

УДК 629.78

Проектный облик перспективного малого космического аппарата с маршевой электроракетной двигательной установкой

Власенков Е.В.^{1*}, Комбаев Т.Ш.^{1*}, Крайнов А.М.^{2}, Черников П.С.^{1*},**

Шаханов А.Е.^{2*}**

¹ *Научно-Производственное Объединение им. С. А. Лавочкина Калужский филиал, ул. Октябрьская, 17, г. Калуга, 248000, Россия*

² *Научно-Производственное Объединение им. С. А. Лавочкина, ул. Ленинградская, 24, г. Химки, Московская область, 141400, Россия*

* *e-mail: pro-lavochkina@yandex.ru*

** *e-mail: krainov@laspace.ru*

*** *e-mail: shakhanov@laspace.ru*

Аннотация

В данной работе определен проектный облик МКА с ЭРДУ, оценены параметры служебных систем, предложен возможный состав научной аппаратуры для МКА, а так же выявлены первостепенные проблемы, с которыми столкнутся разработчики МКА. Проработка МКА проведена с учётом попутного выведения, в качестве конечной цели перелёта с ЭРДУ выбрана Луна. На аппарате предполагается провести отработку ряда новых решений и при этом обеспечить выполнение актуальной научной задачи.

Ключевые слова: малый космический аппарат, электроракетная двигательная установка, проектный облик, исследования Луны, состав бортовой аппаратуры

1. Постановка задачи и обзор аналогов

В условиях быстрого развития микроэлектроники сфера задач решаемых малыми космическими аппаратами растёт с каждым днём. В настоящее время малые космические аппараты (МКА) решают различные научные и прикладные задачи, используются они и в качестве межпланетных научных космических аппаратов (КА) – малая масса позволяет вывести их на высокоэнергетические орбиты и использовать в качестве маршевых

двигательных установок двигателя малой тяги (электроракетные двигательные установки (ЭРДУ)).

С самого начала космической эры использование маршевых ЭРДУ на межпланетных КА широко исследовалось. Множество теоретических работ посвящено баллистическим исследованиям доказывающим эффективность ЭРДУ в сравнении с двигательными установками других типов при решении определённого круга задач. В современной космонавтике ЭРДУ нашли широкое применение в системах коррекции ориентации КА, преимущественно они используются на КА большой массы с мощной системой электроснабжения. Лидером по применению ЭРДУ на КА в нашей стране является ОАО «ИСС им. М.Ф. Решетнёва». В настоящее время актуальность создания малой платформы с маршевой ЭРДУ приобретает всё большую значимость, поскольку современные научные аппараты создаются для решения широкого круга задач [1]. Данную платформу можно использовать не только в качестве базового модуля межпланетных МКА, но и для околоземных МКА, назначение которых предполагает работу на различных орбитах. В мире существовало несколько КА использующих в качестве маршевого двигателя ЭРДУ (рисунок 1-4), большинство из них попадает по классификации в раздел малых аппаратов, на многих отработывались новые решения и технологии.

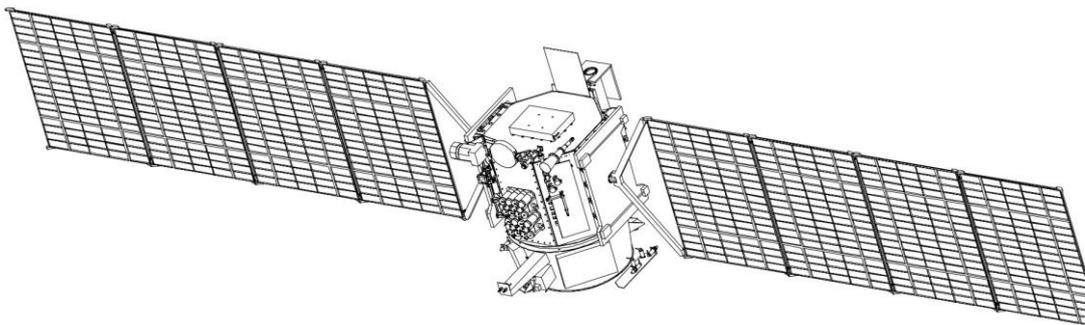


Рисунок 1 - КА Deep Space-1 ($m = 374$ кг, $P = 2.5$ кВт, Запуск – 1998 г., США)

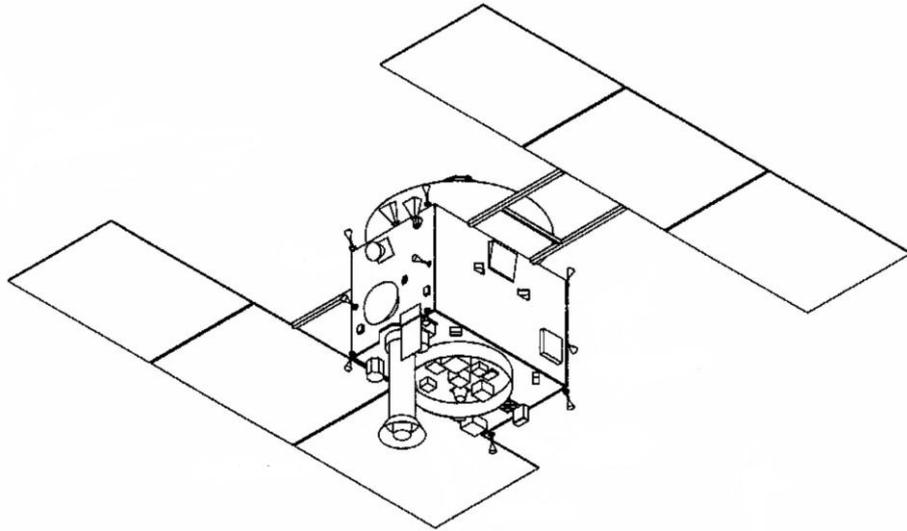


Рисунок 2 - КА Hayabusa ($m = 510$ кг, $P = 2.6$ кВт, Запуск – 2003 г., Япония)

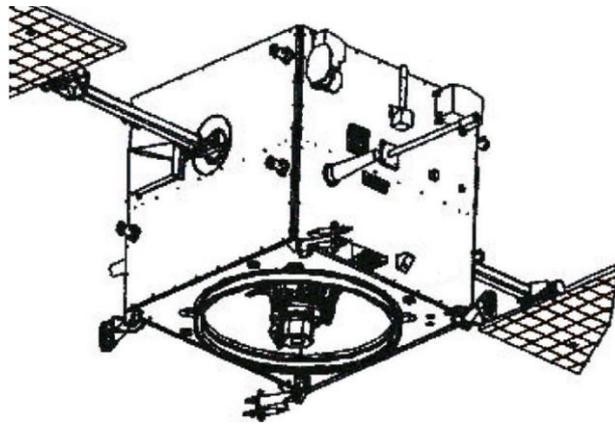


Рисунок 3 - КА Smart-1 ($m = 367$ кг, $P = 1.9$ кВт, Запуск – 2003 г., Европа)

