

*На правах рукописи*



**Владимиров Александр Владимирович**

**РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ  
АВТОНОМНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНОГО НАВИГАЦИОННОГО  
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА**

**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:**

Казанцев Виктор Николаевич

**Рецензент:**

Валиханов Марат Музагитович, кандидат технических наук

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**

**Цель работы:** Разработка комплекса мероприятий по повышению автономности навигационного космического аппарата с сохранением уровня точностных характеристик.

**Объект:** факторы, влияющие на автономность навигационного космического аппарата.

**Предмет:** Способы повышения автономности навигационного космического аппарата с сохранением уровня точностных характеристик.

**Гипотеза:** Анализ значений фактора точности, передаваемых в составе навигационного сообщения и учет их при решении навигационной задачи позволит сохранить уровень точностных характеристик системы без связи с наземным комплексом на более длительном интервале времени.

**Сведения об актуальности и новизне:** Улучшение точностных характеристик глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС является одной из задач федеральной целевой программы «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012 – 2020 годы». На текущий момент в действующей версии интерфейсного контрольного документа для системы ГЛОНАСС нет информации об алгоритмах использования значений фактора точности.

**Место выполнения диссертации:** ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва».

**Место международной стажировки:** Thales Alenia Space, г. Тулуза, Франция.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Глобальные навигационные спутниковые системы в настоящее время играют важную роль в обеспечении навигационных услуг для различных видов (наземных, воздушных, морских) потребителей, как на территории страны, так и в глобальном масштабе. Одним из основных элементов глобальной навигационной спутниковой системы является навигационный космический аппарат (НКА) от надежности которого зависят эффективность функционирования всей системы, готовность и качество услуг предоставляемых потребителям.

Надежное функционирование НКА зависит от надежности каждой из бортовых систем аппарата, от действий наземного комплекса управления, а именно от своевременной закладки обновленной эфемеридной информации и грамотного управления космическим аппаратом на орбите.

Необходимость частой закладки обновленной эфемеридной информации на борт НКА ставит глобальную навигационную спутниковую систему в целом в большую зависимость от работы наземного комплекса управления. Для того чтобы снизить степень зависимости и повысить автономность работы НКА и системы в целом необходимо уменьшить количество сеансов связи со спутником. Однако для глобальной навигационной спутниковой системы неотъемле-

мым показателем является уровень точности определения координат, который обеспечивает система для потребителя.

Для этого в составе информации, излучаемой навигационными спутниками, содержатся параметры, позволяющие оценить уровень точности, который возможно будет получить при определении координат потребителя с участием этого навигационного аппарата. Таким образом, навигационная аппаратура потребителя имеет возможность анализировать данный параметр и оценивать вклад каждого навигационного космического аппарата в общее решение навигационной задачи. Однако на данный момент в действующей версии интерфейсного контрольного документа нет описания алгоритма, в соответствии с которым навигационная аппаратура потребителя могла бы интерпретировать значения фактора точности, передаваемого в составе навигационного сообщения системы ГЛОНАСС.

Для моделирования точностных характеристик системы ГЛОНАСС использовалась математическая модель подсистемы космических аппаратов. В качестве исходных данных для модели были приняты следующие условия: количество НКА - 24, находящиеся на круговых орбитах высотой 19100 км, наклонением  $64,8^\circ$  и периодом обращения 11 часов 15 минут в трех орбитальных плоскостях. Орбитальные плоскости разнесены по долготе на  $120^\circ$ . В каждой орбитальной плоскости размещаются по 8 НКА с равномерным сдвигом по аргументу широты  $45^\circ$ . Кроме этого, в разных плоскостях положения НКА из разных плоскостей сдвинуты относительно друг друга по аргументу широты на  $15^\circ$ . Такая конфигурация ПКА позволяет обеспечить непрерывное и глобальное покрытие земной поверхности и околоземного пространства навигационным полем.

Для моделирования положения пользователей навигационных услуг были приняты следующие начальные условия: количество пользователей 98570. Пользователи равномерно распределены на всей поверхности Земли.

