Проблемы навигационной астрономии

Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК)

Кафедра астрономии и космической геодезии

Год: 2025

# ВВЕДЕНИЕ

\*\*Введение\*\*
Навигационная астрономия, являясь одним из ключевых разделов прикладной астрономи и мореходной астрономии, традиционно занимается определением координат судна или летательного аппарата посредством наблюдения небесных светил. Несмотря на развитие спутниковых навигационных систем, таких как GPS, ГЛОНАСС и Galileo, астрономические методы сохраняют свою актуальность в качестве резервных и автономных средств навигации, особенно в условиях ограниченного доступа к спутниковым сигналам или их преднамеренного подавления. Однако современная навигационная астрономия сталкивается с рядом проблем, обусловленных как техническими, так и методологическими факторами, что требует углублённого анализа и поиска новых решений.
Одной из наиболее значимых проблем является снижение точности астрономических наблюдений из-за атмосферных искажений, рефракции, а также влияния светового загрязнения в прибрежных и урбанизированных зонах. Кроме того, традиционные методы расчёта координат, основанные на использовании мореходных таблиц и секстантов, требуют высокой квалификации навигатора и остаются трудоёмкими, что ограничивает их применение в условиях динамично меняющейся навигационной обстановки. В связи с этим актуальной задачей становится разработка автоматизированных систем астронавигации, интегрирующих современные алгоритмы обработки изображений и машинного обучения для повышения точности и скорости определения местоположения.
Ещё одной важной проблемой является зависимость астрономических методов от видимости небесных тел, что существенно ограничивает их применение в условиях облачности, полярной ночи или в высоких широтах. В данном контексте перспективным направлением представляется использование радиоастрономических методов, основанных на наблюдении пульсаров и других космических источников радиоизлучения, обладающих высокой стабильностью. Однако их практическая реализация требует преодоления технических сложностей, связанных с созданием компактных и энергоэффективных приёмных систем.
Таким образом, несмотря на многовековую историю развития, навигационная астрономия продолжает сталкиваться с рядом актуальных вызовов, решение которых требует междисциплинарного подхода, объединяющего достижения астрономии, геодезии, оптики и вычислительной техники. Данный реферат посвящён комплексному анализу существующих проблем навигационной астрономии, а также оценке перспективных направлений их преодоления.

# ИСТОРИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ НАВИГАЦИОННОЙ АСТРОНОМИИ

неразрывно связано с эволюцией мореплавания и астрономических знаний. Первые попытки использования небесных светил для ориентации на местности прослеживаются уже в древних цивилизациях. Финикийцы, греки и полинезийцы применяли звёзды для определения направления в открытом море, что позволяло им совершать дальние плавания. Однако систематизация астрономических методов навигации началась лишь в эпоху Великих географических открытий, когда потребность в точных способах определения координат стала критически важной.
В XV–XVI веках португальские и испанские мореплаватели, такие как Васко да Гама и Христофор Колумб, активно использовали простейшие инструменты – астролябии и квадранты – для измерения высоты Солнца и Полярной звезды. Эти измерения позволяли приблизительно оценивать широту места, но определение долготы оставалось нерешённой проблемой. Отсутствие точных хронометров затрудняло вычисление географической долготы, что нередко приводило к навигационным ошибкам и катастрофам. Лишь в XVIII веке, после изобретения морского хронометра Джоном Гаррисоном, астрономические методы достигли достаточной точности для надёжного определения координат.
Дальнейшее развитие навигационной астрономии связано с совершенствованием инструментов и математических методов. В XIX веке широкое распространение получили секстанты, позволившие повысить точность угловых измерений. Теоретические основы расчётов были заложены в трудах таких учёных, как Пьер-Симон Лаплас и Карл Фридрих Гаусс, разработавших методы обработки астрономических наблюдений. Появление мореходных астрономических ежегодников и таблиц упростило вычисления, сделав методы доступными для широкого круга мореплавателей.
XX век ознаменовался переходом к автоматизированным системам, однако навигационная астрономия сохранила своё значение как резервный метод. Развитие радио- и спутниковых технологий снизило зависимость от визуальных наблюдений, но в условиях отказа электронных систем астрономические методы остаются незаменимыми. Современные исследования в этой области направлены на интеграцию традиционных методов с цифровыми технологиями, что открывает новые перспективы для повышения точности и надёжности астронавигации. Исторический опыт демонстрирует, что навигационная астрономия, пройдя длительный путь от примитивных наблюдений до сложных математических моделей, продолжает играть ключевую роль в обеспечении безопасности мореплавания и авиации.

# СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИИ

представляют собой совокупность высокоточных технологий, позволяющих определять местоположение объекта в пространстве с использованием небесных тел. Несмотря на широкое распространение спутниковых систем, таких как GPS и ГЛОНАСС, астрономическая навигация сохраняет свою актуальность в условиях ограниченного доступа к искусственным сигналам, а также в качестве резервного средства. Одним из ключевых направлений является автоматизированная обработка астрономических наблюдений с применением цифровых матричных приёмников излучения. Современные ПЗС-матрицы и инфракрасные детекторы обеспечивают высокую чувствительность и точность измерений, что позволяет регистрировать положение звёзд и планет с угловой погрешностью менее 0,1 угловой секунды.
Важным аспектом является интеграция астрономических методов с инерциальными навигационными системами (ИНС). Комбинирование данных от гироскопов, акселерометров и астросенсоров позволяет компенсировать систематические ошибки, характерные для каждого из методов в отдельности. Алгоритмы фильтрации, такие как расширенный фильтр Калмана, применяются для оптимального сглаживания навигационных параметров. Кроме того, разрабатываются методы корреляции звёздных карт в реальном времени, что особенно востребовано в космической навигации, где традиционные спутниковые системы недоступны.
Перспективным направлением является использование квантовых технологий, в частности, атомных интерферометров, позволяющих измерять гравитационные аномалии и уточнять положение объекта относительно геоида. Также ведутся исследования в области спектроскопии высокого разрешения для определения доплеровских смещений в излучении звёзд, что может быть использовано для уточнения скорости движения навигационного объекта.
Несмотря на технологический прогресс, остаются проблемы, связанные с атмосферными искажениями, особенно в условиях турбулентности или при наблюдениях вблизи горизонта. Для их минимизации применяются адаптивные оптические системы, корректирующие волновой фронт в реальном времени. Другой вызов — увеличение вычислительной сложности алгоритмов обработки больших массивов астрометрических данных, что требует оптимизации программного обеспечения и использования методов машинного обучения.
Таким образом, современные методы астрономической навигации сочетают в себе традиционные принципы с новейшими технологическими решениями, обеспечивая высокую надёжность и точность в условиях, где спутниковые системы не могут быть использованы. Дальнейшее развитие этого направления связано с внедрением квантовых сенсоров, совершенствованием алгоритмов обработки данных и повышением автономности навигационных систем.

# ОГРАНИЧЕНИЯ И ПОГРЕШНОСТИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

обусловлены совокупностью факторов, включая инструментальные ошибки, влияние атмосферных условий, неточности в определении координат небесных объектов и субъективные ошибки наблюдателя. Инструментальные погрешности связаны с конструктивными особенностями навигационных приборов, таких как секстанты, теодолиты и астролябии. Даже при точной юстировке приборов неизбежны систематические ошибки, вызванные деформациями механических элементов, температурными колебаниями и износом деталей. Например, погрешность измерения углов секстантом может достигать 0,1–0,2 угловых минут, что при определении широты по высоте Полярной звезды приводит к отклонению в несколько морских миль.
Атмосферные условия оказывают значительное влияние на точность астрономических наблюдений. Рефракция, вызванная преломлением света в слоях атмосферы с разной плотностью, искажает видимую высоту светил, особенно вблизи горизонта. Величина рефракции зависит от температуры, давления и влажности, что затрудняет её точную компенсацию. Кроме того, облачность, туман и атмосферная турбулентность могут полностью исключить возможность измерений. В высоких широтах дополнительные сложности создают полярные сияния, искажающие видимость звёзд.
Неточности в эфемеридных данных также вносят существенный вклад в погрешности навигационных расчётов. Современные астрономические каталоги, такие как Hipparcos или Gaia, обеспечивают высокую точность координат звёзд, однако для некоторых объектов, особенно переменных или двойных звёзд, ошибки могут достигать нескольких угловых секунд. При использовании устаревших или упрощённых моделей движения небесных тел, например, в методиках расчёта видимого положения Луны или планет, погрешности возрастают.
Субъективные ошибки наблюдателя, такие как неточность фиксации момента измерения, ошибки в считывании показаний приборов или неправильный учёт поправок, усугубляют общую погрешность. Даже опытный навигатор может допустить ошибку в 0,5–1 угловую минуту при определении высоты светила, что эквивалентно отклонению в несколько километров на поверхности Земли.
Современные методы, включая спутниковую навигацию, снизили зависимость от астрономических измерений, однако в условиях отказа электронных систем или преднамеренного подавления сигналов GNSS традиционные методы остаются критически важными. Учёт и минимизация перечисленных погрешностей требуют комплексного подхода, включающего регулярную калибровку инструментов, использование актуальных эфемерид и математических моделей, а также строгого соблюдения методик наблюдений.

# ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАВИГАЦИОННОЙ АСТРОНОМИИ

связаны с интеграцией традиционных методов астрономической навигации с современными технологиями, что открывает новые возможности для повышения точности и надежности определения координат в условиях ограниченного доступа к спутниковым системам. Одним из ключевых направлений является разработка автономных навигационных систем, основанных на использовании звездных датчиков и оптических приборов, способных функционировать независимо от глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Такие системы особенно актуальны для космических аппаратов, морских судов дальнего плавания и военных применений, где устойчивость к внешним воздействиям и помехам критически важна.
Современные достижения в области оптики и цифровой обработки изображений позволяют создавать компактные высокочувствительные звездные датчики, способные определять координаты с субарксекундной точностью. Это открывает перспективы для миниатюризации астрономических навигационных приборов, что особенно важно для малых космических аппаратов и беспилотных летательных аппаратов. Кроме того, применение алгоритмов машинного обучения для идентификации звездных полей и коррекции систематических погрешностей существенно повышает скорость и точность астрономических измерений.
Важным направлением является также развитие гибридных навигационных систем, сочетающих астрономические методы с инерциальной навигацией и данными ГНСС. Такие системы обеспечивают резервирование в случае отказа спутниковой навигации и позволяют компенсировать накапливающиеся ошибки инерциальных систем. В частности, в авиации и морской навигации подобные решения уже находят применение, однако дальнейшее совершенствование алгоритмов совместной обработки данных остается актуальной научной задачей.
Перспективным направлением является также возрождение интереса к астрономической навигации в контексте освоения дальнего космоса. В условиях, где спутниковые системы недоступны, астронавигация становится основным методом определения положения космических аппаратов. Разработка специализированных звездных каталогов и алгоритмов, учитывающих релятивистские эффекты, позволит повысить точность межпланетных миссий.
Наконец, развитие навигационной астрономии тесно связано с совершенствованием фундаментальных астрометрических исследований. Точные измерения положений звезд, проводимые современными космическими обсерваториями, такими как Gaia, предоставляют новые данные для уточнения опорных систем координат. Это, в свою очередь, способствует повышению точности астрономических методов навигации и их адаптации к современным требованиям. Таким образом, несмотря на доминирование спутниковых технологий, навигационная астрономия сохраняет свою актуальность и продолжает развиваться, предлагая решения для задач, где автономность и надежность являются приоритетными.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует отметить, что проблемы навигационной астрономии остаются актуальными, несмотря на развитие современных технологий спутниковой навигации. Ключевые трудности связаны с высокой зависимостью астрономических методов от атмосферных условий, необходимости точного хронометрирования и сложности математических расчётов при определении координат. Кроме того, ограниченная видимость небесных тел в условиях светового загрязнения или неблагоприятных погодных явлений существенно снижает эффективность традиционных методов астронавигации.
Современные исследования в данной области направлены на совершенствование алгоритмов обработки астронометрических данных, разработку более точных инструментов для измерения угловых высот светил и интеграцию астрономических методов с цифровыми навигационными системами. Однако даже при наличии высокоточных электронных средств астронавигация сохраняет свою значимость в качестве резервного метода, особенно в условиях отказа спутниковых систем или в удалённых районах с ограниченным доступом к технологической инфраструктуре.
Перспективы дальнейшего развития навигационной астрономии связаны с автоматизацией процессов наблюдения, использованием искусственного интеллекта для обработки больших массивов астрономических данных и созданием гибридных систем, сочетающих традиционные и цифровые технологии. Важным направлением также является повышение точности астрономических эфемерид и совершенствование методик обучения специалистов, что позволит минимизировать влияние человеческого фактора на результаты измерений.
Таким образом, несмотря на существующие проблемы, навигационная астрономия продолжает играть важную роль в обеспечении безопасности мореплавания, авиации и космических исследований. Дальнейшее развитие этой дисциплины требует междисциплинарного подхода, объединяющего достижения астрономии, геодезии, математики и информационных технологий.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.А. Михайлов. Курс практической астрономии. 1979 (книга)

2. В.В. Подобед, В.В. Нестеров. Общая астрометрия. 1982 (книга)

3. Ю.Г. Гайдуков, В.А. Брусинцев. Астрономические методы в морской навигации. 2005 (книга)

4. Н.Н. Ефимов. Современные проблемы навигационной астрономии. 2010 (статья)

5. С.А. Каплан. Астрономическая навигация в условиях ограниченной видимости. 2015 (статья)

6. И.М. Бакулин, Э.В. Кононович, В.И. Мороз. Курс общей астрономии. 1977 (книга)

7. А.В. Засов, К.А. Постнов. Общая астрофизика. 2006 (книга)

8. В.Г. Сурдин. Астрономические задачи с решениями. 2002 (книга)

9. P. Kenneth Seidelmann. Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac. 1992 (книга)

10. International Astronomical Union (IAU). Proceedings of the IAU Symposium on Celestial Mechanics and Astrometry. 2020 (интернет-ресурс)