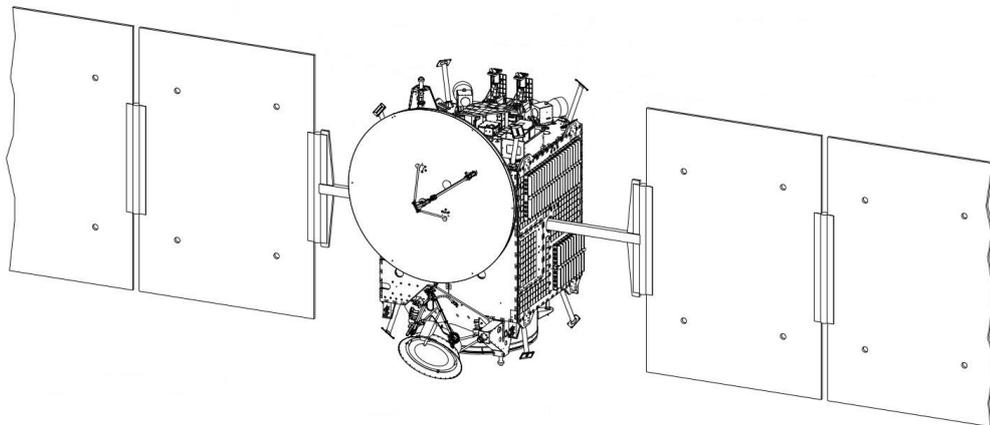


Рисунок 4 - КА Dawn ($m = 725$ кг, $P = 2.6$ кВт, Запуск – 2007 г., США)

В данной работе определен проектный облик МКА с ЭРДУ, оценены параметры служебных систем, предложен возможный состав научной аппаратуры, а так же выявлены

первостепенные проблемы, с которыми столкнутся разработчики такого МКА. Стоит отметить, что МКА прорабатывался с учётом попутного выведения, а в качестве конечной цели перелёта с ЭРДУ выбрана Луна. На аппарате предполагается провести отработку ряда новых решений и при этом обеспечить выполнение актуальной научной задачи.

Луна и окололунное космическое пространство занимают важное место в космических исследованиях [2]. Что вполне понятно и оправданно. Луна - ближайшее к нашей планете небесное тело Солнечной системы. Естественно, что Луна и явилась первоначальным объектом изучения с помощью средств космической техники, так как далеко не все ее характеристики можно определить только наземными способами наблюдений и исследований.

Поиск воды (водяного льда) на поверхности Луны в районе ее полюсов, в кратерах, где никогда не бывает солнечного света, является одной из приоритетных задач лунных исследований. Наличие или отсутствие воды на естественном спутнике Земли во многом определяет стратегию и пути малых и крупных задач, решение которых не требует значительных материальных затрат и принципиально реализуемо существующими на сегодняшний день научно-техническими средствами.

Данные исследования целесообразно проводить с помощью радиолокационного зондирования методом пассивной или активной радиолокации. Зондирование методом активной радиолокации в диапазоне 35-40 МГц позволит исследовать структуру подповерхностных слоев грунта планеты до глубин порядка несколько сотен метров. Зондирование методом пассивной (бистатической) радиолокации позволит определить распределение плотности пород лунного грунта на глубине до 1 км в видимой с Земли части Луны. Аппаратуру для данных исследований можно разместить на малом космическом аппарате. А наличие ЭРДУ на МКА позволит провести исследования на разных орбитах. Стоит отметить, что исследование Луны методом бистатической локации ещё не проводились и их реализация представляла бы высокую научную значимость.

В качестве комплекса научной аппаратуры (КНА) в части глубинного зондирования лунного грунта методом активной радиолокации был выбран локатор, работающий в диапазоне 35-40 МГц с глубиной проникновения в сотни метров с конструкцией двух лепестковой антенны в виде мелкочаистой сетки на тыльной стороне солнечных батарей. Так же в состав КНА входит базовый бортовой сенсор накопленной дозы для изучения изменения ионизирующего фона близ МКА и спектрометр галактических космических лучей ГАЛС-ВО для изучения потоков протонов энергией более 600 Мэв.

Рассматривается перелет МКА под действием силы тяги ЭРДУ с начальной орбиты искусственного спутника Земли (ОИСЗ), на которую МКА выводится в качестве попутной полезной нагрузки. В качестве схемы перелета МКА с маршевой ЭРДУ были выбраны следующие этапы [3]:

- компланарный межорбитальный перелет МКА из перицентра начальной околоземной высокоэллиптической орбиты (круговая $H = 42164$ км, $i = 51.4^\circ$) на промежуточную круговую ОИСЗ;
- перелет с промежуточной ОИСЗ в коллинеарную точку либрации L1 системы Земля-Луна;
- перелет из L1 на конечную круговую, полярную ОИСЛ с высотой 100 км.

В качестве ЭРДУ был выбран КМ-60 (мощность 670 Вт, тяга 36 мН, удельный импульс 1716 с, ресурс 4100 часов), установленный в двухступенном подвесе.

Состав космического комплекса, проектный облик МКА с маршевой ЭРДУ, основные характеристики

1.1 Состав космического комплекса

Создаваемый космический комплекс предназначен для решения следующих задач:

- подготовка и осуществление старта;
- выведение космического аппарата на заданную орбиту;
- проведение траекторных измерений;
- прием и анализ поступающей телеметрической информации о состоянии бортовых систем МКА с маршевой ЭРДУ;
- проведение измерений с использованием научных приборов, установленных на космическом аппарате.

В состав космического комплекса должны входить:

- МКА с маршевой ЭРДУ;
- головной обтекатель;
- ракета-носитель;
- технический комплекс;
- стартовый комплекс;
- наземный сегмент системы управления полётом.

1.2 Проектный облик МКА с маршевой ЭРДУ и основные характеристики

В результате анализа поставленных перед МКА целевых задач, а также рассмотренных конструктивно-компоновочных схем, был принят принцип модульно-блочного построения аппарата, как наиболее соответствующий требованиям оптимизации и унификации одновременно.

Такое решение основывается на том, что КА, разработанный на этом принципе, имеет высокие массово-энергетические характеристики, а блоки и модули, составляющие аппарат, обладают значительной степенью автономности и могут быть использованы в составе космических аппаратов, предназначенных для решения широкого круга задач.

