

На правах рукописи



Ильин Макар Алексеевич

**РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА НАВИГАЦИОННОГО КОСМИЧЕСКОГО
АППАРАТА НА ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЕ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание

степени магистра по направлению Системный анализ и управление (220100.68)

магистерская программа – Системное проектирование космических аппаратов
(220100.68.05)

Красноярск 2014

Работа выполнена на Межвузовской базовой кафедре «Прикладная физика и космические технологии» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель:

кандидат технических наук, Звонарь Василий Дмитриевич

Рецензент:

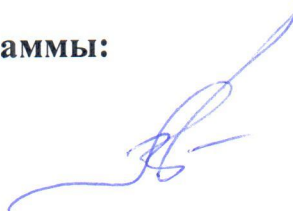
Шилов Владимир Николаевич, ведущий инженер-конструктор ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева»

Защита диссертации состоится «8» июля 2014 г. в 16:00 часов в ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» по адресу:
662971, Железногорск, ул. Кирова 12А

С авторефератом магистерской диссертации можно ознакомиться на сайте СФУ
<http://edu.sfu-kras.ru/engineering> и в архиве открытого доступа:
<http://elib.sfu-kras.ru>

Руководитель магистерской программы:

доктор технических наук,
профессор



В. Е. Чеботарев

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Согласно Федеральной целевой программы «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012 – 2020 годы» определены следующие основные задачи:

1. Поддержание системы ГЛОНАСС с гарантированными характеристиками навигационного поля на конкурентоспособном уровне;
2. Развитие системы ГЛОНАСС в направлении улучшения ее тактико-технических характеристик с целью обеспечения паритета с зарубежными системами и обеспечения лидирующих позиций Российской Федерации в области спутниковой навигации.
3. Обеспечение использования системы ГЛОНАСС, как на территории Российской Федерации, так и за рубежом.

Высокая актуальность вопроса модернизации орбитальной группировки системы ГЛОНАСС определяется необходимостью обеспечения на конкурентоспособном уровне характеристик точности, доступности и устойчивости навигации различных потребителей глобальной навигационной спутниковой системой ГЛОНАСС и существенным влиянием на эти характеристики состава и структуры ОГ.

Обеспечение наилучшей точности и доступности при сложных условиях навигации (высоком уровне затенения), в том числе компенсации зон ухудшения точности, возможно следующими путями:

1. Увеличением количества космических аппаратов (КА) штатной орбитальной группировке до 27...30.
2. Введением в состав штатной орбитальной группировки дополнительных космических аппаратов на высоких (геостационарной, геосинхронных, высокоэллиптических) орбитах (функционального дополнения).

С учетом вышесказанного в рамках развития системы предусматривается проработка вопроса создания спутника для функционального дополнения к системе ГЛОНАСС, что весьма актуально.

Объект исследований – навигационный космический аппарат.

Предмет исследований – методы проектирования унифицированного космического аппарата.

Цель работы: разработка проекта космического аппарата на геостационарной орбите, используемого в функциональном дополнении к системе ГЛОНАСС.

Для достижения поставленной цели определены **следующие задачи:**

- Анализ требований к космическому аппарату функционального дополнения (КА-ФД);
- Выбор базовой космической платформы для КА-ФД;
- Определение объема доработок базовой космической платформы;
- Определение проектного облика КА-ФД.

Новизна работы:

1. Использован метод подобия при расчете характеристик КА-ФД на базе КА «Глонасс-К»;

2. Сохранены интерфейсы КА-ФД с наземным комплексом управления (НКУ) системы ГЛОНАСС и средствами выведения ракета-носитель (РН) «Союз-2» с разгонный блок (РБ) «Фрегат»;

3. Минимизирован объем доработок составных частей базового КА и его конструктивно-компоновочной схемы.

Место выполнения диссертации. Межвузовская базовая кафедра прикладной физики и космических технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет»

Место прохождения международной стажировки. Institut Aeronautique et Spatial (г. Тулуза, Франция).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во введении обоснована актуальность темы и сформулирована цель и задачи работы, отмечается ее новизна.

