



Акционерное общество «Концерн «Центральный
научно-исследовательский институт «Электроприбор»
Государственный научный центр Российской Федерации
(АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»)

ул. Малая Посадская, 30, Санкт-Петербург,
Российская Федерация, 197046
тел.: +7 (812) 232-59-15, факс: +7 (812) 232-33-76
e-mail: office@eprib.ru, www.elektroprybor.spb.ru
ОГРН 1097847057330, ИНН: 7813438763, КПП: 781301001

р/с: 40702810855040001779 в Северо-Западном банке ПАО «Сбербанк»
к/с: 30101810500000000653, БИК: 044030653

Ученому секретарю
диссертационного совета
24.2.327.03
МАИ

Старкову А. В.

E-mail: mai@mai.ru
125993, г. Москва,
Волоколамское шоссе, д.4

29.09.2025 № 017/12047

на № от

Тема: отзыв официального
оппонента Степанова О.А.

Уважаемый Александр Владимирович!

Направляю Вам отзыв официального оппонента чл.-корр. РАН, доктора технических наук, профессора Степанова Олега Андреевича на диссертацию **Кружкова Дмитрия Михайловича**, выполненную на тему «**Методы, алгоритмы и средства совершенствования ГЛОГАСС на основе перспективных информационных технологий**», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.16 Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Приложение:

1. Отзыв официального оппонента в 2 экз. на 7 листах.

С уважением,

Ученый секретарь, д.т.н.
Начальник отдела

Ю.А. Литманович

Вх.№	01-8403
« 30 »	09 2025 г.
Кол-во листов док-та	_____
Приложения	_____

Исполнитель: Радченко Наталья Сергеевна
тел: +7 (812) 232-35-62, e-mail: office@eprib.ru

Отзыв
официального оппонента

доктора технических наук, профессора, члена-корреспондента РАН Степанова Олега Андреевича, начальника Научно-образовательного центра АО «Концерн «Центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор» на диссертацию Кружкова Дмитрия Михайловича, выполненную на тему: «Методы, алгоритмы и средства совершенствования ГЛОНАСС на основе перспективных информационных технологий», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Актуальность выбранной темы

Внедрение новых образцов техники и технологий в интересах улучшения характеристик действующих спутниковых информационных и навигационных систем длительный и трудоемкий процесс, что обусловлено, во-первых, их высокой технической сложностью, и, во-вторых, необходимостью подготовки соответствующего комплекса методов и алгоритмов с последующей отработкой с целью реализации сценариев эффективного применения аппаратных средств в интересах улучшения характеристик всей системы в целом. Процессы разработки и внедрения новых аппаратных средств осложнены существующим разнообразием неконтролируемых неопределенных и случайных факторов, подлежащих учету при проведении сеансов измерений. Актуальность разработки методов и алгоритмов получения, планирования, сбора и обработки измерений, минимизирующих влияние упомянутых факторов на конечную точность определяемых параметров применительно к ГЛОНАСС обусловлена еще и тем фактом, что рассматриваемая в работе аппаратура для проведения радиотехнических и оптических измерений, несмотря на свою перспективность, в настоящий момент в штатном режиме функционирования наземных и орбитальных средств не применяется. Все вышесказанное и порождает необходимость проведения ряда мероприятий по формированию способов, методов и алгоритмов ее вовлечения в действующие процессы функционирования орбитальной группировки, что, в свою очередь, требует проведения полномасштабных экспериментальных исследований. В настоящий момент, когда речь идет об улучшении точности в глобальных навигационных спутниковых системах, в первую очередь предполагается снижение уровня той ошибки в измеряемой потребителем псевдодальности, которая обусловлена только орбитальным сегментом и соответствующими погрешностями: главным образом, эфемерид и часов. Достигнутый на текущий момент уровень этой ошибки в ГЛОНАСС более метра нельзя назвать лучшим среди конкурентных систем, в связи с чем важным направлением работ и исследований являются разработки, посвященные способам улучшения обсуждаемого точностного показателя, особенно, если речь идет о подходе к развитию на длительную перспективу и уходу от существующих в настоящий момент технических и технологических ограничений в части точности данных, доступности, автономности навигационных космических аппаратов.