Одна из основных целей упомянутой идеологии построения – обеспечение перехода от создания уникальных единичных изделий с длительным циклом разработки и изготовления к технологии ускоренного и экономичного производства малоразмерных КА, содержащих в своем составе максимальное количество унифицированных функционально законченных модулей. При этом при рассмотрении вопросов унификации должны рассматриваться вопросы унификации как конструктивного исполнения и систем в целом, так и интерфейсов, протоколов сопряжения, алгоритмов управления, элементной базы, технологических процессов изготовления, стандартов обеспечения качества, методов экспериментальной отработки, испытаний и приемки.

Современные служебные системы для МКА должны быть построены на основе отказоустойчивого модульно-магистрального принципа с единой коммутационной средой. Также необходимо обеспечить высокую скорость разработки систем, простоту тестирования и испытаний систем, отказоустойчивость к спецфакторам, быстродействие системы, малый вес, размер и энергопотребление системы в целом.

МКА с маршевой ЭРДУ состоит из космической платформы (КП) и комплекса научной аппаратуры (КНА).

Исходя из задач, предъявляемых к функционированию МКА, аппаратуру КП можно разделить по функциональному назначению на следующие системы, группы приборов и элементы конструкции.

1.2.1 Бортовой комплекс управления (БКУ)

В состав БКУ входят:

- бортовой вычислительный комплекс – ЦВМ-25 (АНО «НТИЦ ТехКом») состоит из двух полукомплектов, неактивная половина работает в горячем резерве. Предыдущая

версия вычислительной машины проходит лётную квалификацию в качестве полезной нагрузки на аппарате Ямал;

- адаптеры связи (АНО «НТИЦ ТехКом») выполняющие функции системы электроавтоматики под управлением ЦВМ-25. Каждый адаптер связи состоит из двух одинаковых полукомплектов, переключение которых осуществляется по командам из ЦВМ 25. Предварительный список и назначение адаптеров связи: АС-01 – устройство управления коммутацией приборов БКУ и КНА; АС-02 – устройство управления системой обеспечения теплового режима (СОТР) и антенно-фидерной системой (АФС); АС-03 – устройство управления приводом солнечных батарей; АС-04 – устройство управления приводом ЭРДУ; АС-05 – устройство управления газовыми двигателями разгрузки двигателей маховиков, подрывом пиротехники и опросом телеметрии элементов конструкции.
- командно-измерительные приборы:
 - а) оптический солнечный датчик – 347К (ОАО «НПП Геофизика-Космос») – 2 прибора;
 - б) звездный датчик – Астрол-12 (ЗАО «НПО Лептон») – 2 прибора;
 - в) бесплатформенный инерциальный блок БИБ (ОАО «НПО ИТ») – 1 прибор.
- исполнительные органы:
 - а) двигатели-маховики ДМ-1-10 (ОАО «НПЦ Полнос») – 4 прибора;
 - б) газовые двигатели ГД50 – разгрузка двигателей маховиков по каналу крена и построения ориентации и стабилизации в некоторых режимах – 12 штук;
 - в) механизм ориентации ЭРДУ – обеспечивает прохождение вектора тяги двигателя КМ-60 через центр масс МКА и разгружает ДМ по каналам тангажа и рыскания – ОАО «ОКБ Факел»;
 - д) приводы солнечной батареи.
- запоминающее устройство;
- бортовое программное обеспечение.

1.2.2 Бортовой радиокomплекс (БРК)

Бортовой радиокomплекс предназначен для:

- приема командно-программной информации от наземной станции (НС), декодирования, дешифрации и передачи принятой информации в БКУ и систему электроснабжения (СЭС);

- передачи научной информации и телеметрической информации на НС;
- приема цифровой телеметрической и научной информации от телеметрической системы (ТМС) и КНА, формирование общего информационного потока, формирования кадров передачи и передачи их на НС.

В состав БРК входит антенно-фидерная система (АФС) состоящая из антенн Х-диапазон – двух средненаправленных антенн на основе коммутации разнонаправленных излучателей и двух малонаправленных антенн. Основные параметры БРК представлены в таблице 1.

таблица 1

Наименование параметра	Значение параметра
Диапазон рабочих частот:	
– приёмника	7145-7235 МГц
– передатчика	8400-8500 МГц
Дальность радиосвязи:	от 200 до 400 000 км
Скорость передачи ТМИ, КПИ при вероятности ошибки на бит 10^{-5}	Не менее 25 кбит/с
Мощность ПРД	не более 10 Вт
Масса	не более 4 кг

1.2.3 Телеметрическая система (ТМС)

Телеметрическая система предназначена для решения следующих задач:

- сбор информации с сигнальных и аналоговых датчиков;
- сбор информации с цифровых датчиков;
- приём управляющих сигналов от БКУ;
- запоминание ТМИ в виде ТМ-кадров в запоминающем устройстве;
- воспроизведение ТМИ из запоминающего устройства и формирование кадров ТМИ с передачей в БРК.

1.2.4 Электроракетная двигательная установка (ЭРДУ)

В состав ЭРДУ входят:

- двигательный блок на основе стационарного плазменного двигателя КМ-60, который содержит два модуля регулирования расхода, двигатель при этом размещается на подвижной части механизма ориентации ЭРДУ;
- блок хранения ксенона композитный шаробаллон объемом 42 л, массой – 13 кг; внешним диаметром – 450 мм;
- блок клапанов (БКЛ), соединяющих ЭРДУ с блоком хранения ксенона;
- блок управления расходом (БУР);
- блок подачи ксенона в анод (БПК-АМ) двигателя на маршевом режиме;
- блок подачи ксенона в катод (БПК-К) двигателя;
- блок подачи ксенона в анод (БПК-АК) двигателей на режиме разгрузки двигателей маховиков;
- межблочные трубопроводы;
- блок подачи ксенона в газовые двигатели ГД50 (БПК-ГД).

1.2.5 Система обеспечения теплового режима (СОТР)

В состав МКА с маршевой ЭРДУ входят активные и пассивные средства теплового регулирования. К активным средствам относятся электронагреватели, к пассивным средствам относятся:

- экранно-вакуумная теплоизоляция (ЭВТИ);
- тепловые сотопанели (с тепловыми трубами);
- калиброванные термосопротивления (термические развязки);
- калиброванные термооптические характеристики поверхностей.

Для поддержания аппаратуры в требуемых диапазонах температур предлагается устанавливать ее на тепловые сотовые панели (ТСП). С помощью тепловых труб размещенных внутри ТСП тепловые потоки распределяются по всей ТСП и направляются на внешнюю сторону ТСП, которая имеет специальное термооптическое покрытие, позволяющее излучать в космос поступающие потоки тепла. Тепло, выделяемое аппаратурой с помощью тепловых труб, распределяется по поверхности ТСП и затем излучается в космос.