В первой главе обоснованы требования к космическому аппарату, как к составной части функционального дополнения системы ГЛОНАСС с использованием опыта приобретенного во время международной стажировки.

Спутники системы ГЛОНАСС излучают навигационные сигналы в трех частотных диапазонах (L1, L2 и L3).

При этом на спутниках первого поколения применяется частотное разделение навигационных сигналов, а на последующих - кодовое.

Для КА-ФД предложено использовать кодовое разделение, которое позволяет обеспечить потребителя навигационным сигналом для решения навигационной задачи с более высокими точностными характеристиками.

На навигационном КА-ФД также устанавливается бортовое синхронизирующее устройство (БСУ), заимствованное с КА «Глонасс-К», имеющие высокие технические характеристики и летную квалификацию.

Эфемеридно-временное обеспечение навигационного КА функционального дополнения предлагается организовать по схеме, использованной в системе ГЛОНАСС использующие межспутниковые измерения дальности.

Проведен анализ точностных характеристик радионавигационного поля совмещенной системы из 24 КА ГЛОНАСС и КА функционального дополнения на различных типах орбит, который показал, что наилучшее повышение навигационных характеристик на территории Российской Федерации и Арктики, особенно в условиях ограниченной видимости (в городской и горной местности), а так же двукратное покрытие территории России и Арктики могут обеспечить региональные дополнения из четырех-шести КА на геостационарных орбитах с наклоном отличным от нуля (геосинхронные наклонные круговые орбиты (ГСНО) с периодом, равным звездным суткам). При этом рассматривается вариант подсистемы на из 4 КА,двигающиеся вдоль одной наземной трассы, пересекающей экватор в точке 110° в. д (4х1 ГСНО, одиночная схема выведения), которые реализуют оптимальную навигацию для территории России.

Проанализированы условия эксплуатации КА-ФД, которые по сравнению с условиями на орбитах ГЛОНАСС отличаются суммарной дозой радиации, величиной напряженности магнитного поля Земли и длительностью теневых участков орбиты.

Согласно оценкам радиационная стойкость аппаратуры КА на орбитах ГЛОНАСС при сроке функционирования 10 лет, эквивалентна стойкости КА на геосинхронной (стационарной) орбите при сроке функционирования 15 лет. Поэтому заимствование аппаратуры у разработанных навигационных КА системы ГЛОНАСС для КА-ФД возможно без повышения её радиационной стойкости.

Увеличение длительностей теневых участков необходимо учитывать при проведении расчета энергобаланса и теплового режима КА-ФД.

Навигационный КА в системе используется, как радионавигационная «точка» с известными координатами, излучающая высокостабильный навигационный сигнал, охватывающий весь земной шар и околоземное космическое пространство. Это вносит специфические требования к построению спутника в целом и его составных частей:

- навигационная антенна должна размещаться таким образом, чтобы её фазовый центр находился на минимальном расстоянии от продольной оси спутника, которая совмещается с центром масс спутника и совпадает с радиус-вектором орбиты;
- для БСУ должны быть созданы комфортные условия эксплуатации (термостабилизация с точностью лучше 1°C) и обеспечиваться экранирование от воздействия магнитных полей;
- минимизация действия непрогнозируемых сил негравитационной природы (световое давление, реактивные силы и т.д.).

Поэтому КА-ФД должен быть подобен КА системы ГЛОНАСС, удовлетворяющей всем предъявляемым к навигационным КА требованиям. Наиболее подходящим по выполняемым задачам и типоразмеру (масса, габариты, энергопотребление) для КА-ФД является навигационный КА «Глонасс-К» со сроком активного существования 10 лет, который предлагается использовать в качестве базового. На основании вышеизложенного определен типовой состав КА-ФД: бортовой информационно-навигационный комплекс (БИНК), бортовое синхронизирующее устройство, оптическая ретрорефлекторная антенная система, бортовой комплекс управления, системы ориентации и стабилизации, система коррекции, система терморегулирования, система электропитания.

