппарат, унифицированная малогабаритная космическая платформа, полезная нагрузка, малый космический аппарат, бортовой информационно-радиотехнический комплекс, конструктивная схема.

Разрабатываемый НПП ВНИИЭМ перспективный геостационарный гидрометеорологический аппарат «Электро-М» предназначался для:

- регулярного (до 24-х раз в сутки) получения в реальном времени телевизионных (ТВ) изображений земной поверхности и облачного покрова в пределах наблюдаемого диска Земли в видимом и инфракрасном ИК-диапазоне спектра;
- получения данных о температурных полях суши, океана и верхней границы облачного покрова, а также о ветре в экваториальном поясе;
- регулярного (до 24-х раз в сутки) получения данных о радиационном состоянии в магнитном поле околоземного пространства на высоте полёта КА;
- выполнения телекоммуникационных функций по распространению и обмену гидрометеорологическими и гелиогеофизическими данными и ретрансляции информации с платформы сбора данных (ПСД).

Функционально КА «Электро-М» можно разделить на два модуля [1]:

1. Полезная нагрузка (ПН) – Бортовой информационно-радиотехнический комплекс (БИРК) в составе: бортового многоспектрального сканирующего радиометра, радиационно-магнитометрической системы (РМС), бортового радиоконкомплекса (БРК).

2. Унифицированная малогабаритная платформа УМКП-800.

Основные характеристики КА «Электро-М» представлены в табл. 1.

Функциональная схема КА (рис. 1) пред-

ставляла собой сетевую структуру и состояла из двух вычислительных сетей, построенных на основе интерфейса RS-485. Одна сеть обслуживала служебные системы (кроме системы ориентации (СО)) и ПН КА, другая – приборы СО. Контроллером в первой сети являлся бортовой многофункциональный компьютер, а во второй – компьютер СО. При этом компьютер СО являлся монитором в сети бортового многофункционального компьютера, а бортовой многофункциональный компьютер – монитором в сети компьютера СО. В случае отказа бортового многофункционального компьютера его функции брал на себя компьютер СО и наоборот. Надёжность каждой вычислительной сети обеспечивалась резервированием информационной и управляющей магистрали.

Общий вид КА представлен на рис. 2.

Схема выведения КА «Электро-М»

В проекте была показана возможность выведения КА «Электро-М» с космодромов Байконур и Плесецк на ГСО и геосинхронную орбиту по различным схемам ракетой-носителем (РН) «Союз-ФГ», «Союз-2» этапа 1б с разгонным блоком (РБ) «Фрегат» и «Фрегат-СБ».

Рассмотрены следующие схемы выведения:

- выведение на РБ «Фрегат»;
- выведение на РБ «Фрегат» и ракетном двигателе твёрдого топлива (РДТТ) типа «Курьер»;
- выведение РН «Союз-2» (1б) и РБ «Фрегат-СБ».

Таблица 1

Основные характеристики и параметры КА «Электро-М»

Высота круговой орбиты	Около 36 800 км
Период обращения	Около 86 164 с
Тип орбиты	ГСО
Коррекция орбиты	Период, наклонение
Режим получения информации	Сеансный/непрерывный
Продолжительность сеанса бортового многоспектрального сканирующего радиометра	Около 13 мин
Частота сеансов бортового многоспектрального сканирующего радиометра	Каждые 30 мин
Ориентация	Трёхосная (23 С или 23 К)
Программные повороты	Вокруг каждой оси
Точность ориентации в сеансах бортового многоспектрального сканирующего радиометра	Не хуже 0,05 град.
Точность стабилизации	
В сеансах бортового многоспектрального сканирующего радиометра	Не хуже $5 \cdot 10^{-4}$ град./с
В остальное время	Не хуже 10^{-2} град./с
Точность определения положения центра масс КА	
На орбите (в сеансе аппаратуры спутниковой навигации (АСН) или командно-измерительной системы (КИС))	Не хуже 30 м
Точность определения положения осей КА	
В звёздной системе координат (в сеансе БОКЗ-М)	Не хуже 6 угл. с
Радиолиния ПН	7,5 ГГц / 1,7 ГГц
Максимальная скорость передачи информации	2,56 Мбит/с
Энергопитание	
Установленная мощность солнечных батарей (СБ)	1200 Вт
Площадь СБ	10 м ²
Среднесуточная электрическая мощность потребления бортовой аппаратуры (БА)	Не более 600 Вт
Среднее потребление служебного модуля	Не более 110 Вт
Среднее потребление ПН	Не более 490 Вт
Максимальное потребление	Не более 650 Вт
Напряжение питания БА	24 – 34 В
Общая шина	Минусовая
Исполнение	Негерметичное
Выведение КА	РН «Союз-2Ф»
Масса КА	Не более 850 кг
Масса платформы	410 – 460 кг
Масса ПН	Не более 340 кг
Автономность функционирования	Частота смены программ ПН
Срок службы	Не менее 10 лет