1.2.6 Система энергоснабжения (СЭС)

В состав СЭС входят:

- комплекс автоматики и стабилизации (КАС) – ОАО "НПЦ "Полнос";

- система преобразования и управления (СПУ) КМ-60 – выбор СПУ обусловлен использованием одного ЭРДУ КМ-60. В настоящее время в НПЦ «Полус» разработана СПУ-КР, позволяющее управление двумя КМ-60. Для использования в состав МКА с целью уменьшения массы СПУ-КР подвергается минимальной модификации;
- аккумуляторные батареи (АБ) – две литий-ионные аккумуляторные батареи 6ЛИ-25 производства ОАО «Сатурн», суммарная номинальная разрядная емкость 50 А·ч, диапазон рабочего напряжения от от 16.2 до 24.6 В;
- батареи солнечные (БС), основные характеристики приведены в таблице 2:

Таблица 2

Наименование	Значение характеристики
Срок активного существования (САС), лет	3
Выходная мощность в конце САС, Вт	1309
Количество створок в панели	3
Общая солнечной батареи, м ²	4.61
Масса фотопреобразователей (ФП), кг	6.8
Масса кабельной сети, кг	1.9
Тип ФП	Трехкаскадные из арсенида галлия на германиевых подложках типа 3G30C с КПД ~25%
Поставщик ФП	ОАО «Сатурн» (г. Краснодар)

Также в состав космической платформы входит бортовая кабельная сеть (БКС) и элементы конструкции.

1.3 Конструктивно-компоновочная схема МКА с маршевой ЭРДУ

В соответствии с модульно-блочной структурой построения МКА конструкция платформы также предусматривает модульное построение. Основным конструктивно-силовым элементом платформы является негерметичный приборный контейнер - прямоугольный параллелепипед, бескаркасно собранный из отдельных модулей, представляющих собой трехслойные сотопанели, состоящие из углепластиковых обшивок повышенной теплопроводности и алюминиевого сотозаполнителя, с предусмотренными посадочными местами для установки целевой или служебной аппаратуры [4] (рисунки 5-14).

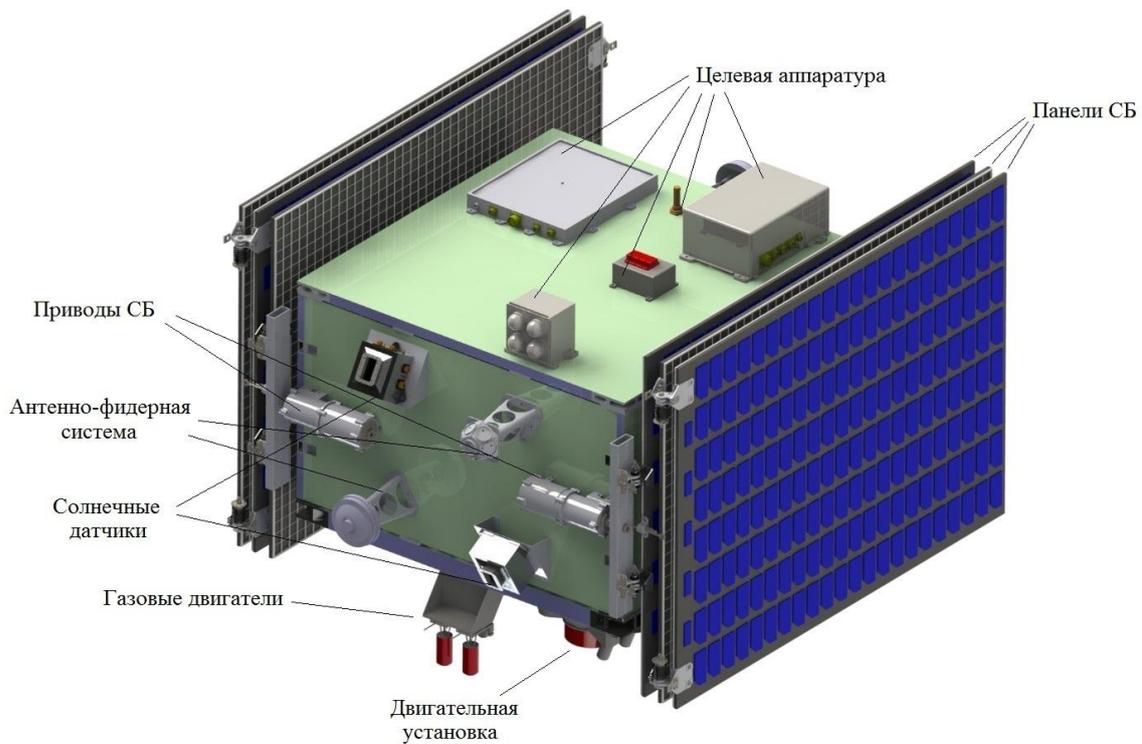


Рисунок 5 - Транспортное положение МКА (общий вид)