Из сказанного следует, что диссертационная работа, целью которой является создание научного задела, способствующего эффективному внедрению предлагаемых информационных технологий в интересах улучшения характеристик ГЛОНАСС до

– представлении упомянутой выше совокупности методов и алгоритмов в форме единого программного комплекса, с помощью которого продемонстрирована потенциальная возможность достижения поставленной цели по улучшению точностных характеристик ГЛОНАСС на основе современных и перспективных информационных технологий;

Значимость для науки и практики

Теоретическая значимость работы соискателя заключается в разработке методов и алгоритмов, обеспечивающих поэтапное, либо одновременное оценивание параметров векторов состояния навигационных космических аппаратов в условиях наличия случайных и систематических погрешностей, препятствующих повышению точностных характеристик эфемеридно-временного обеспечения ГЛОНАСС. Иными словами, в работе предложена декомпозиция модели ЭППД, рассматриваемой автором в качестве ключевой составляющей навигационной системы. Для определения каждого элемента модели ЭППД предложены отдельные наборы методов и алгоритмов, которые впоследствии отработаны с применением реальных данных, что в итоге дало возможность получить понимание относительно потенциально достижимого уровня точности оценок каждого элемента модели ЭППД.

Практическая значимость работы соискателя заключается в наработке определенного набора результатов экспериментальных исследований, в которых, в том числе, учтено появление перспективных аппаратных средства и дополнений системы ГЛОНАСС. Самостоятельный интерес представляет предложенный автором программный макет, с использованием которого получены упомянутые выше результаты, поскольку такой инструмент может быть использован для дальнейшего развития системы и прототипирования отдельных технологий в интересах внедрения развиваемого подхода в процесс эксплуатации отечественной спутниковой системы.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность

Содержание диссертации структурировано соответственно этапам, обеспечивающим решение частных задач по компенсации влияния отдельных составляющих погрешностей, входящих в состав общей ЭППД, приводящим к решению комплексной задачи, т. е. к достижению поставленной цели – улучшению точностных характеристик ГЛОНАСС. Работа включает четыре главы.

В первой главе рассматриваются:

- методы и алгоритмы прогнозирования эфемерид НКА ГЛОНАСС, основанные на использовании математических моделей и методов;
- алгоритмы уточнения эфемерид на борту НКА ГЛОНАСС на основе обработки измерений псевдодальностей, сформированных между парами НКА,;
- результаты отработки с использованием программного макета методов и алгоритмов прогнозирования эфемерид НКА с применением реальных данных об эфемеридах и ПВЗ;
- результаты отработки на программном макете методов и алгоритмов комплексного уточнения эфемерид различных спутниковых группировок ГЛОНАСС в режиме между закладками точных эфемерид и при их отсутствии, а также алгоритмов прогнозирования и уточнения эфемерид на основе обработки межспутниковых измерений с учетом обмена информацией по межспутниковой линии связи;
- оценки статистических характеристик ЭППД, вызванной ошибками эфемерид в инерциальной системе координат, в различных режимах функционирования ГЛОНАСС.

В главе 2 представлены:

- методы и алгоритмы прогнозирования параметров вращения Земли (ПВЗ), включающих смещение координат полюса и длительность суток;
- решение оптимизационной задачи при прогнозировании ПВЗ на основе обработки апостериорных данных путем подбора оптимальной длины интервала их аппроксимации и вида используемого полинома, а также интервала авторегрессии;
- методы и алгоритмы формирования на борту космического аппарата оценок параметров вращения Земли на основе обработки измерений псевдодальностей до наземных станций и терминалов;
- статистические характеристики оценок ПВЗ, полученных в процессе проведения и обработки измерений, при различных условиях выполнения этих процедур.

