

Акционерное общество
«Российская корпорация ракетно-космического
приборостроения и информационных систем»



Авиамоторная, д. 53, Москва, 111250, почтовый адрес: а/я 16, г. Москва, 111250
тел.: +7 495 673-94-30, факс: +7 495 509-12-00, www.russianspacesystems.ru, contact@spacecorp.ru
ОКПО11477389 ОГРН1097746649681 ИНН7722698789 КПП77450001

от 29.08.2025 № РКС МТС 9-21

На № _____ от _____

Ученому секретарю
диссертационного совета
24.2.327.03
А.В. Старкову

125993, г. Москва, Волоколамское
шоссе, д.4, МАИ

Уважаемый Александр Владимирович!

Направляю Вам отзыв официального оппонента доктора технических наук, профессора, академика РАН, заслуженного деятеля науки Российской Федерации **Бетанова Владимира Вадимовича**, главного научного сотрудника - заместителя начальника центра АО «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем», 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.

Приложение: отзыв - 2 экз. на 5 листах каждый.

Ученый секретарь
АО «Российские космические системы»,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник





Сергей Анатольевич Федотов



Авиамоторная, д. 53, Москва, 111250, почтовый адрес: а/я 16, г. Москва, 111250
тел.: +7 495 673-94-30, факс: +7 495 509-12-00, www.russianspacesystems.ru, contact@spacecorp.ru
ОКПО11477389 ОГРН1097746649681 ИНН7722698789 КПП774550001

от 29.08.2025 № PKS ИТС 9-21

На № _____ от _____

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора технических наук, профессора, академика РАН, заслуженного деятеля науки Российской Федерации **Бетанова Владимира Вадимовича**, главного научного сотрудника - заместителя начальника центра АО «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем», 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 темы диссертации

Исследования, связанные с разработкой и модернизацией отдельных составных элементов и/или целых систем в космической отрасли всегда будут являться актуальными ввиду своей востребованности широким кругом потребителей и использования передовых критических технологий. В работе соискателя в качестве объекта исследования выбрана навигационная спутниковая система ГЛОНАСС, являющаяся собой одно из лучших достижений отечественного космоса. Тем не менее, в настоящее время с учетом ее роли в народном хозяйстве и высокого спроса на предоставляемые потребителю информационно-навигационные услуги по-прежнему актуальным является всестороннее развитие системы, потребность в котором обусловлена, в том числе, серьезной конкуренцией с зарубежными аналогами и широким спектром требуемых направлений ее совершенствования. В частности, соискателем обсуждается улучшение показателя SISRE, который в настоящий момент общепринято характеризует точностные характеристики, обеспечиваемые навигационной системой. Необходимо отметить, что в текущий момент значение SISRE у ГЛОНАСС может достигать в отдельных случаях даже 2 метров и потому снижение данного показателя до уровня, например, Galileo, является весьма актуальным, подтверждая, еще раз, **актуальность рецензируемой диссертационной работы**. Еще одним обстоятельством, определяющим актуальность исследований соискателя, является поиск и применение альтернативных подходов к развитию ГЛОНАСС, в рамках которых повышается как роль борта навигационного космического аппарата, так

и его интеллектуальные возможности, в том числе за счет применяемого нового оборудования и программного обеспечения. Данная концепция находит все большее отражение в силу усложнения процессов сопровождения и обслуживания спутниковых группировок, связанного с повышающимися требованиями к точности, оперативности информации и существенным разнообразием создаваемых и внедряемых в спутниковых системах аппаратных средств, как наземных, так и бортовых, каждый из образцов которых требует разработки соответствующих информационных технологий, решающих проблемы их взаимной калибровки в рамках общего технологического цикла функционирования ГЛОНАСС.