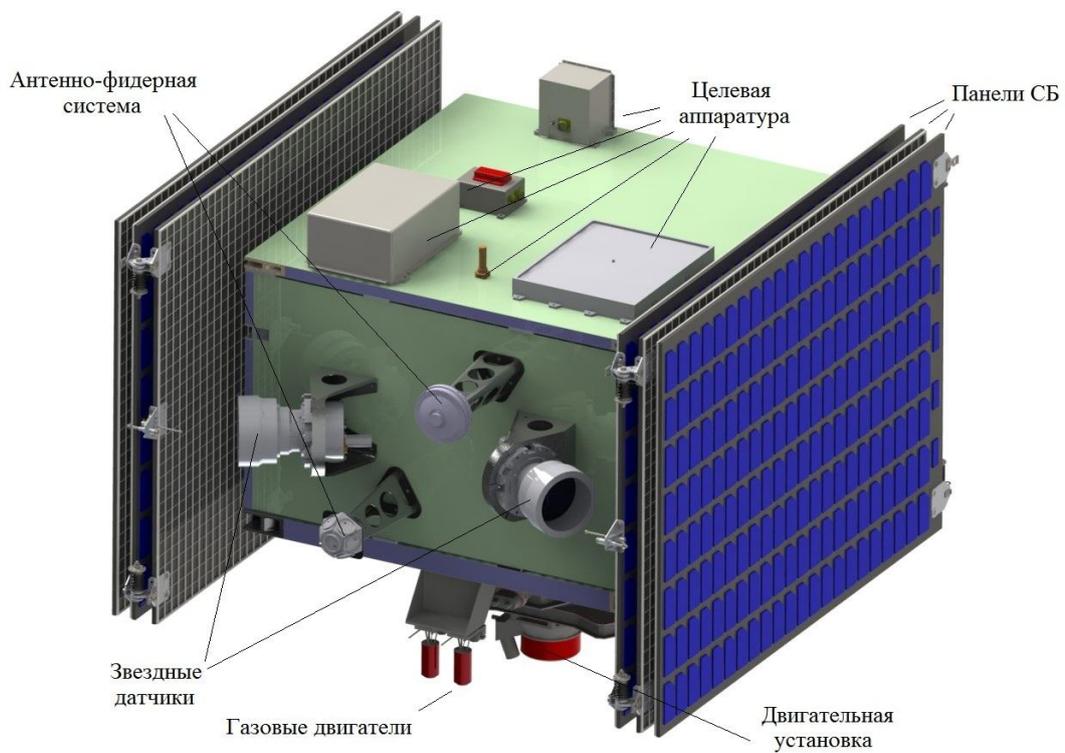


Рисунок 6 - Транспортное положение МКА (общий вид)

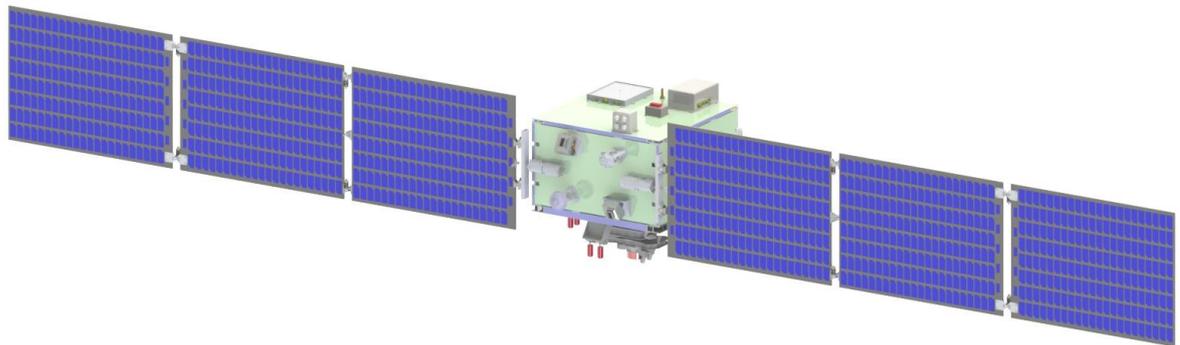


Рисунок 7 - Рабочее положение МКА (общий вид)

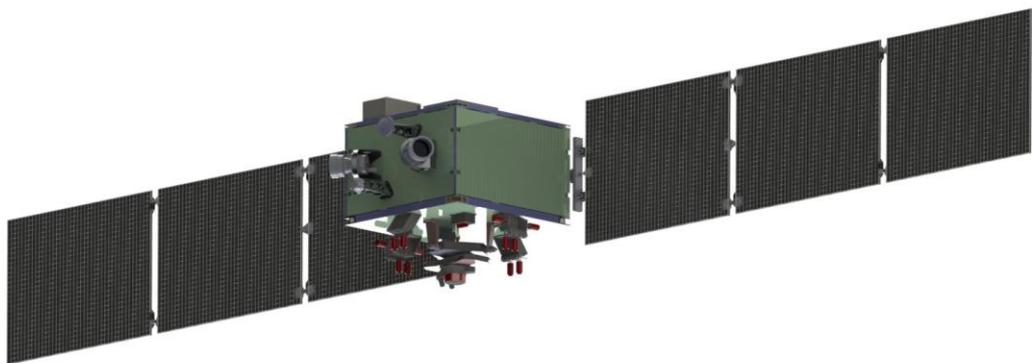


Рисунок 8 - Рабочее положение МКА (общий вид)

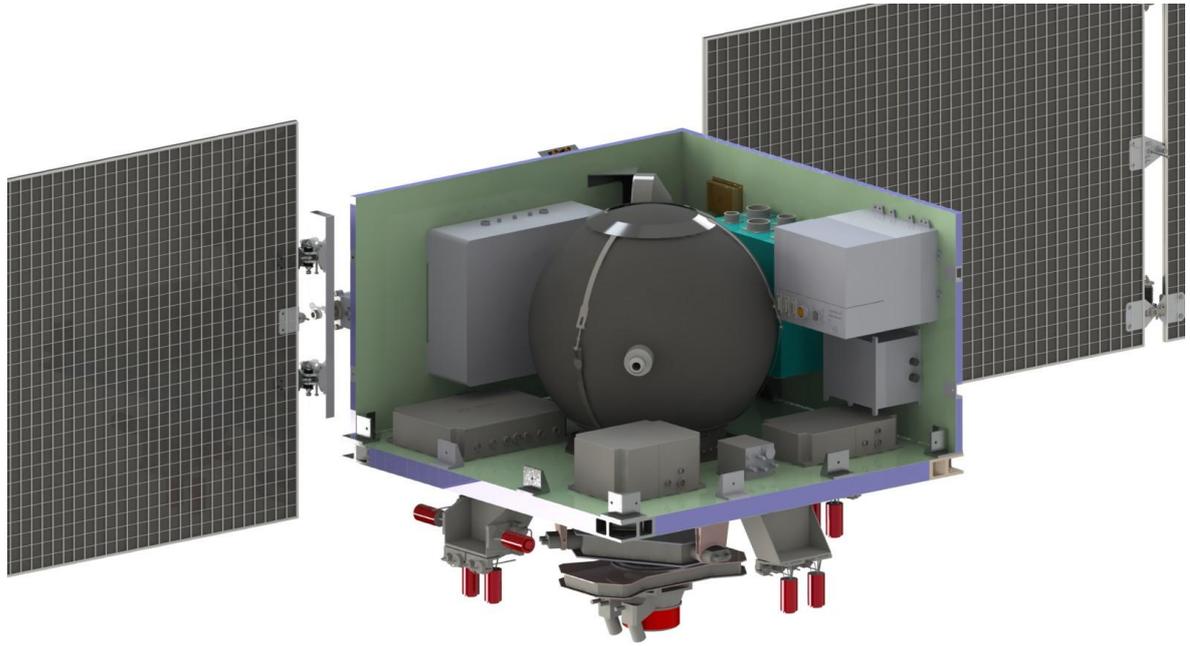


Рисунок 9 - Рабочее положение МКА (общий вид, панели +X, +Y, +Z условно не показаны)