Во второй главе проводится анализ возможности применения заимствованных бортовых систем с базового КА «Глонасс-К», и оценен объем их доработок с использованием метода подобия.

Бортовой информационно-навигационный комплекс должен строиться на базе БИНК-К2, у которого исключены приборы, формирующие навигационный сигнал с частотным разделением (с заменой источников питания со 100В на 27В с сохранением массо-габаритных характеристик блоков).

Бортовое синхронизирующее устройство и оптическая ретрорефлекторная антенная система заимствуется с КА «Глонасс-К» без доработок.

Орбиты ГСНО выше орбит системы ГЛОНАСС, поэтому необходимо учитывать увеличение дальности и уменьшение углового размера Земли, что обуславливает соответствующее уменьшения ширины диаграммы направленности навигационной антенны. По результатам расчета бюджета радиолинии определено требуемое усиление навигационной антенны с узкой шириной луча, которая компенсирует увеличение дальности а также требуемое усиление антенны межспутниковой радиолинии. Исходя из этих требований, определены геометрические и электрические характеристики этих антенн.

По результатам баллистического анализа определены требования к суммарной характеристической скорости необходимой для приведения КА-ФД в рабочую точку и удержание его в течение всего срока эксплуатации. Выбран объем заправки бака двигательной установки и масса рабочего тела для коррекции орбиты и организации разгрузки электромаховиков системы ориентации. В качестве прототипа выбрана двигательная установка КА «Глонасс-К» в которой используется бак объемом 30 литров.

Задачи по управлению, контролю и баллистическому обеспечению КА-ФД решаются подобным образом, как в системе ГЛОНАСС (что не потребует доработки средств НКУ), что позволило заимствовать бортового комплекса управления с КА «Глолнасс-К».

Схему ориентации КА «Глонасс-К» можно применить на КА-ФД однако необходимо учитывать особенности ее реализации. Применение электромагнитного устройства для разгрузки управляемых двигателей маховиков (УДМ) на ГСНО не эффективно из-за слабого магнитного поля Земли на этих орбитах. Проведенные расчеты позволили определить периодичность разгрузки УДМ (один раз в 9 месяцев), необходимые затраты рабочего тела двигательной установки (1кг) и величину кинетического момента УДМ (50Нмс).

По результатам расчета энергобаланса и теплового анализа КА подтверждена возможность применения системы электропитания КА «Глонасс-К» с сохранением характеристик солнечных батарей и аккумуляторов, а также подтверждена достаточность площадей радиационных поверхностей и мощностей электрообогревателей системы терморегулирования.

В третьей главе определен проектно-конструкторский облик КА-ФД, проведены расчеты и оценки бюджета масс, габаритных размеров, моментно-центровочных характеристик. При этом руководствовались необходимостью минимизации объема доработок составных частей базового КА и его конструктивно-компоновочной схемы.

Бюджет масс блока КА-ФД приведен в таблице 1

Таблица 1 - Бюджет масс блока КА-ФД

Наименование	Масса лимитная, кг
Блок КА:	1010
1 Космический аппарат	950
1.1 Бортовой специальный комплекс:	216,68
1.2 Бортовой комплекс управления	70,08
1.3 Антенные системы	42,99
1.4 Система коррекции	60,8
1.5 Система ориентации и стабилизации	81,7
1.6 Система электропитания	128,9
1.7 Система терморегулирования	13,49
1.8 Механическое устройство БС	72,98
1.9 Конструкция общего назначения	158,02
1.10 Бортовая кабельная сеть	80,0
1.11 Грузы компенсирующие	40,0
1.12 Грузы балансировочные	15,0
1.13 Дополнительная полезная нагрузка	8,0
2 Устройство отделения	33,0
3 Стыковка отрывных разъемов	1,0
4 Комплект монтажных частей	1,0
5 Балансировочные грузы	25,0
6 Выводимая масса полезного груза	1100
7 Резерв	90

Полученная масса блока КА-ФД позволяет использовать РН «Союз-2» с РБ «Фрегат» для одиночной схемы выведения на орбиту функционирования.