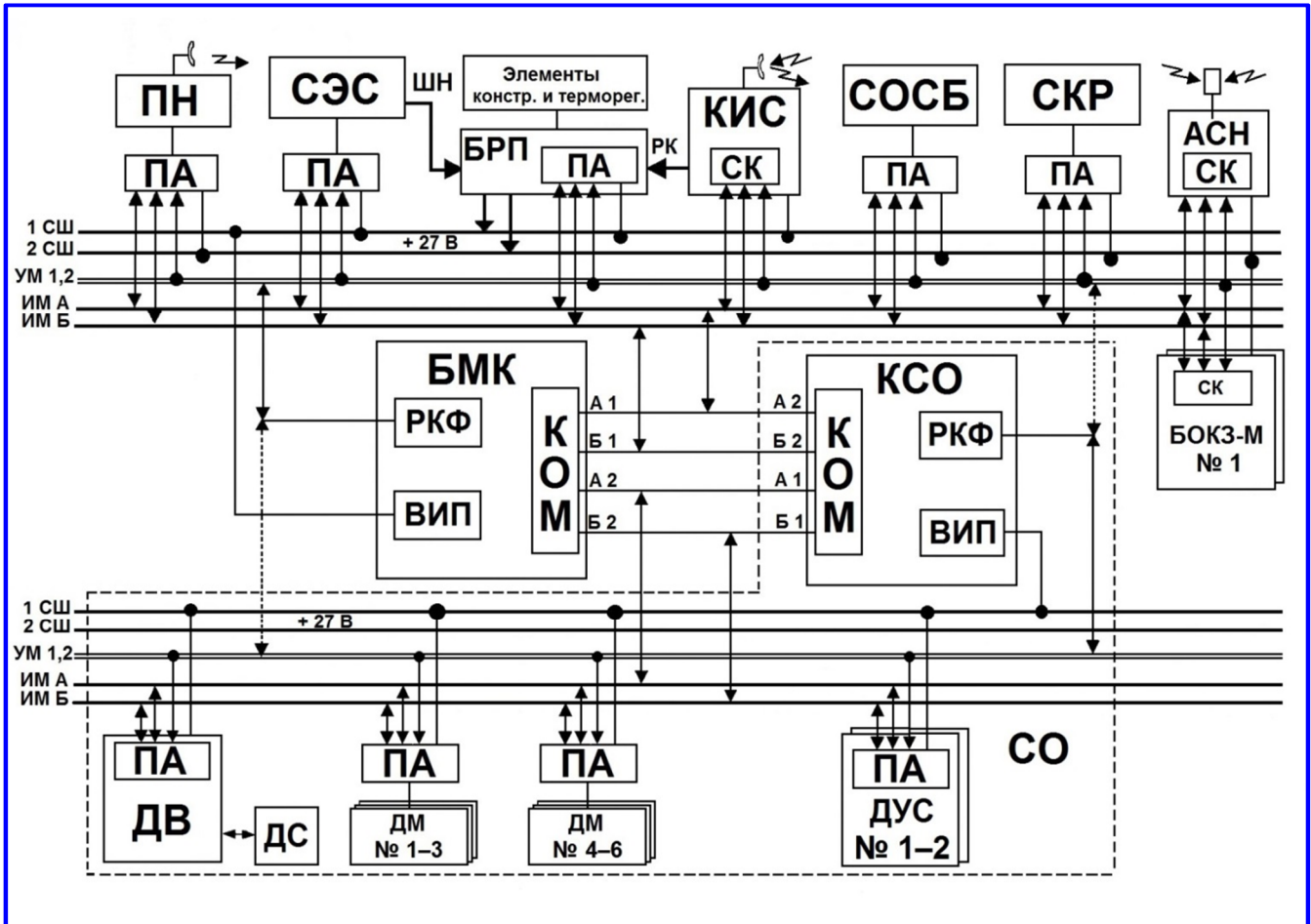


Рис. 1. Функциональная схема КА «Электро-М»

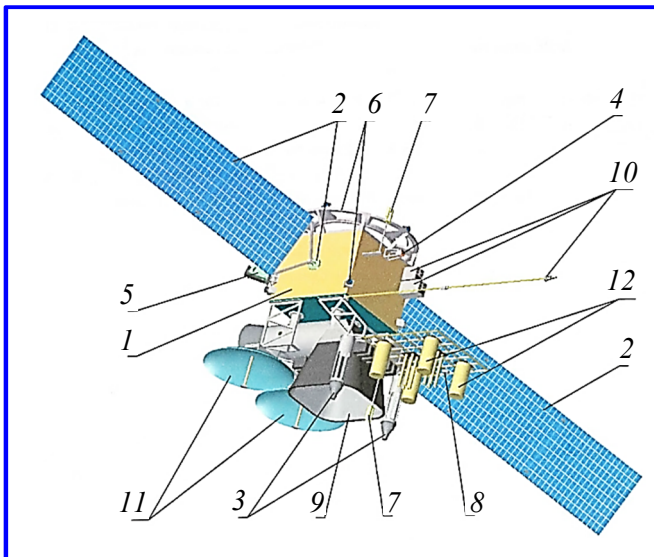


Рис. 2. КА «Электро-М»: 1 – блок служебной аппаратуры (УМКП-800); 2 – СБ СО; 3 – датчики высоты; 4 – датчики Солнца; 5 – звездные датчики; 6 – система двигателей коррекции и разгрузки; 7 – аппаратура КИС; 8 – АСН. ПН; 9 – сканирующий ТВ-радиометр; 10 – РМС. БРК; 11 – остронаправленные антенны; 12 – антенное полотно с направленными антеннами

Схема выведения КА «Союз-2» (16) и РБ «Фрегат-СБ» показана на рис. 3.

РН выводит головной блок (ГБ) на незамкнутую орбиту с высотой и абсолютной скоростью в точке отделения от РН – 220 км и 7242 м/с, соответственно, и с наклоном 51,4 град., обеспечиваемыми за счёт бокового манёвра третьей ступени РН. При выведении на указанную незамкнутую орбиту третья ступень РН падает в акваторию Тихого океана восточнее Японии.

Переход с незамкнутой на опорную орбиту КА осуществляется первым включением двигательной установки (ДУ) РБ.

Далее осуществляется прямой переход на ГСО (когда радиус апогея геопереходной орбиты (ГПО) совпадает с радиусом ГСО и длительность полёта по ГПО не превышает 5,5 ч).

Схема выведения на ГСО с использованием гравитационного манёвра у Луны и электроракетной двигательной установки (ЭРДУ) КА позволяет существенно увеличить массу ПН на ГСО.