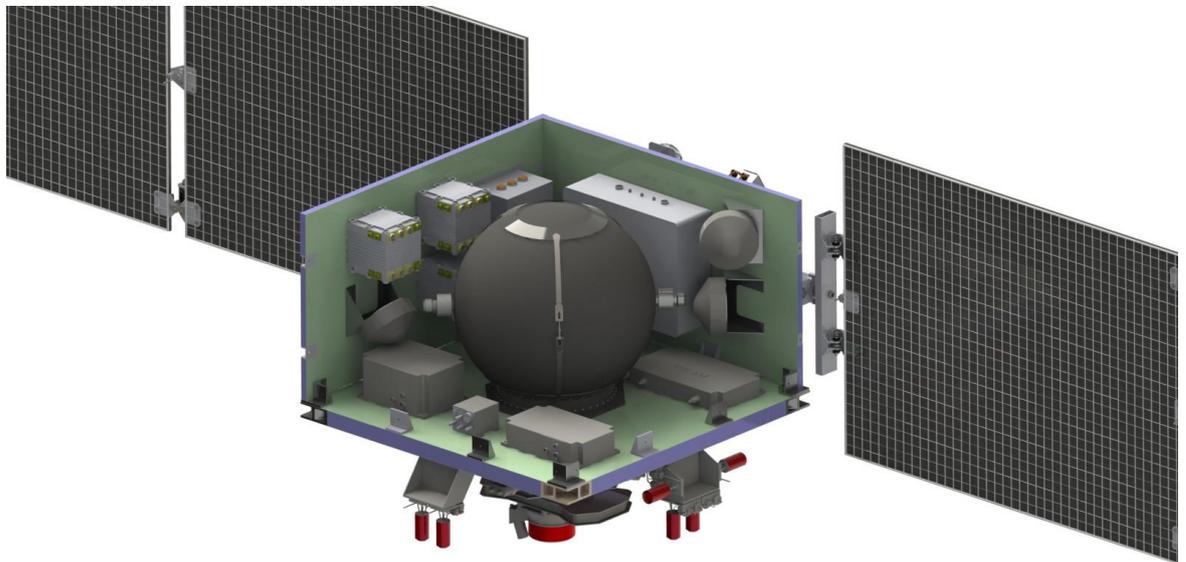


Рисунок 10 - Рабочее положение ЛМКА (общий вид, панели +X, -Y, +Z условно не показаны)

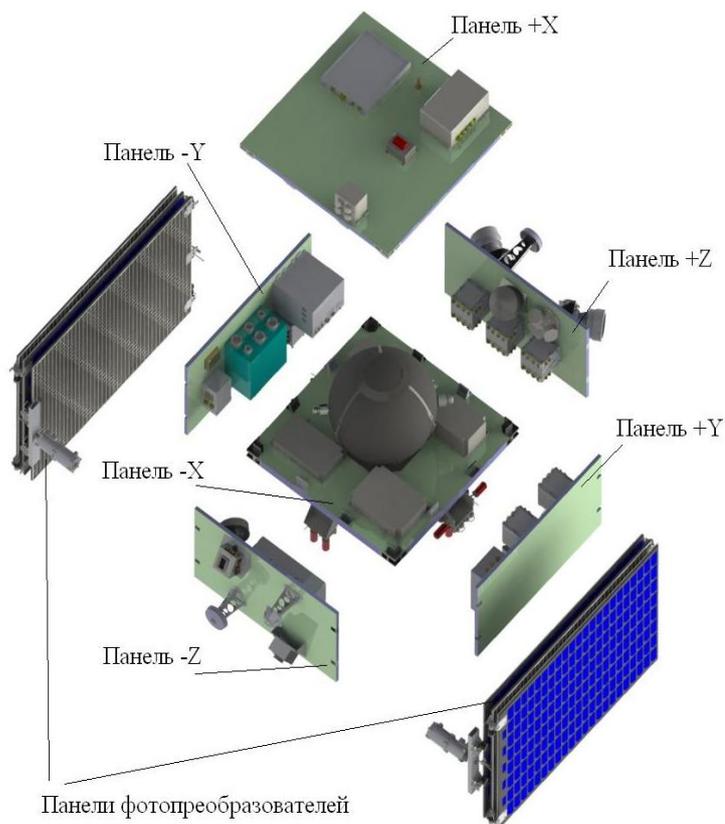


Рисунок 11- Укрупненная схема членения МКА

Внутренние стороны панелей $\pm Z$, $\pm Y$ использованы для размещения приборов служебной аппаратуры. Нижняя грань панели $-X$ служит для установки переходного адаптера с системой отделения, на эту же грань производится установка модуля ориентации двигателя КМ-60, верхняя грань этой панели обеспечивает установку блока хранения ксенона и блоки управления и подачи ксенона. Верхняя и нижняя грани панели $+X$ предполагают размещение комплекса научной аппаратуры. На панели $-Z$ установлены приводы солнечных батарей, которые обеспечивают их вращение вокруг оси, коллинеарной оси Y базовой строительной системы координат аппарата. Каждая панель солнечных батарей состоит из трех створок и представляет собой трехслойные сотовые панели с установленными на них фотопреобразователями. К конструированию узлов поворота и зачехлки предъявляются серьезные требования, т.к. примеры уже существующих образцов этих агрегатов показывают несоответствие массового совершенства различных элементов. В качестве механизмов расчехлки принято решение использовать пирочки (тепловые чеки). Тепловые чеки обладающие рядом преимуществ перед применяемыми на данный момент пиротехническими устройствами. Внешние стороны панелей $\pm Y$ и $+Z$, а также свободные от

фотопреобразователей стороны панелей солнечных батарей служат радиаторами-охладителями системы терморегулирования платформы.

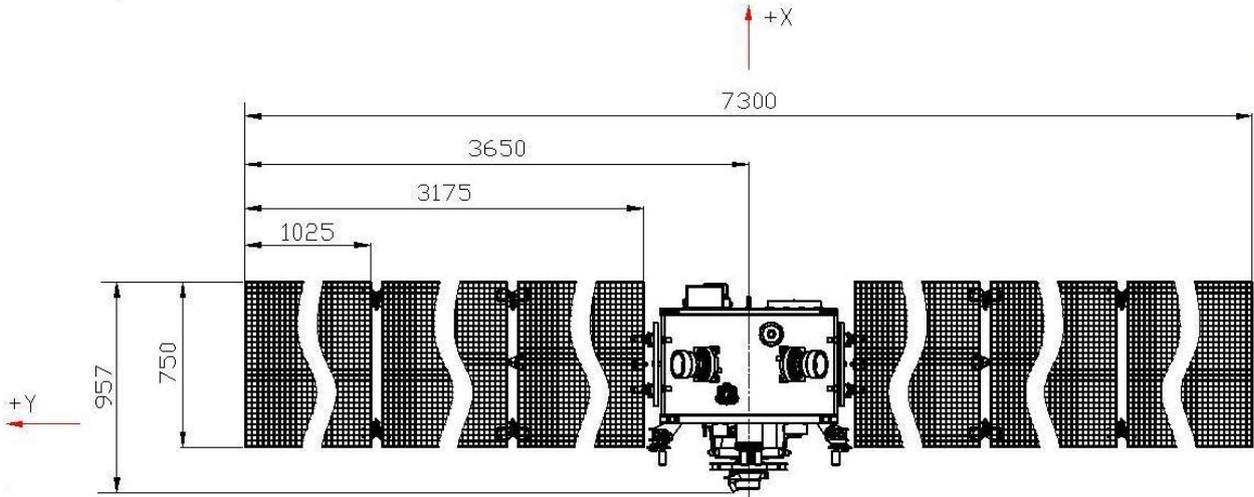


Рисунок 12 - Рабочее положение МКА (вид сзади)