Внешняя компоновка и габаритные размеры КА-ФД формировались исходя из условия обеспечения нормального функционирования КА на орбите (рабочее положение) и размещения КА в зоне полезного груза головного обтекателя РН «Союз-2» на этапе его выведения на орбиту с необходимыми зазорами, а также в зоне транспортированного контейнера на этапе наземного транспортирования (транспортировочное положение).

Общий вид разработанного КА в рабочем положении представлен на рисунке 1.

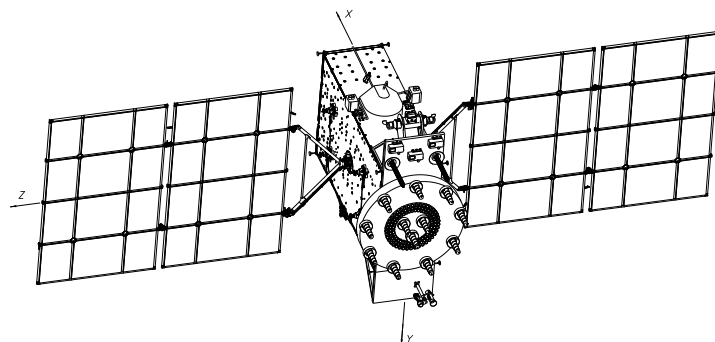


Рисунок 1 – Общий вид КА-ФД в рабочем положении

Размещение КА в зоне полезного груза головного обтекателя представлено на рисунке 2.

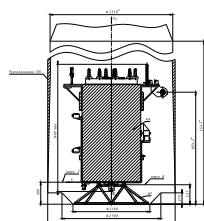


Рисунок 2 – Размещение КА-ФД в зоне полезного груза ГО.

По результатам проведенных исследований разработан проект навигационного КА-ФД с характеристиками, представленными в таблице 2

Таблица 2 – Основные характеристики КА-ФД

Параметр	Значение
Назначение	– формирование и непрерывное излучение радионавигационных сигналов с кодовым разделением (L1, L2 и L3); – информационный обмен и проведение измерений по межспутниковой линии; – формирование, хранение и передача высокоточной оцифрованной бортовой шкалы времени, привязанной к наземной шкале; – пассивная ретрансляция запросного оптического дальномерного сигнала наземных квантово-оптических станций для обеспечения калибровки радиолиний.
Срок активного существования	10 лет
Орбита функционирования	Высота 35786км, наклонение $i=0-64^\circ$, эксцентриситет 0
Масса КА-ФД	950 кг
Энергопотребление КА-ФД	1434Вт
Емкость АБ	2685Вт·ч
Площадь БС	17м^2

Параметр	Значение
Мощность БС в конце срока	2268Вт
Средства выведения	РН «Союз-2» с РБ «Фрегат»
Длительность ввода КА-ФД в штатное функционирование	21 сутки

В заключении представлены основные выводы и результаты работы.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1.Звонарь В.Д., Фаткулин Р.Ф., Ильин М.А., Тимофеев С.В. Навигационный космический аппарат на геостационарной орбите// Интеллект и наука: труды XIII Международной молодежной научной конференции «Интеллект и наука»- Железнодорожск, 2013. – С. 19-20.

2.С.В. Тимофеев, М.А. Ильин, В.Е. Чеботарев, В.Д. Звонарь, Р.Ф. Фаткулин. Выбор характеристик электрообогревателей космического аппарата при наличии ограничений/ В.Е. Чеботарев [и др.]// Исследования Наукограда: научн. журнал.– Железнодорожск, 2012. – С. 20-22.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Разработанный КА-ФД может без каких-либо ограничений функционировать на круговых орбитах радиусом 35786 км с различными наклонениями.

Примененные при разработке проекта КА решения могут быть использованы при создании КА функционального дополнения для системы ГЛОНАСС.