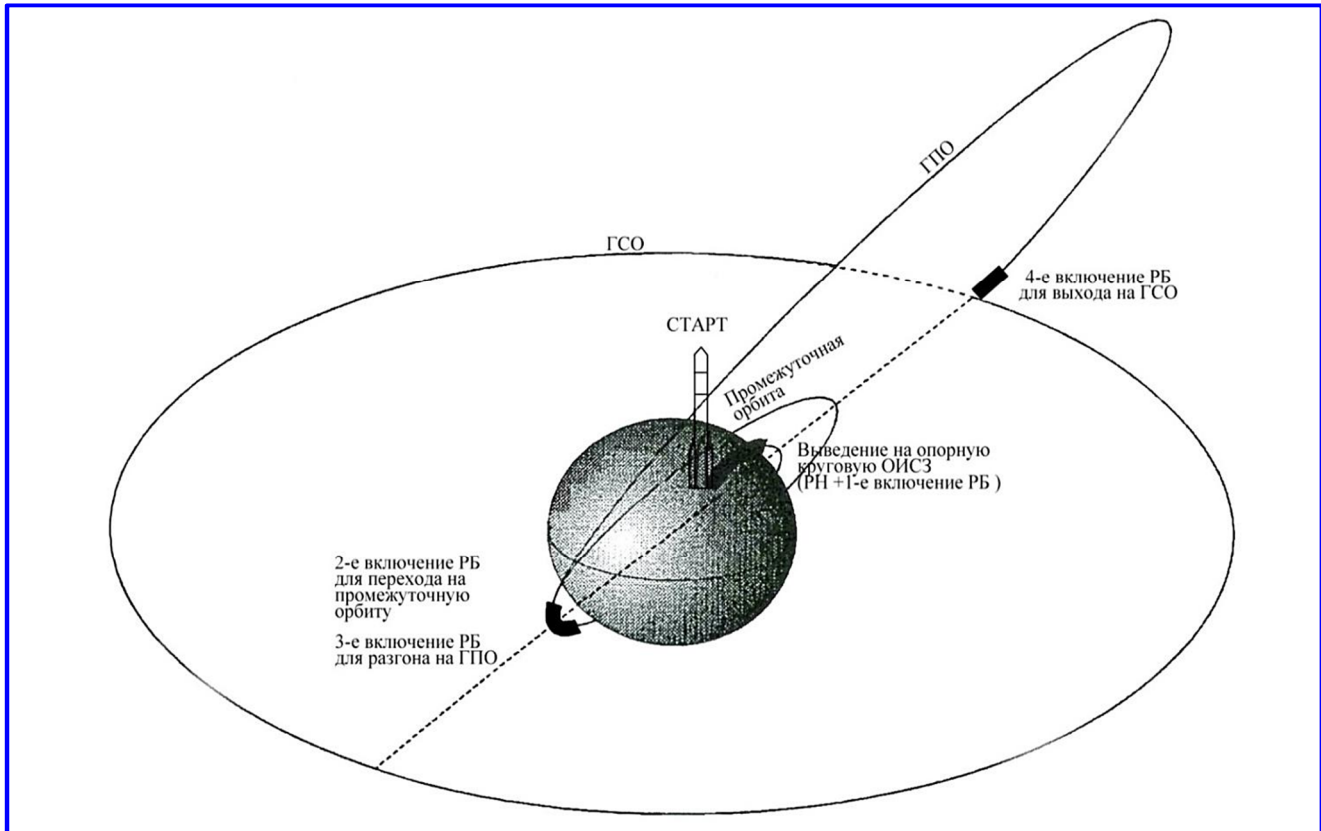


Рис. 3. Схема выведения КА «Электро-М»

Выведение КА «Электро-М» на геосинхронную орбиту

В таком случае три ступени РН «Союз-ФГ» выводят ГБ на незамкнутую орбиту. Первым включением РБ «Фрегат» ГБ переводится на опорную околокруговую орбиту высотой ~200 км. Вторым включением РБ «Фрегат» ГБ переводится на эллиптическую орбиту с высотой апогея, равной геосинхронной орбите (ГСХО). В апогее эллиптической орбиты третьим включением РБ «Фрегат» КА выходит на ГСХО с наклоном 51°. Суммарное время выведения КА на ГСХО – 5,5 ч.

Схема выведения на РБ «Фрегат-СБ» аналогична схеме выведения на ГСО.

Баллистика КА «Электро-М»

Результаты проведения исследований позволили выбрать начальные значения элементов ГСО и наклонно-суточных орбит (НСО). ГСО рассмотрены

в двух вариантах: корректируемые по долготе и широте в диапазонах $\pm 0,1^\circ$ и безкорректионный вариант по наклонению орбиты.

Показана целесообразность сохранения для КА «Электро-М» реализованной на КА «Электро» № 1 схемы выведения первоначально в промежуточную экваториальную точку, отстоящую от рабочей примерно на 16° в западном направлении с последующим переводом в окрестность точки 76° в. д. [2].

Создание надёжной методики стабилизации с точностью $\pm 0,1^\circ$ (по сравнению с $\pm 0,5^\circ$ для КА «Электро» № 1) требует телеметрирования не только факта, но и моментов времени действия разгрузочных двигателей, а также повышения точности задания продолжительности работы двигателей с одной минуты до нескольких секунд.

Затраты на коррекцию приведены в табл. 2.

Таблица 2

Затраты на коррекцию

Наименование этапов	Начальная коррекция			Коррекция стабилизации	
	Период	Эксцентриситет	Наклонение	Период	Наклонение
Параметр	~1000 с	~0,001	7'	90 с	9,3°
Величина	~11,6 м/с	1,7 м/с	7,3 м/с	~10 м/с	~580 м/с
Изменение характеристической скорости					

В связи с тем, что территория Российской Федерации на ГСО просматривается только на 23 % с трёхкратными искажениями на краю снимка, для улучшения обзорных характеристик наблюдения северных районов Евразии рассмотрен вариант развёртывания гидрометеорологической системы НСО.

Предусмотрено выведение на одной РН двух КА в одну плоскость с дальнейшим их разведением по географической долготе восходящих узлов 36° в. д. и 106° в. д. и наклоном 30° . Наклонение 30° позволяет передавать информацию на пункт приёма информации (ППИ) в Ростове-на-Дону и Владивостоке в режиме непосредственной передачи (НП). Разведение КА по долготе на 70° позволяет проводить непрерывное наблюдение Индийского океана в полосе широт $+25^\circ$ и территории Европы и РФ на 120° в. д. не менее 14 – 16 ч в сутки.

В течение 10 лет активного существования КА сохраняется диапазон угла между бинормалью орбиты и направлением на Солнце для ГСО от 62° до 118° , для НСО – от 48° до 130° .

Полное затмение Солнца Луной на НСО и ГСО случается редко, а неполное – от одного до трёх раз в год. Для некорректируемой по наклону ГСО длительности затмений КА Луной более 50% в течение 10 лет.