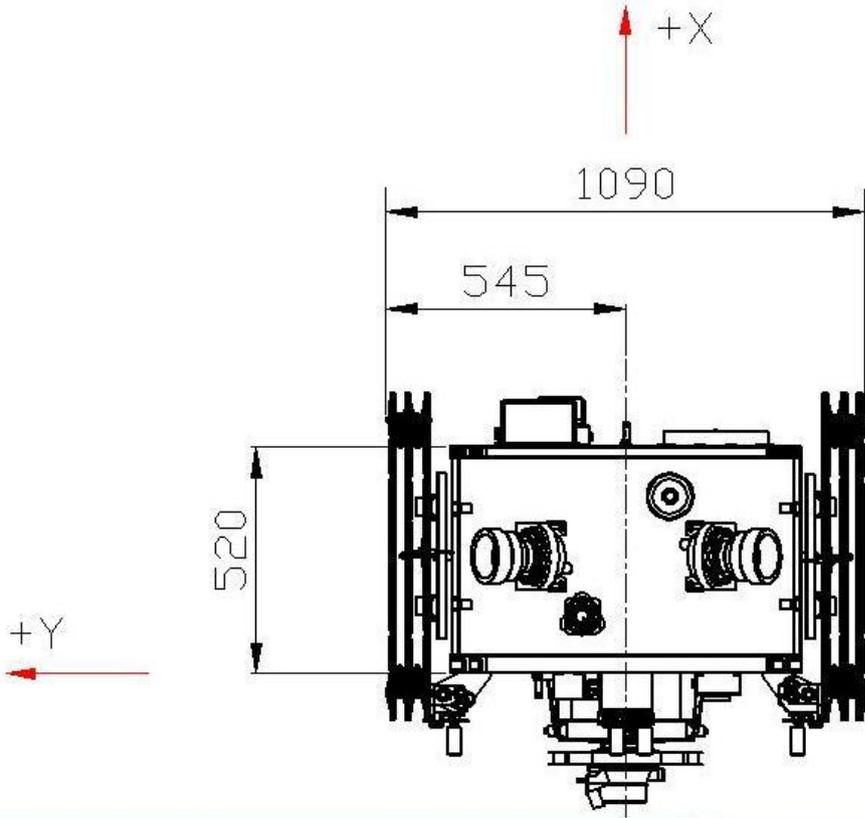


Рисунок 13 - Транспортное положение МКА (вид сзади)

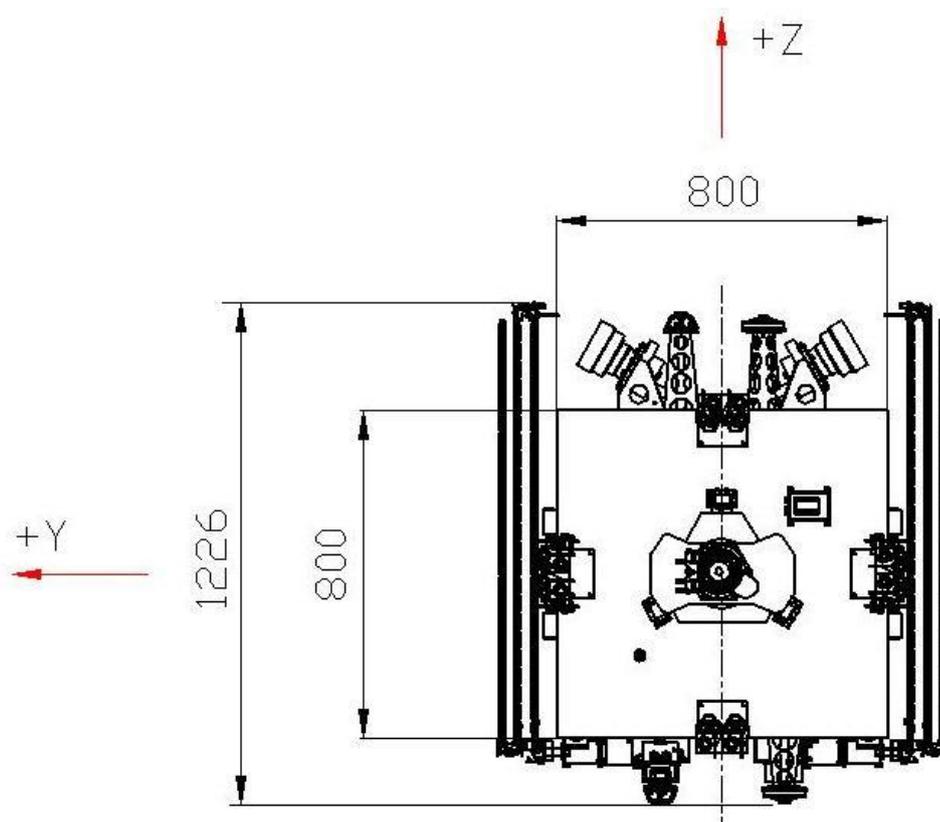


Рисунок 14 - Транспортное положение МКА (вид снизу)

1.4 Массовая сводка

Массовая сводка МКА с маршевой ЭРДУ представлена в таблице 3.