Новизна полученных результатов

Новизна результатов исследований соискателя обусловлена, в первую очередь, тем фактом, что им предложен альтернативный сценарий развития ГЛОНАСС, в котором решаемая традиционно на земле задача навигационно-баллистического обеспечения решается, во-первых, на борту НКА и, во-вторых, с использованием независимого парка размещаемых на земле и на борту аппаратных средств формирования радиотехнических и оптических измерений, в настоящий момент не применяемых в штатном технологическом цикле функционирования орбитальной группировки. В связи с необходимостью реализовать такую концепцию соискателем сформулированы новые научные результаты, перечисленные ниже:

- получены потенциально достижимые оценки точности рассчитываемой на борту НКА ГЛОНАСС эфемеридно-временной информации, при формировании которой решаются одновременно задачи прогнозирования и уточнения эфемерид КА в инерциальном пространстве и определения параметров вращения Земли и показана принципиальная возможность снижения эквивалентной погрешности псевдодальности (SISRE) до 0.5 м за счет применения ряда дополнительных процедур;
- предложены методики и алгоритмы, устраняющие ряд неконтролируемых факторов, таких как задержки в приемно-передающих трактах и неопределенности выносов фазовых центров антенных систем, препятствующих на данный момент применению радиотехнических средств измерений, размещаемых на земле и на борту НКА, в интересах решения задачи по уточнению эфемеридно-временной информации.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций

Достаточная степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается:

- корректной декомпозицией задачи исследования, направленной на решение научно-технической проблемы повышения точностных характеристик ГЛОНАСС, на набор взаимодополняющих частных подзадач;
- непротиворечивостью теоретических положений и последовательностью выполнения диссертационного исследования;
- применением существующего задела в части баллистико-навигационного обеспечения, в части обработки измерительной информации и дополнением его новыми элементами под решение новых задач;
- верификацией результатов реальными данными.

Теоретическая значимость работы состоит в предложенных автором методиках и алгоритмах применения наземных и бортовых аппаратных средств в технологическом

цикле функционирования НКА ГЛОНАСС. Здесь, в первую очередь, следует отметить методику интеграции процедур прогнозирования эфемерид НКА и уточнения на основе измерений, результаты использования которой показали возможность удержания погрешности эфемерид на интервалах времени различной длительности. Кроме того, необходимо отметить методику сличения фактических измерений и их геометрической интерпретации при настройке процедур определения систематических погрешностей измерений, обусловленных задержками навигационного сигнала в трактах аппаратуры и выносами фазовых центров антенн.

Практическая значимость работы состоит в получении массива результатов экспериментальных исследований, проводимых с рассмотрением перспективного высокоорбитального сегмента ГЛОНАСС, а именно: достижимых характеристик точности формируемых на борту оценок эфемерид, ПВЗ, систематических погрешностей измерений.

Самостоятельное прикладное значение имеет программный макет, с помощью которого можно адаптировать концепцию автора под изменяющиеся реальные условия функционирования и характеристики аппаратных средств, размещенных на земле и на НКА.

Оценка содержания и завершенности диссертации

Первая глава содержит описание основных методик и алгоритмов, применяемых для формирования высокоточных эфемерид НКА. В качестве базовых процедур рассмотрено прогнозирование движения НКА с использованием дифференциальных уравнений возмущенного движения тела в окрестности Земли с расширенной правой частью, содержимое которой дополнено моделью влияния солнечного давления, реализованной с помощью коэффициентов учета действия этого фактора на каждый НКА из ОГ. Данная модель является известной, однако автор настроил путем экспериментов оптимальный интервал и сформировал набор значений упомянутых коэффициентов под каждый из аппаратов ГЛОНАСС, обосновав достаточность выбора данной методики для реализации второго этапа предлагаемых процедур – уточнения эфемерид НКА на основе обработки измерений. К вопросу уточнения автор привел методику сбора и обработки измерений псевдодальностей, сформированных между спутниками текущей и перспективной ОГ, обосновав наличие технологического цикла, в котором таким образом формируются эфемериды в инерциальной системе координат (СК).