Для съёмки предполагается использование ТВ-аппаратуры с кадровой развёрткой, обеспечивающей в подспутниковой точке просмотр территории, размером 4000×4000 км с допустимой высотой Солнца над подстилающей поверхностью более 10° .

Покадровая детализация зон обзора ТВ-аппаратурой и сезонная поширотная длительность работы её в часах в течение суток показаны на рис. 4.

Назначение ПН КА «Электро-М»

Основные принципы комплектации КА «Электро-М» исходили из необходимости выполнения требований к видам получаемой информации и областей применения этой информации (задач оперативной метеорологии, мониторинга климата и др.).

Важнейшими положительными особенностями данных, получаемых с геостационарного КА, являлись высокая частота наблюдений всего видимого диска Земли (до 48-ми и более раз в сутки), непрерывное измерение характеристик околоземного пространства, осуществление телекоммуникационных функций и т. п.

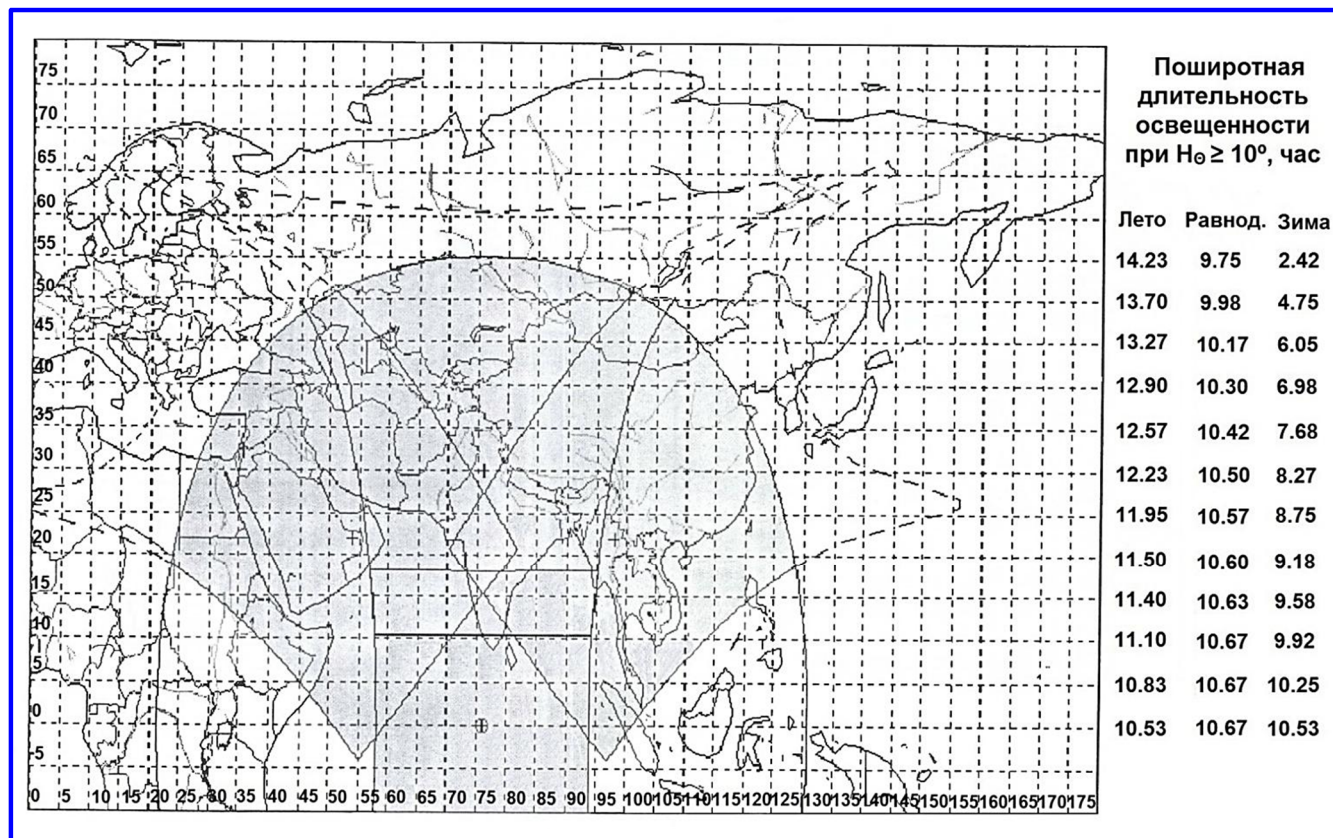


Рис. 4. Зона обзора КА с покадровой детализацией для ГСО

Бортовой многоспектральный сканирующий радиометр предназначался для получения изображений облачного покрова снежных и ледовых полей в видимом диапазоне спектра на освещённой стороне земного шара и в ИК-диапазоне спектра как на освещённой, так и на теневой сторонах земного шара, а также для определения радиационной температуры поверхности океана и верхней границы облаков.

Принятая концепция построения радиометра – сканирование в пространстве предметов, единое сканирующее устройство, единый оптический тракт для всех спектральных каналов и радиационное охлаждение приёмников излучения ИК-диапазона спектра – позволяет оптимизировать процесс получения высококачественных (позлементно совмещённых) изображений, создаёт условия для проведения калибровки каналов и обеспечивает стабильность параметров в течение длительной безоператорной работы аппаратуры.

Основные технические характеристики аппаратуры бортового многоспектрального сканирующего радиометра представлены в табл. 3.

Бортовой многоспектральный сканирующий радиометр представляет собой многоспектральный сканирующий ТВ-радиометр с оптико-механическим разложением изображения и цифровой обработкой сигналов. Модульная конфигурация бортового многоспектрального сканирующего радиометра позволяет скомпоновать его оптимальным образом и представить в виде отдельных узлов: объектив, модуль сканирующего зеркала, модуль приёмников видимого диапазона спектра, модуль приёмников ИК-диапазона спектра, блок радиационного холодильника (РХ).

РМС

Глобальный мониторинг гелиогеографических параметров из космоса является основой для реализации концепции «космическая погода», включая решение задач гелиографического обеспечения народного хозяйства.