Глава 3 посвящена объединению в единую циклограмму функционирования методов и алгоритмов, представленных в главах 1 и 2, и описанию особенностей реализации соответствующего технологического цикла, включающего порядок и условия взаимодействия аппаратных средств наземных станций и космических аппаратов. Здесь же проведена демонстрация итеративного решения задачи по одновременному уточнению эфемерид с возможностью формирования оценок эфемерид и ПВЗ, соответствующих уровню ЭППД порядка 0,2 м (с вероятностью 0.95).

В главе 4 описаны:

- методы повышения точностных характеристик ГЛОНАСС в части последовательного улучшения показателя SISRE по каждому космическому аппарату на основе привлечения дополнительных измерительных средств и устранения ряда систематических составляющих погрешностей, а также совершенствования способов синхронизации отечественной СК ПЗ90 с другими системами;
- методы и алгоритмы оценки выносов фазовых центров антенн и задержек в приемо-передающих трактах на борту НКА на основе использования апостериорной эфемеридно-временной информации и частотно-временных поправок и измерений псевдодальностей до станций и между НКА;
- методы и алгоритмы синхронизации бортовых шкал времени на основе использования измерений между наземными станциями/терминалами и НКА ОГ ГЛОНАСС.

При этом рассмотрены все основные составляющие погрешностей, имеющие первостепенное значение для снижения уровня ЭППД.

Тема и содержание материалов диссертации соответствуют паспорту научной специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов, в частности, отвечает пунктам 1, 7, 12, 14, 15, 17 раздела «Направления исследований» паспорта.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты, полученные соискателем в ходе подготовки диссертационной работы, могут быть использованы при формировании концепции и плана мероприятий по совершенствованию ГЛОНАСС на длительную перспективу, в том числе после 2030 года.

Теоретические результаты могут быть востребованы при выполнении научно-исследовательских работ по модернизации и определению потенциально достижимых характеристик точности ГЛОНАСС, связанных с:

- совершенствованием методов и алгоритмов формирования эфемеридно-временного обеспечения ГЛОНАСС;
- разработкой методов сличения шкал времени и погрешностей бортовых и наземных аппаратных средств;

уровня, обеспечивающего этой системе лидирующую позицию в отношении точности среди конкурентных ГНСС, несомненно является актуальной.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Декомпозиция общей научно-технической задачи на отдельные этапы проведена обоснованно и соответствует классификации существующих неконтролируемых факторов, приводящих к наличию ошибок в эфемеридно-временном обеспечении навигационных космических аппаратов и последующему росту эквивалентной погрешности псевдодальности (ЭППД).

Материал, раскрывающий влияние на ЭППД основных обсуждаемых в работе неконтролируемых факторов, и описание предлагаемых в диссертации подходов и методов к их нивелированию представлен с учетом:

- характеристик случайных и систематических составляющих погрешностей измерений рассматриваемых аппаратных средств и доступных на борту априорных;
- специфики рассматриваемых процессов функционирования космических аппаратов и наземных и бортовых аппаратных средств и существующих ограничений на их взаимодействие;
- результатов многолетнего наблюдения за ГЛОНАСС наземными центрами.

Полученные выводы в том числе основаны на итогах сравнительного анализа результатов, подтверждаемых имеющимися фактическими данными, взятыми из достоверных источников или из итогов проведенных ранее работ, другими учеными, занятыми проблематикой повышения точности формирования эфемеридно-временной информации навигационных космических аппаратов на основе обработки измерений.

Обоснованность положений и выводов подкрепляется также апробацией работы проведенной в ходе выступлений на международных конференциях, на которых были представлены основные тезисы работы, а также успешным внедрением результатов работы на предприятиях, занятых в космической отрасли.