Вторая глава повествует о прогнозировании и уточнении параметров вращения Земли (ПВЗ). Методики и алгоритмы, предназначенные для их определения, существуют достаточно давно. Однако, так как эфемериды НКА изначально формируются в инерциальной СК, а потребителю их надо передавать в земной СК, при том что координаты наземных станций также заданы в земной СК, автором опробовано несколько различных моделей и алгоритмов в новой постановке и с их помощью проведено исследование решения на борту НКА созвездия ОГ задачи по определению ПВЗ с учетом различных конфигураций размещения наземных станций в различных частях света. Итоговый эксперимент, насколько можно судить, проведен с существующими наземными станциями. Результат этого эксперимента показывает

принципиальную возможность формирования рядов ПВЗ на борту НКА в реальном времени.

В третьей главе решается задача интеграции процессов уточнения эфемерид и ПВЗ, сложность задачи обусловлена смешанной наблюдаемостью этих параметров и, как следствие, совместного их влияния на ошибки измерений псевдодальностей между НКА и наземными станциями. Автору удалось показать возможность решения задачи одновременного уточнения всех параметров, необходимых для формирования на борту НКА эфемеридной информации с высокой точностью.

В четвертой главе развивается информационная технология, обеспечивающая устранение тех факторов, которые препятствовали бы реализации описанных в первых трех главах методик и алгоритмов. Речь идет прежде всего об устранении систематических погрешностей, связанных с использованием аппаратных средств, без нивелирования которых невозможно получать точное навигационное решение без смещённых оценок.

Замечания по диссертации

В работе можно отметить ряд недочетов:

1. Несмотря на упоминание о формировании и отработке в программном макете прототипа бортового алгоритма, не приводятся требуемые с точки зрения оценки вычислительных и оперативно-запоминающих ресурсов бортового вычислителя, которые сложились в результате реализации конечных версий разработанных автором методик и алгоритмов.
2. Раскрыть задуманный соискателем технологический цикл, включающий организацию линий межспутникового обмена информацией по радиотехническим каналам и с помощью лазерной навигационно-связной системы, можно было и более подробно.

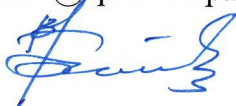
С учетом общей тенденции к повышению интеллектуальной составляющей бортовых комплексов и цифровизации систем и средств, применяемых в современных образцах техники, в том числе космических аппаратах, отмеченные недостатки не снижают общей ценности развиваемого автором подхода и проведенной работы.

Заключение

Анализ диссертации и автореферата показывает, что диссертационное исследование **Кружкова Дмитрия Михайловича** является самостоятельно выполненным, завершённым научно-квалификационным трудом, в котором предложен вариант решения проблемы повышения точностных характеристик ГЛОНАСС и разработан комплекс соответствующих методик и алгоритмов, обеспечивающий достижение поставленной цели, имеющей важное значение для совершенствования космической деятельности и повышения обороноспособности страны, а именно: обеспечить лидирующую позицию ГЛОНАСС в дальней перспективе. По своему научному содержанию, глубине и полноте проведенных 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 «Положения о порядке присуждения 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.

Главный научный сотрудник-
заместитель начальника экспертно-аналитического центра
АО «Российские космические системы»,
заслуженный деятель науки РФ, д.т.н, профессор, академик РАН
8-495-673-96-61, Email: betanov@spacecorp.ru



Владимир Вадимович Бетанов

Подпись главного научного сотрудника-заместителя начальника центра Бетанова
Владимира Вадимовича заверяю.

Ученый секретарь
АО «Российские космические системы»,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник



Сергей Анатольевич Федотов

«29» августа 2025 г.

С отзывом согласен
05.09.2025


Сведения об организации: Акционерное общество «Российские космические системы»
(АО РКС), 111250, г. Москва, улица Авиамоторная, д. 53, официальный сайт:
<https://russianspacesystems.ru/>, эл. почта: contact@spacecorp.ru
тел.: 8 (495) 673 9430.