К основным задачам глобального географического мониторинга относятся:

- контроль и прогноз вспышечной активности Солнца;
- контроль и прогноз радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве (ОКП) и состояния геомагнитного поля;
- прогноз условий распространения радиоволн;
- диагностика и контроль состояния естественных и модифицированных магнитосферы, ионосферы и верхней атмосферы.

Исходя из указанных задач, РМС-М предназначалась для непрерывного измерения параметров космической гелиогеографической информации: потоков и спектров электронов и протонов в широком энергетическом диапазоне, электромагнитного излучения Солнца в рентгеновском и ультрафиолетовом (УФ) диапазоне, вариаций магнитного поля и интегральной энергетической освещённости прямой солнечной радиации (величины солнечной постоянной) в ОКП, а также для сбора и формирования единого цифрового массива измеренной информации.

Число измерительных входных каналов составляло не менее 30. РМС-М включала в себя 10 приборов, состав и технические характеристики приведены в табл. 4.

Таблица 3

Основные технические характеристики аппаратуры бортового многоспектрального сканирующего радиометра

Спектральный диапазон (мкм), каналы	0,5 – 0,8, 2 канала	3,8 – 4	5,7 – 7,0	10,3 – 11,3	11,5 – 12,5
Разрешение, км · угл. с	1; 5,8	1; 5,8	4; 22,5	4; 22,5	4; 22,5
Угловой размер кадра	18° × 18°				
Число детекторов	8 × 2	8	2	2	2
Диапазон измеряемых температур	213 – 313 К				
Радиометрическая погрешность	1 %	1,5 К	1,5 К	0,5 К	0,5 К
Калибровка каналов	Солнце	Космос, имитатор абсолютного чёрного тела			
Охлаждение ИК-приёмников	Радиационное				
Время съёмки кадра	~13 мин				
Ресурс работы	10 лет				
Масса, кг	≤ 200 кг				
Потребление	≤ 300 Вт				

Таблица 4

Состав и характеристики РМС-М

Наименование прибора	Измеряемая величина	Энергетический диапазон	Угол зрения, град.	Масса, кг	Потребление, Вт	Габариты, мм
Скиф-6, спектрометр геоактивных корпускулярных излучений	Дифференциальные спектры низкоэнергетических частиц: электроны, протоны	0,05 – 50 кэВ; 0,05 – 50 кэВ	10 × 10; 10 × 10; 10 × 10; 20 × 20	5	5	354 × 238 × 193
КГИ-ГО-ГРАД, спектрометр электронов и протонов средних энергий	Суммарная плотность потоков и интегрального спектра электронов, протонов	0,15 ... 3,2 Мэв; 5 ... 40 Мэв	2π · стр.	5	3	330 × 195 × 170
КГИ-ГО-ДИСК, детектор солнечных космических лучей	Плотность потоков протонов	≥ 25 Мэв; ≥ 90 Мэв	2π	4,5	3,8	330 × 180 × 170
КГИ-ГО-ГАЛИС, детектор галактического космического излучения	Плотность потоков протонов	≥ 600 Мэв	–	4	3	470 × 190 × 90
КГИ-ГО-ДИР, измеритель потока рентгеновского излучения	Плотность потоков рентгеновского излучения Солнца	3 ... 10 кэВ	50 по осям Y и Z	2,5	2,5	170 × 145 × 95
ГКИ-ГО-ВУСС, УФ-спектрометр Солнца	Интенсивность УФ-спектра Солнца	λ = 121,6 нм	50 по осям Y и Z	4,5	4	160 × 180 × 230
КГИ-ГО-ФМ, магнитометр, 2 блока	Магнитная индукция	До 300 нТл	–	1; 4	5	160 × 80 × 80; 180 × 150 × 150
ИСП-2М, измеритель солнечной постоянной	Интегральная энергетическая освещённость	700 ... 1500 Вт/м ²	–	11	11	~ 15 л

Общая масса РМС-М – 41,5 кг, энергопотребление ≤ 37,5 Вт, а в режиме поиска Солнца – ≤ 44 Вт.

Бортовой радиометрический комплекс (БРТК) предназначался совместно с бортовыми датчиками для решения комплекса задач гидрометеорологического назначения и задач поиска и спасания терпящих бедствие судов и самолётов.

Выполнение требований к БРТК для КА «Электро-М» привело к необходимости решать ряд новых задач, а именно:

- обеспечить полную обработку (регенерацию) высокоскоростных (15 Мбит/с) цифровых сигналов;
- обеспечить эффективную защиту от сканирующей помехи в диапазоне 400 МГц;
- обеспечить непрерывную работу БРТК в открытом космосе в период времени не менее 10 лет.

БРТК должен был состоять из трёх приёмо-передающих стволов, работающих в диапазоне частот: 7,5/8,2 ГГц – I ствол; 1,7/0,47 ГГц – II ствол; 1,54/0,4 ГГц – III ствол. Между стволами БРТК существуют перекрёстные связи.

Предполагалось, что БРТК будет работать в режиме ретрансляции по всем принимаемым

каналам, за исключением канала I.

Высокая пропускная способность первого ствола (от 2,56 до 5,36 Мбит/с) позволяла использовать передающую часть для передачи на наземные станции сигналов от бортового ТВ-комплекса РМС. Выбор источника сигнала осуществляется как по командам от аппаратуры управления радиолокационной аппаратурой, так и автоматически по факту наличия моделирующего сигнала.

Начиная с 1990-х гг. прошлого столетия на геостационарных гидрометеорологических КА США устанавливались ретрансляторы аварийных радиобуев международной системы поиска и спасания КОСПАС-САРСАТ. За Россией была закреплена зона наблюдения с точкой «стояния» 76° / 95° в. д., поэтому установка ретранслятора системы КОСПАС-САРСАТ на КА «Электро-М» позволяла при малых энергозатратах решить задачу создания российского геостационарного сегмента КОСПАС-САРСАТ.

Предполагалось, что ретранслятором поиска и спасания будут пользоваться наземные станции приёма и обработки не только России, но и целого ряда стран, находящихся в зоне видимости КА «Электро-М».

В предлагаемом БРТК применён современный принцип уплотнения радиоканалов, устранено влияние наземных источников помех на ретранслятор сигналов от ПСД и, с целью уменьшения веса и потребления, использована не только отечественная, но и западная элементная база.