Достоверность и новизна научных положений

Основу используемого математического аппарата составляют классические модели, базирующиеся на законах и соответствующих соотношениях ньютоновской механики, небесной механики и ряде общепринятых фактов. Применяемые автором алгоритмы формирования оценок в основном построены на традиционном и наиболее распространенном методе обработки информации – обычном (классическом) методе наименьших квадратов. Корректность его применения обусловлена тем фактом, что систематические составляющие погрешности устранены за счет предварительной обработки, чему автор посвятил отдельный раздел работы.

Новизна разработанных автором научных положений, выводов и рекомендаций состоит в:

- формализации развитого подхода к решению задачи снижения ЭППД навигационных космических аппаратов ГЛОНАСС, обусловленной разного рода погрешностями космического сегмента, в виде иерархически упорядоченной совокупности методов и алгоритмов;
- разработке технологического цикла, отличающегося тем, что на борту НКА решается совокупность задач независимого формирования эфемеридно-временного обеспечения на основе комплексного применения бортовых и наземных радиотехнических и оптических аппаратных средств.

– определением точностных характеристик ГЛОНАСС в части погрешностей, связанных с результатами баллистико-навигационного и частотно-временного обеспечения ГЛОНАСС

Практические результаты, полученные соискателем, могут быть использованы при:

- расширения сети наземных станций, выборе мест их размещения и формировании схемы взаимодействия их с орбитальной группировкой;
- развертывании функциональных дополнений ГЛОНАСС;
- проектировании и размещении на борту НКА перспективных аппаратных средств проведения радиотехнических и оптических измерений;
- разработке, модернизации и отработке на имитационных моделях новых межспутниковых информационных линий обмена данными, задействованных при решении различных целевых задач и задач эфемеридно-временного обеспечения.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, мнение о научной работе соискателя в целом

Работа базируется на проведенном анализе значительного объема основных научных трудов ученых, занятых в исследуемой предметной области, при этом не содержит повторений известных материалов, за исключением тех, которые касаются существа применяемых «классических» методов и/или алгоритмов.

Несомненным достоинством работы является тот факт, что при проведении исследований использован значительный объем экспериментальных данных, накопленных в течение длительного времени.

Следует также отметить, что результаты работы внедрены в АО «Информационные спутниковые системы имени академика М.Ф. Решетнева», в АО «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения», на кафедре 704 «Информационно-управляющие комплексы ЛА» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Важно подчеркнуть, что полученные результаты, кроме всего прочего определяют и направления дальнейших исследований, касающихся путей повышения точностных характеристик ГЛОНАСС до уровня, обеспечивающего этой системе лидирующую позицию.

Результаты диссертационной работы опубликованы в 14 научных трудах, в изданиях, входящих в список МРБД ВАК, зарегистрированных в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ) и Российском центре научной информации (РЦНИ) и иностранных библиографических и реферативных базах данных SCOPUS, Web Of Science, в 3 учебных пособиях, в сборниках тезисов и трудов 4 конференций.

Аннотация диссертации хорошо структурирована, соответствует тексту диссертации и содержит основные теоретические сведения и выводы, сформированные по результатам проведенных исследований.

По работе можно отметить следующие перечисляемые ниже недостатки.

1. Алгоритмы обработки основаны на разделении задачи на этап прогноза и этап оценивания вектора постоянных параметров. В месте с тем это единая задача и было бы правильнее, по крайней мере на этапе постановки, так ее и формулировать, записав уравнения для динамики изменения вектора оцениваемых параметров и те измерения, которые используются при оценивании. Такая постановка создала бы предпосылки к

решению задачи фильтрации и сглаживания с использованием всего набора измерений, не разделяя их на группы (циклы).