Таблица 3

№ п/п	Наименование	Масса, кг
1	Комплекс научной аппаратуры	
1.1	Элементы антенны радиолокационной системы (учтены в массе панелей БС)	-
1.2	Блок электроники радиолокатора	1,50
1.3	Галс-ЭМ-С	2,50
1.4	Галс-ЭМ-Ч	6,00
1.5	Бортовые сенсоры накопленной дозы, 2 шт	0,70
1.6	Система контроля электризации	1,10
2	Бортовой комплекс управления	
2.1	ЦВМ-25, 1 шт	2,30
2.2	АС, 5 шт	9,00
2.3	Запоминающее устройство	3,70
2.4	Звездный датчик, 2 шт	2,00
2.5	Солнечный датчик, 2 шт	1,30
2.6	БИБ	0,90

2.7	Двигатель - маховик, 4 шт	7,20
3	Бортовой радиокomплекс и АФС	
3.1	Бортовой радиокomплекс	5,50
3.2	Антенный переключатель, 1 шт	0,50
3.3	Средненаправленные антенны (передающие), 2 шт	0,60
3.4	Малонаправленные антенны (приемные), 2 шт	0,60
4	Система энергоснабжения	
4.1	АКБ	18,00
4.2	Батарея солнечная	16,00
4.3	Привод БС	6,00
4.4	КАС	14,00
4.5	СПУ	16,00
5	Двигательная установка	
5.1	Двигатель КМ 60	3,20
5.2	МОД + БУ-МОД	10,00
5.3	БУР	0,40
5.4	БПК-АК	3,50
5.5	БПК-К	2,50
5.6	БПК-АМ	3,70
5.7	БПК-ГД	2,50
5.8	БКЛ	1,30
5.9	ГД-50, 12 шт	4,20
5.10	Бак (ксенон)	13,00
5.11	Конструкция установки бака	4,00
5.12	Рабочее тело (ксенон)	70,00
6	СОТР (датчики, нагреватели, ЭВТИ)	4,00
7	БКС	9,00
8	Конструкция	12,00
9	Кронштейны, мелкие детали, стандарты	5,00
10	Резерв	20,00
11	Адаптер с системой отделения	13,00
ИТОГО		296,70

2 Выводы и рекомендации

В данной работе определен проектный облик МКА с ЭРДУ, оценены параметры служебных систем, предложен возможный состав научной аппаратуры, а так же выявлены первостепенные проблемы, с которыми столкнутся разработчики МКА подобного типа.

По результатам проектной проработки МКА с маршевой ЭРДУ можно заключить, что существует технологический задел, позволяющий говорить о возможности создания данного МКА. Однако существует ряд систем, для которых нужно провести значительную работу по

миниатюризации и адаптации уже существующих аналогов для их эффективного использования в составе МКА. Например, электроракетные двигатели редко применяются на КА, поэтому системы обеспечения их работы имеют низкую степень унификации. СПУ для ДУ КМ-60 разрабатывается только одним предприятием – НПЦ «Полнос» и предполагается для использования на больших КА. Применение ЭРДУ создаёт необходимость в наличии мощной системы электроснабжения, которая, как правило, не требуется на МКА, а значит, для аппаратов данного класса не существует отработанных эффективных КАС, работающих с высокой мощностью.

Стоит отметить, что для длительного перелёта с использованием маршевой ЭРДУ необходим механизм ориентации двигателя. Механизм используется для компенсации смещения центра масс МКА при расходе рабочего тела, а так же может применяться для разгрузки двигателей маховиков по нескольким каналам. Установка механизма ориентации двигателя позволяет сэкономить рабочее тело (уменьшить расход рабочего тела на нужды коррекции и разгрузки маховиков системы ориентации и стабилизации) и использовать оптимальные законы управления МКА. Но в то же время применение механизма ориентации усложняет конструкцию МКА, уменьшает его надёжность за счёт введения сложной системы, снижает технологичность МКА в целом, увеличивает итоговую стоимость аппарата. Так же стоит отметить, что требуется разработка приводов солнечных батарей с кольцевыми токосъёмниками с высокими массово габаритными характеристиками, предназначенными для установки на МКА.

Необходимо отметить, что управление таким аппаратом является сложнейшей задачей, поскольку на этапе межпланетного перелёта программу полёта придётся многократно корректировать после периодического анализа текущих навигационных параметров. Кроме этого, бортовой комплекс управления, обеспечивающий реализацию такого длительного перелёта, должен обладать высокой степенью автономности, поскольку станции наземного сегмента системы управления «Спектр-Х» серьёзно загружены. Разработка такого БКУ потребует длительного времени и значительных средств.

Создание и последующая эксплуатация данного аппарата позволит решить несколько актуальных и, несомненно, важных задач. Одной из них станет отработка систем и программного обеспечения, необходимых для осуществления и обеспечения перелётов МКА с маршевой ЭРДУ. Задел, полученный при разработке, эксплуатации и управлении МКА с маршевой ЭРДУ, может быть использован для создания и обеспечения полетов больших КА с ЭРДУ, что актуально на существующем этапе исследования космоса. Также, реализация

данного проекта позволит решить целый ряд актуальных научных задач, что будет иметь значительную как фундаментальную, так и прикладную ценность. Полученные данные будут иметь большое значение при планировании последующих планетных исследований, проводимых нашей страной.

Важным является то, что проектная проработка данной платформы может стать базой для создания целой группы аппаратов со схожими научными задачами для исследования межпланетного и околоземного пространства, а также при использовании платформы для реализации орбитальных систем с возможностью поддержания орбиты, либо ее изменения в широких диапазонах во время срока активного существования. Данное свойство позволяет провести научные исследования на разных орбитах с помощью одного КА, а также использовать ЭРДУ для до выведения аппарата на рабочую орбиту, если энергетики средств выведения для этих целей недостаточно.

В проектной проработке максимально использовались существующие и находящиеся в завершающей стадии разработки российские бортовые системы, комплексы приборов, агрегатов и узлов, работоспособных в условиях открытого космоса. Принятые технические решения позволят создать конкурентоспособное на международном уровне изделие. Одновременно с выполнением требований по минимизации массово-энергетических параметров, стоимости разработки и сроков реализации предусмотрена возможность расширения (или сужения) функциональных возможностей с целью использования их на КА другого назначения без кардинальных изменений структуры и программно-алгоритмического обеспечения.

Учитывая вышеизложенное, реализация данного проекта позволит создать серьёзный задел в тематике межпланетных исследований, а так же создаст возможность более эффективного исследования и освоения Солнечной системы.

Библиографический список

1. Актуальные вопросы проектирования космических систем и комплексов. Сборник научных трудов. Под ред. Полищука Г.М., Пичхадзе К.М. ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», 2005 г.
2. Луна – шаг к технологиям освоения Солнечной системы / Под научной редакцией В.П. Легостаева и В.А. Лапоты. – М.: РКК «Энергия», 2011 г.
3. Петухов В.Г., Квазиоптимальное управление с обратной связью для многовиткового перелета с малой тягой между некомпланарными эллиптической и круговой орбитами, Космические исследования, том 49, № 2, 2011 г.

4. Проектирование автоматических космических аппаратов для фундаментальных научных исследований / Под ред. В.В. Ефанова, К.М. Пичхадзе: В 2-х т. Т.1. – М.: Изд-во МАИ, 2012.