Масса БРТК составляла 60 кг, энергопотребление – 150 Вт.

Антенно-фидерная система

В состав антенно-фидерной системы (АФУ) БРТК входят:

- приёмная направленная антенна диапазона 401/407 МГц;
- приёмная перенацеливаемая параболическая антенна с высоким коэффициентом усиления диапазона 8,2 ГГц;
- передающая направленная антенна диапазона 1544 МГц;
- передающая направленная антенна диапазона 1,7 ГГц;
- передающая перенацеливаемая параболическая антенна с высоким коэффициентом усиления диапазона 7,5 ГГц.

Режимы передачи информации

КА должен был обеспечивать:

- периодичность обновления глобальной информации во всём диапазоне условий наблюдения – 0,5 ч;
- учащённые снимки фрагментов облачного покрова и земной поверхности, получаемые сканированием земного диска с временным интервалом 10 – 15 мин;
- оперативность передачи информации на ППИ – круглосуточно с интервалом 0,5 ч;
- непрерывную работу радиотехнического комплекса;
- непрерывную передачу гелиогеофизической информации на ППИ.

Общая структурная схема БИРК приведена на рис. 5.

Структура и массо-энергетическая сводка БИРК представлена в табл. 5.

Унифицированная малогабаритная космическая платформа

КА «Электро-М» создавался на базе разработанной в НПП ВНИИЭМ УМКП-800, позволяющей размещать, помимо служебной аппаратуры, и запланированную аппаратуру ПН, обеспечивая при этом требуемые условия их функционирования.

Функционально УМКП-800 состояла из: конструкции (включая кабельную сеть, антенно-фидерное устройство (АФУ), систему терморегулирования и систему отделения); бортовой управляющей системы; системы ориентации и стабилизации; системы коррекции и разгрузки (СКР); системы энергоснабжения (СЭС); СО СБ; блока распределения питания; КИС; АСН.

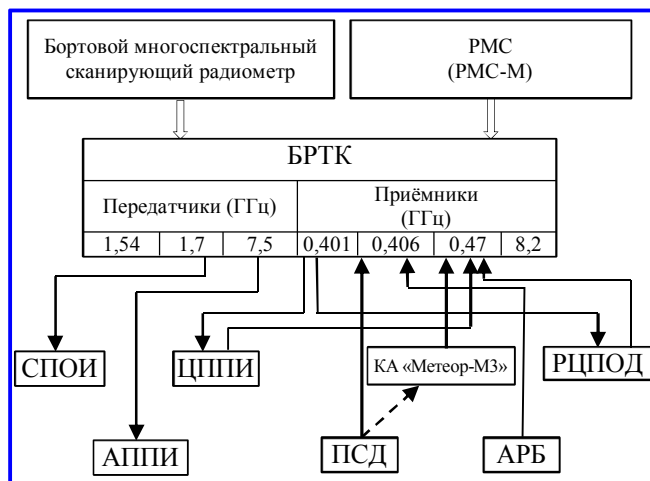


Рис. 5. Структурная схема БИРК КА «Электро-М»: СПОИ – станция приёма общеобъектовой информации; АППИ – автономный ППИ; ЦППИ – центр приёма и передачи информации; АРБ – аварийный радиобуй; РЦПОД – региональный центр приёма и обработки данных

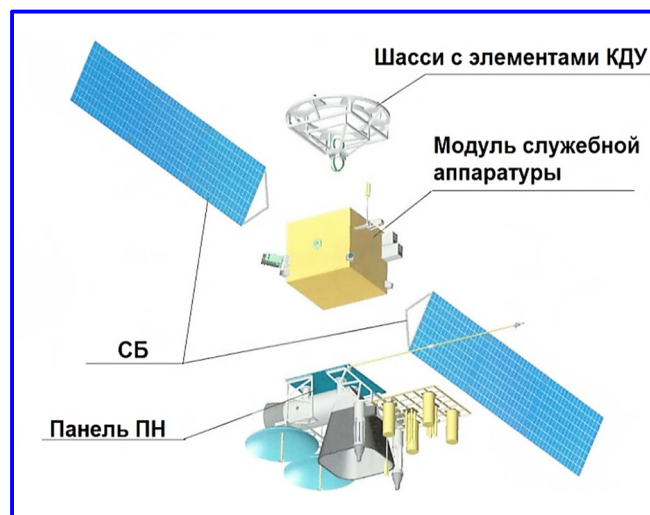


Рис. 6. Конструктивная схема КА «Электро-М»

Таблица 5

Структура и массо-энергетическая сводка БИРК

Состав	Вес, кг	Потр, Вт
Бортовой многоспектральный радиометр (1 комплект)	190	250
БРТК (1 комплект)*	60	160
Гелиогеофизический комплект (РМС-М)	41,5	38–40
Итого	~ 295	~ 450

*Вес и потребление БРТК без рамы, АФУ и привода АФУ.

Конструктивная схема КА «Электро-М», космической платформы и их конфигурация представлены на рис. 6 и выбраны из расчёта максимального соответствия многочисленным и зачастую противоречивым требованиям, предъявляемым к КА.

Конструкция

С учётом предъявленных требований наиболее оптимальной была признана конструкция КА, выполненная, как уже отмечалось, на базе УМКП-800, состоящей из 4-х панелей, соединённых в четырёхгранную призму и 2-х торцевых панелей. На внутренних сторонах боковых панелей размещались приборы из состава служебной аппаратуры и БИРК. Одна из торцевых панелей являлась платформой для ПН, а вторая – опорной для размещения элементов системы отделения и обеспечения живучести всей конструкции.

Все панели платформы должны изготавливаться из трёхслойного листового углепластика с сотовым наполнителем из алюминиевой фольги. Предварительные прочностные расчёты показали, что толщина панели будет составлять 20 – 22 мм при толщине углепластикового листа 0,8 – 1 мм.