Параметры навигационной аппаратуры для моделирования были приняты следующие:

- функционирует в соответствии с требованиями ИКД системы ГЛОНАСС;
- использует угол места, больший или равный  $5^\circ$ ;
- производит вычисление местоположения спутника и геометрического расстояния в соответствии с ПЗ-90.02, связанной с Землей, и времени по UTC (SU);
- производит решение задачи определения местоположения и времени на основе радиовещательной передачи данных со всех видимых спутников, компенсирует динамическое доплеровское смещение в измерениях по коду и фазе несущей номинального сигнала КСТ;
- исключает неработоспособные спутники ГЛОНАСС из решения задачи местоопределения по информации из навигационного сообщения, передаваемого каждым НКА;

- использует обновленные и внутренне совместимые эфемериды и параметры времени для всех спутников, которые он задействует для определения местоположения;

- теряет сопровождение в случаях, когда спутник прекращает передачу радионавигационного сигнала КСТ;

- определяет точность передачи шкалы времени применительно к стационарному пункту с известными координатами.

Моделирование проводилось по следующим условиям: для каждого из потребителей на каждом шаге моделирования рассчитывается и решается навигационная задача для всех видимых НКА на всем интервале моделирования. Шаг моделирования был выбран 1 секунда, интервал моделирования 24 часа (86400 секунд).

Моделирование проходило в несколько этапов.

1-й этап: по имеющимся значениям погрешностей местоположения и скорости НКА, приведенным в табл. 1 были вычислены значения погрешности определения псевдодальности.

Табл. 1 Погрешности передаваемых координат и скорости НКА

	Местоположения (м)	Скорости (см\с)
Вдоль орбиты	7	0,03
По бинормали к орбите	7	0,03
По радиус-вектору	1,5	0,2

2-й этап: по имеющейся статистике значений фактора точности для каждого НКА были вычислены соответствующие значения погрешности определения псевдодальности согласно таблице 2.

Табл. 2 Таблица соответствия значений фактора точности

Значение фактора точности	Погрешность определения псевдодальности, м.
0	1
1	2
2	2,5
3	4
4	5
5	7
6	10
7	12
8	14
9	16
10	32
11	64
12	128
13	256
14	512
15	Не используется

Далее используя погрешности определения псевдодальности полученные на первом этапе моделирования, для которых известны соответствующие значения погрешностей определения местоположения и скорости НКА используя методы интерполяции были вычислены погрешности определения местоположения и скорости НКА для значений погрешности определения псевдодальности, полученных из таблицы 2. Для расчетов значений погрешностей местоположения НКА по имеющейся погрешности определения псевдодальности использовалась эмпирическая формула:

3-й этап: на основе рассчитанных на этапе 2 значений погрешности определения местоположения НКА проведено моделирование точностных характеристик системы ГЛОНАСС.

Использование фактора точности:

Исключать НКА со значением погрешности псевдодальности больше порогового значения 6 метров из решения навигационной задачи если исключение не повлечет за собой следующих событий:

- уменьшение количества НКА участвующих в решении навигационной задачи до трех;

- значение геометрического фактора ухудшения точности превысит 6;

Если в зоне видимости навигационной аппаратуры потребителя находится несколько НКА со значением погрешности превышающей пороговое значение, то исключение необходимо производить по одному НКА производя проверку выше перечисленных условий после каждого условия, очередность исключения следует выбирать таким образом, чтобы в первую очередь исключались НКА с максимальным значением погрешности. При наличии 2-х и более НКА с одинаковым значением погрешности, в первую очередь исключать следует тот НКА, после исключения которого значение геометрического фактора ухудшения точности является минимальным.

## **МЕЖДУНАРОДНАЯ СТАЖИРОВКА**

В период с 21 мая по 13 июля 2013 года на предприятии Thales Alenia Space, г. Тулуза, Франция проходила стажировка, целью которой было получение практических знаний о методах, стандартах и технологиях проектирования элементов космических аппаратов, используемых Европейским космическим агентством. В ходе прохождения стажировки были изучены методы учета факторов влияющих на автономность работы космического аппарата. Получен практический опыт использования конструкторской информации для проектирования космических аппаратов. Изучена система стандартизации, используемая Евросоюзом в космической отрасли. Исследованы методы оценки надежности и доступности функционирования космического аппарата, используемых Европейским космическим агентством. Полученная информация позволила провести сравнительный анализ зарубежных глобальных навигационных спутниковых систем и найти альтернативные пути решения поставленной задачи.

## **ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ**

В результате выполненных исследований удалось установить, что используя описанные правила обработки значений фактора точности при решении навигационной задачи удалось достигнуть улучшения уровня точностных характеристик системы ГЛОНАСС.

В связи с достигнутыми результатами целесообразно использовать данный алгоритм в навигационной аппаратуре потребителей.

В качестве дальнейших исследований в данной сфере, после реализации раздельного (дифференциального) фактора точности, планируется провести оценку влияния отдельно точности эфемерид и отдельно точности частотно-временной информации на решение навигационной задачи