ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертационную работу Жамкова Александра Сергеевича

«Моделирование орбит космических аппаратов для решения астрометрических и гравиметрических задач»,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «01.03.01 – астрометрия и небесная механика»

Актуальность диссертационной работы Александра Жамкова определяется потребностями отечественной космической отрасли для организации и проведения фундаментальных астрометрических и гравиметрических проектов. К современным астрометрическим проектам предъявляются очень высокие требования – микросекундная точность позиционирования небесных тел и миллисекундная точность к ориентации и стабилизации космического аппарата (КА). Требования к современным гравиметрическим проектам – определение взаимного положения между КА на орбите лучше микрона, компенсация негравитационных ускорений на уровне лучше 10^{-10} м/с². Для выполнения указанных требований необходимо осуществлять высокоточное позиционирование КА на орбите, что не представляется возможным без проведения моделирования космической миссии.

Новизна и цель представленной диссертационной работы заключается в создании унифицированного программного комплекса на основе высокоточной модели движения КА, а также методов уточнения орбиты КА для дальнейшего его использования в космических проектах астрометрической и гравиметрической направленности, требующих определения орбиты КА с высокой точностью.

Значимость диссертационной работы определяется возможностью в перспективе осуществлять прецизионное моделирование орбит отечественных КА для реализации проектов, решающих широкий спектр как научно-прикладных задач в интересах социально-экономического сектора, так и задач двойного назначения.

Основным результатом диссертации А.С. Жамкова является определение требований к позиционированию КА на орбите в зависимости от типа задач, решаемых КА, и типа его рабочей орбиты.

В рамках моделирования движения КА на низкой околоземной орбите в интересах решения фундаментальных задач гравиметрии были получены следующие результаты.

1. Для увеличения чувствительности системы «спутник-спутник» необходимо варьировать взаимное расстояние между КА в зависимости от желаемого максимального порядка разрешаемой гармоники; при увеличении порядка расстояние между КА необходимо уменьшать; для разрешения $n=250$ гармоники потребуется взаимное расстояние ≈ 90 км.
2. Чем выше порядок разрешаемой гармоники, тем строже требования к измерительной аппаратуре межспутникового расстояния: для $n=150$ за время 10 секунд (время накопления сигнала) необходимо выявлять эффекты порядка микрона, для $n=200$ этот эффект уже порядка нанометра; по этой причине разрешение гармоник выше $n=250$ с помощью орбитальной космической группировки КА не представляется возможным с существующим уровнем развития отечественных технологий.
3. Работа КА на высоте $h \approx 400$ км наиболее предпочтительна для системы

«спутник-спутник», чем на высотах 300 и 500 км; работа на высотах ниже 400 км затруднена вследствие сильного тормозного воздействия со стороны атмосферы; при работе на высотах более 400 км регистрация тонкой структуры гравитационного поля становится все более проблематичной ввиду потери чувствительности к амплитудам гармоник гравитационного потенциала.

4. Оптимальным временем проведения непрерывных измерений для достижения разрешения 250 гармоник является период 1 месяц.
5. Необходимая точность позиционирования КА на орбите для решения гравиметрических задач должна составлять ≈ 1 см и может быть достигнута только благодаря использованию сигналов ГНСС.

Моделирование движения КА на высокой эллиптической орбите в рамках решения фундаментальных астрометрических задач на примере проекта «Радиоастрон» показало следующие результаты.

1. С помощью алгоритма фильтра Калмана на основе радиодальномерных и доплеровских измерений улучшен показатель отношения сигнал/шум с одновременным уменьшением задержки и остаточной частоты интерференции в результате корреляционной обработки данных наблюдений, что является уверенным подтверждением успешной работы алгоритма по уточнению орбиты КА.
2. Измерения дальности и радиальной скорости должны производиться минимум с трех наземных станций, для которых КА находится в зоне видимости. Измерения могут быть разных типов (радиодальномерные, лазерные, а также их комбинация). Необходимы отдельно дальномерные измерения для уточнения 3 координат и доплеровские – для уточнения 3 компонент скоростей.
3. Необходимо рассмотреть возможность одновременных измерений со станций «Медвежья Озера» и «Уссурийск». Нужно по возможности их совмещать, так как раздельное использование нерационально. Если недоступны одновременные измерения, то будут полезны измерения с задержкой в несколько секунд между станциями.
4. Период радиодальномерных измерений следует по возможности увеличить. В настоящий момент сеансы измерений занимают приблизительно 900 секунд, что может быть недостаточно для полноценного уточнения орбиты КА с помощью метода фильтрации типа Калмана. Для высокоапогейных КА это не представляет трудностей, поскольку они доступны для радиосвязи в течение достаточно большого промежутка времени.

В рамках моделирования движения КА на высокой круговой околоземной орбите в интересах решения задач фундаментальной гравитации были получены следующие результаты.

1. Измерительная система КА в составе орбитальной группировки по детектированию ГВ должна быть способна проводить измерения межспутникового расстояния с точностью ≈ 1 пм на фоне изменения длины базы $\approx 0,2$ м/с.
2. Для выявления эффектов прохождения ГВ необходим в том числе учет атмосферы Земли, оказывающей ускорение $\approx 10^{-14}$ м/с² при требуемой чувствительности эксперимента $\approx 10^{-15}$ м/с².
3. Максимальная скорость коррекции угла при наведении луча лазера на другой КА в орбитальной группировке составляет $\approx 1,25 \times 10^{-4}$ "/с, при этом оценка сверху для точности упреждения луча $\approx 7,2 \times 10^{-5}$ ".
4. Навигация КА на планируемой высоте проведения эксперимента может быть

обеспечена средствами дальней космической связи, а также использованием слабого сигнала ГНСС с применением специальной приемной аппаратуры.

Личный вклад А.С. Жамкова заключается в разработке программного комплекса, состоящего из двух программ, предназначенных для проектирования высокоточных орбит КА и планирования экспериментов по определению геодезических параметров Земли, а также обеспечения планирования измерений геодезических параметров Земли в части спутниковой градиентометрии и межспутниковых измерений. Изложенные выше результаты получены с помощью написанных программ. Кроме этого автором была написана программа, использующая фильтр Калмана для уточнения орбиты КА «Спектр-Р» в проекте «Радиоастрон».

Результаты работы представлены в 4 рецензируемых публикациях.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждаются апробацией результатов работы программы в части астрометрической направленности на корреляторе АКЦ ФИАН при обработке наблюдений проекта «Радиоастрон», в части гравиметрической направленности – при сравнении полученных данных с имеющимися данными зарубежных проектов.

Следует отметить положительные качества А.С. Жамкова как серьезного исследователя. На 3-м курсе астрономического отделения физического факультета МГУ он начал знакомиться с современными проблемами астрометрии, гравиметрии и небесной механики. К защите дипломной работы он проявил себя как грамотный программист и успешно использовал свои знания при обработке наблюдений в проекте «Радиоастрон». В настоящий момент он обладает основными приемами и методами фундаментальной астрономии, умеет работать с современной литературой, самостоятельно ставить и решать сложные задачи.

Считаю, что Александр Сергеевич Жамков является сложившимся исследователем, его диссертационная работа полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.03.01 – астрометрия и небесная механика.

Научный руководитель,
д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой небесной механики,
астрометрии и гравиметрии физического факультета МГУ,
зав. лабораторией гравиметрии ГАИШ МГУ

В.Е.Жаров

Подпись В.Е.Жарова удостоверяю.
Директор ГАИШ МГУ, академик РАН

А.М.Черепашук