Достоинством компоновочной схемы КА «Электро-М» являлось симметричное построение аппарата и, как следствие, минимальные внешние возмущающие моменты, что, в свою очередь, позволяет минимизировать запас топлива для СКР. При выбранном направлении вращения СБ вокруг оси Y их площадь минимальна по сравнению с другими направлениями при однокоординатном приводе. Поскольку момент инерции каждой панели СБ вокруг оси Y не превышает $5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, используется лёгкий привод. Чтобы исключить попадание солнечного излучения в РХ, необходимо два раза в сутки проводить программные повороты КА вокруг оси Z на 180° . Благодаря этому платформа УМКП-800 (по направлению X) со стороны РХ остаётся постоянно холодной, что позволяет использовать её в качестве радиатора для охлаждения аппаратуры.

КА «Электро-М1»

Геостационарный КА «Электро-М1» проектировался в первую очередь как перспективный геостационарный гидрометеорологический комплекс.

КА «Электро-М1», как и КА «Электро-М», строится на базе УМКП-800 и информационно-радиотехнического комплекса первого этапа (БИРК-1).

Общий вид КА «Электро-М1» приведён на рис. 7.

В составе ПН отсутствует наибольший по массе (200 кг) и энергопотреблению (250 Вт) бортовой многоспектральный радиометр, что позволяет значительно упростить конструктивную компоновку, уменьшить массу СЭС и коррекции орбиты, отказаться от разворота КА и перенацеливания антенны, исключить из состава конструкции ряд узлов. КА «Электро-М1» в целом будет иметь массу не более 430 кг, что обеспечивает его выведение на ГСО связкой «Союз-ФГ» и «Фрегат-М» с полигона Плесецк.

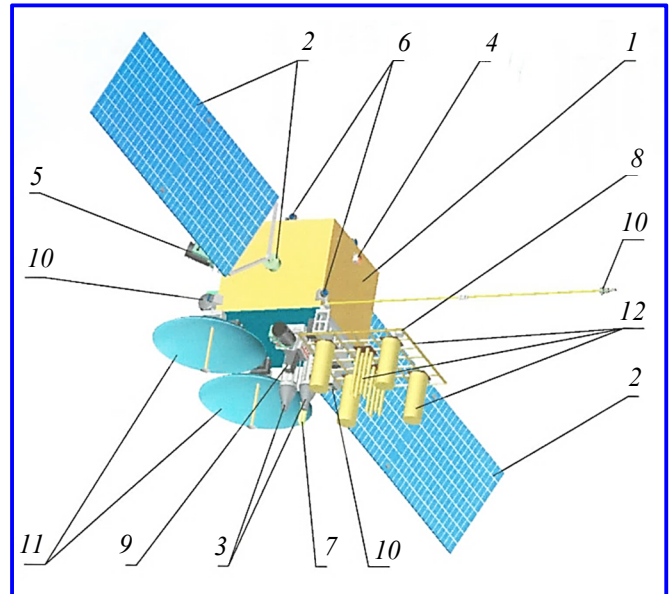


Рис. 7. Общий вид КА «Электро-М1»: 1 – блок служебной аппаратуры (УМКП-800); 2 – СО СБ; 3 – датчики вертикали; 4 – датчики Солнца; 5 – звёздные датчики; 6 – СКР; 7 – аппаратура КИС; 8 – АСН. ПН; 9 – метеорологическая видеокамера; 10 – РМС. БРК; 11 – остронаправленные антенны; 12 – антенное полотно с направленными антеннами

Состав и основные характеристики космической платформы (табл. 6) практически не отличаются от состава космической платформы КА «Электро-М».

Таблица 6

Состав и характеристики космической платформы КА «Электро-М1»

Параметр	Значение
Коррекция орбиты	Период, наклонение
Ориентация	Трёхосная (23 К или 23 С)
Программные повороты	Вокруг каждой оси
Точность ориентации	Не хуже $0,05^\circ$
Точность стабилизации	Не хуже $5 \cdot 10^{-4}$ град./с
Точность определения положения центра масс КА на орбите	Не хуже 30 м
Точность определения положения осей КА в звёздной системе координат	Не хуже 6"
Площадь СБ	Не более 10 м^2
Установленная мощность СБ	Не более 1200 Вт
Максимальное потребление	Не более 650 Вт
Среднесуточное энергопотребление платформы	До 110 Вт
Общая шина	Минусовая
Исполнение	Негерметичное
Масса платформы	До 330 кг
Срок активного существования	10 лет

На КА «Электро-М1» в качестве ПН предлагалось установить метеорологическую видеосистему, РМС-М (без измерителя солнечной постоянной) и БРТК.

Метеорологическая видеосистема предназначалась для слежения с геостационарного искусственного спутника Земли за облачным покровом и его динамикой над определёнными участками земной поверхности площадью до 16 – 20 млн км², лежащими в круговом секторе радиусом 6 тыс. км с центром в подспутниковой точке, а также определения вектора ветра в экваториальной зоне. Основные характеристики метеорологической видеосистемы представлены в табл. 7.

Осуществляется цифровое суммирование 25-ти одиночных изображений, получаемых с выдержкой 0,003 с.

С целью получения максимальных контрастов между облаками и открытыми участками земной поверхности выбрана достаточно узкая рабочая спектральная зона с эффективной длиной волн, равной 575 нм, и шириной на уровне 0,5, чувствительности ± 25 нм. Четыре самостоятельные камеры размещались в общем корпусе.

Оптические оси смежных камер устанавливались под углом 3° друг к другу. Строки разных ПЗС-матриц взаимно параллельны. При этом на Земле четыре снимка, незначительно перекрываясь между собой, должны покрыть при съёмке в надире площадь 4000 × 4000 км.

Метеорологическая видеосистема устанавливалась вне гермоотсека на поворотной платформе, обеспечивающей возможность съёмки облачного покрова над любым участком земной поверхности, в пределах ограничиваемого горизонтом кругового сектора, видимого с геостационарного КА.

Указанные четыре камеры могли работать синхронно или автономно друг от друга. Тем самым создавалось определённое резервирование – при выходе из строя даже трёх камер одна оставшаяся могла менее эффективно, но всё-таки выполнять задачи, поставленные перед метеорологической видеосистемой.

Из состава РМС-М исключался измеритель солнечной постоянной как прибор, не решающий оперативные задачи гидрометеорологического и геофизического обеспечения.