2. Практически все алгоритмы, используемые для оценивания параметров, сводятся к обычному методу наименьших квадратов. В качестве обоснования его применения справедливо отмечается его простота и отсутствие каких-либо параметров для настройки. Однако для более эффективного применения МНК следовало бы учесть факт корреляции погрешностей используемых измерения или обосновать факт их некоррелированности. Можно предположить, что учет наличия такой корреляции позволил бы повысить точность оцениваемых параметров за счет использования обобщенного метода наименьших квадратов (ОМНК), учитывающего наличие возможной корреляции. Сравнение результатов использования МНК и ОМНК значительно бы обогатило саму работу.

3. При реализации МНК, судя по приведенным формулам, предполагается применять нерекуррентную схему используемого набора измерений. Вместе с тем для простейшего МНК может быть построена рекуррентная схема. Такая возможность в работе не обсуждается. Также не оговариваются возможные размерности матрицы $\mathbf{H}$ и $\Delta\mathbf{H}$.

4. В главе 3 отмечается, что разработан программный макет, предназначенный для отработки и отладки предлагаемых перспективных алгоритмов. В то же время во введении говорится об описании отдельных решений, примененных при разработке программного макета и отдельный раздел, описывающий такой макет, в главе 3 не представлен.

5. Список литературы в 70 наименований желательно было бы расширить, тем более, что в некоторых местах хотелось бы видеть ссылки на литературу для уточнения логики получения приводимых соотношений.

6. Работа называется "Методы, алгоритмы и..." в то же время в тексте часто используется слово методика, хотя разница со словом "метод" не поясняется.

7. В целом работа написана грамотным русским языком, однако автор злоупотребляет использованием слова "данный, данные", причем не только по прямому назначению, когда речь идет об измерительных данных, но в смысле - "в данной главе, в данной работе" и т.д. Нельзя признать удачным термин "аддитивные информационные технологии", использованный в разделе 4, поскольку в настоящее время под аддитивными технологиями традиционно понимаются технологии, связанные с 3D печатью. Представляется также, что можно было бы сократить количество используемых аббревиатур. Кроме того, в работе имеются отдельные опечатки и неточности, так: на с. 2 - рЕ -д.б. ре; с.123 -2.4 д.б.2.3; на с.125 - 1.2. - д.б. 2.2; с. 127 -DUTDUT; с.134 - "определить с" (с -лишнее); с.147 - выражение (2.21) - отсутствует; с. 208 - 1.98 - д.б. 1.9; на с. 208 д.б. знаки приближения.

Отмеченные недостатки не уменьшают ценность проведенной работы, не снижают ее значимость и в значительной степени могут рассматриваться как возможные рекомендации при проведении дальнейших исследований.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней»

С учетом содержания диссертации и автореферата, можно сделать вывод о том, что исследование Кружкова Дмитрия Михайловича является самостоятельно выполненным полноценным научным трудом, содержащим оригинальный вариант решения актуальной

комплексной научно-технической проблемы повышения точностных характеристик отечественной системы ГЛОНАСС, обеспечивающим, в итоге, ощутимый результат с точки зрения конкурентоспособности ГЛОНАСС на международном уровне.

По своему научному содержанию, глубине и полноте проведенных экспериментальных исследований, а также значимости и ценности полученных результатов, диссертационная работа Кружкова Д.М. соответствует паспорту специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов, требованиям пункта 9 «Положение о порядке присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Кружков Дмитрий Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент

д.т.н., профессор, член-корр. РАН,
начальник Научно-образовательного
центра Акционерное общество
«Концерн «Центральный научно-
исследовательский институт
«Электроприбор»



Степанов Олег Андреевич

«__» _____ 2025 г.

Контактные данные:

197046, г. Санкт - Петербург, М.Посадская, 30

e-mail: office@eprib.ru

тел.: +7 812 232-35-62

Подпись начальника научно-образовательного центра Степанова Олега Андреевича заверяю.

Ученый секретарь

Акционерное общество «Концерн
«Центральный научно-исследовательский
институт «Электроприбор», д.т.н.
29.09.2025



Литманович Ю.А.

с отзывом
30.09.25