Состав и характеристики БРТК оставались без изменений, соответственно, все задачи службы спасения КОСПАС-САРСАТ решались полностью.

В табл. 8 приведена весовая сводка аппаратуры ПН.

Заключение

На основе всестороннего анализа тактико-технического задания предложены основные проектные параметры и характеристики геостационарного КА

Таблица 7

Основные характеристики метеорологической видеосистемы

Суммарное поле зрения четырёх камер	6° × 6°
Угловое поле зрения четырёх камер	3,2° × 3,2°
Захват местности при съёмке в надир	Не менее 4000×4000 км
Разрешение в надире	1 км
Относительная ошибка измерения яркости объектов съёмки	Не хуже 3 %
Спектральный диапазон	0,55 – 0,9 мкм
Диаметры входных зрачков	40 мм
ПЗС-матрица фирмы «Кодак»	КА I – 4000М
Время считывания кадра	1/15 с
Время экспонирования одиночного кадра (выдержка)	0,003 с
Масса	Не более 6 кг
Потребление	Не более 10 Вт

Таблица 8

Весовая сводка аппаратуры ПН

Наименование	Шифр	Масса, кг
Метеорологическая видеокамера	МВК	6
Звёздный датчик	БОКЗ	4
Привод	–	4
РМС	РМС-М	26
БРТК	БРТК	60
Итого ПН		100

«Электро-М», предназначенного для решения задач гидрометеорологического и гелиогеофизического обеспечения.

Устанавливаемая на КА аппаратура ПН полностью обеспечивает получение всех необходимых видов информации. Показано также, что создание геостационарного КА возможно на базе унифицированной космической платформы УМКП-800, состоящей из высокоточной трёхосной системы ориентации и стабилизации, бортового управляющего комплекса, выполненного на основе двух вычислительных сетей, а также необходимых служебных систем и несущих конструкций. При этом обеспечивается:

- точность ориентации не хуже $5 \cdot 10^{-4}$ град./с;
- точность стабилизации не хуже 10^{-2} град./с;
- точность определения положения осей КА в звездной системе координат не хуже 6 угл. с;
- срок службы не менее 10 лет.

Кроме того, космическая платформа УМКП-800 позволяет разместить запланированную аппаратуру ПН и обеспечить ей требуемые условия функционирования.

Масса представленных КА находится в пределах от 450 кг («Электро-М1») до 850 кг («Электро-М») и

определяется в основном массой и потребляемой мощностью аппаратуры ПН, и требуемыми в тактико-техническом задании характеристиками КА.

Запуск КА на ГСО может обеспечить в настоящее время РН «Союз» с РБ «Фрегат».

КА «Электро-М» и «Электро-М1» создавались с учётом разрабатываемого в НПП ВНИИЭМ семейства малых космических аппаратов и кооперации с другими партнёрами, имеющими большой практический опыт создания и длительной эксплуатации в открытом космосе различных приборов, устройств и конструкций.

Литература

1. Электро (космический аппарат). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: /http://ru.wikipedia.org/wiki.
2. Дубровинский Я. В., Журавлёв К. В., Шершнева Н. И. Баллистическое обеспечение, лётных испытаний КА «Электро № 1». Опыт высокоточной стабилизации центра масс / Геостационарный метеорологический космический аппарат «Электро» // Труды ВНИИЭМ. – М.: НПП ВНИИЭМ, 1998. – Т. 98. – С. 104 – 115.

Поступила в редакцию 12.02.2018

Леонид Алексеевич Макриденко, доктор технических наук, генеральный директор, т. (495) 365-56-10.

Сергей Николаевич Волков, доктор технических наук, 1-й заместитель генерального директора, т. (495) 366-42-56.

Александр Викторович Горбунов, кандидат технических наук, заместитель генерального директора, т. (495) 623-41-81.

Владимир Павлович Ходненко, доктор технических наук, главный научный сотрудник, т. (495) 624-94-98.

E-mail: vniiem@orc.ru.

(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).

«ELECTRO-M» AND «ELECTRO-M1» SPACECRAFTS

**L. A. Makridenko, S. N. Volkov,
A. V. Gorbunov, V. P. Khodnenko**

The article presents the purpose and the main project parameters and characteristics of the «Electro-M» geostationary spacecraft (SC) designed for solving the tasks of hydrometeorological and heliogeophysical support. It is shown that the «Electro-M» SC can be developed based on the unified small space platform UMPK-800. The SC functional diagram, the scenario of the «Electro-M» SC injection into geostationary (GEO) and geosynchronous orbits and expenditures of the characteristic velocity for correction are presented in the article. The purpose and the main characteristics of the «Electro-M» SC payload as a part of the on-board radio information system are given. The article comprises the SC construction block diagram. The Electro-M1 SC has been developed as the first stage of the promising geostationary hydrometeorological system based on the UMPK-800. The «Electro-M1» SC general view, as well as the components and technical characteristics of the SC space platform are presented. The «Electro-M» and «Electro-M1» spacecrafts have been created considering the developed by VNIEM family of small SC and collaboration with the related organizations having vast practical experience in development and continuous operation of the various devices facilities and constructions in the outer space.

Key words: geostationary spacecraft, unified small space platform, payload, small spacecraft, on-board radio information system, construction diagram.

References

1. Electro (spacecraft). [Electronic resource]. – Available at: /http://ru.wikipedia.org/wiki.
2. Dubrovinskii Ia. V., Zhuravlev K. V., Shershneva N. I. Ballistic support of the Electro No.1 SC flight tests. Experience in high-accuracy center-of-mass stabilization / Electro geostationary meteorological spacecraft // VNIEM Proceedings. – М.: NPP VNIEM, 1998. – V. 98. – Pp. 104 – 115.

Leonid Alekseevich Makridenko, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Director General, tel.: (495) 365-56-10.

Sergei Nikolaevich Volkov, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), First Deputy Director General, tel.: (495) 366-42-56.

Aleksandr Viktorovich Gorbunov, Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Deputy Director General, tel.: (495) 623-41-81.

Vladimir Pavlovich Khodnenko, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Chief Researcher,

tel.: (495) 624-94-98, e-mail: vniiem@orc.ru.

(JC «VNIEM Corporation»).