

Отзыв

на автореферат диссертационной работы А.А. Загидуллина «РАЗРАБОТКА ЧИСЛЕННОЙ ТЕОРИИ ФИЗИЧЕСКОЙ ЛИБРАЦИИ ДЛЯ МОДЕЛИ УПРУГОЙ ЛУНЫ», представленную на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. «Физика космоса, астрономия»

Диссертационная работа А.А. Загидуллина «Разработка численной теории физической либрации для модели упругой Луны» представляет собой оригинальное исследование по построению теории вращения естественного спутника Земли численным методом с привлечением современных данных как по параметрам внутреннего строения Луны, так и по её орбитальному движению. Разрабатываемая модель вращательной динамики Луны, в отличие от классических работ в этой области, учитывает не только возмущения от Земли и Солнца, но и более тонкие эффекты, оказывающие влияние на вращение лунного тела, такие, как учет прямого влияния Юпитера и Венеры, учет сжатия Земли, учет упругости лунного тела по методу усредненных потенциалов, предложенному в Лаборатории реактивного движения НАСА. Наиболее важным результатом исследования является не только сама численная теория, но и методика её построения, включая сопутствующее программное обеспечение.

Актуальность темы диссертационного исследования обусловлена требованиями на точность теории вращательной динамики, обусловленными, во-первых, точностью современных данных лазерной локации Луны, во-вторых, задачами координатно-временного обеспечения планируемых налунных и окололунных экспериментов, и, в-третьих, необходимостью решения фундаментальных проблем небесной механики, касающихся изучения внутреннего строения Луны.

Цель исследования – разработка высокоточной теории физической либрации Луны – определяется этими требованиями. Для её достижения в работе решаются следующие задачи:

- на первом этапе воспроизводится классическая модель главной проблемы физической либрации Луны, позволяющая не только разработать необходимое математическое и программное обеспечение, но произвести корректировку инструментария путем сравнительного анализа с имеющимися теориями. На этом этапе производится а) построение либрационных уравнений методом Гамильтона,

б) анализ гравитационного поля Луны и вывод формул для представления его с помощью разложения по сферическим функциям вплоть до гармоник 5-го порядка, в) адаптация аналитической теории Гутцвиллера - Шмидта, описывающей движение центра масс Луны;

- на втором этапе исследования производится уточнение модели за счёт включения гармоник 4-го порядка в разложении селенопотенциала, для повышения точности расчётов реализуется переход на высокоточную численную теорию DE421, обеспечивающую описание орбитального движения Луны. Извлекаемые из DE421 параметры физической либрации позволили провести сравнительный анализ получаемого решения. Модель возмущающих сил дополняется включением прямого влияния взаимодействия с планетами и эффектов от сжатия Земли, и главное – полученная в диссертации теория ФЛЛ отходит от модели абсолютно твёрдого тела, так как в неё включены эффекты упругости лунного тела.

В тексте автореферата представлены аргументы, подтверждающие оригинальность исследования. А именно: 1) собственный метод построения теории с применением самолётных углов для описания положения лунного тела относительно инерциальной системы, 2) методика вывода либрационных уравнений в рамках гамильтонова подхода, 3) авторский алгоритм для интегратора дифференциальных уравнений ФЛЛ, подтвержденный свидетельством о регистрации программы.

Практическая значимость результатов диссертационной работы состоит в возможности использования 1) результатов работы для решения картографических задач с достаточной для этого точностью 1 секунда дуги, 2) разработанных методов для дальнейшего развития модели вращательной динамики Луны с целью анализа внутренней структуры лунного тела.

Особый интерес вызывают результаты по работе с динамической теорией DE421 с подробным описанием алгоритмов программ, обеспечивающих извлечение данных из этой теории, а также данных по практическому применению полумпирических рядов ФЛЛ, построенных на основе этой численной теории.

Изложение процесса исследования произведено последовательно, логично раскрывая на каждом этапе все нюансы уточнения теории за счёт включения дополнительных тонких эффектов в разрабатываемую модель.

Достоверность полученных результатов подтверждается хорошим согласием полученных результатов с данными ведущих зарубежных ученых; проведением контроля точности принятых в обработку данных; апробацией полученных результатов при выполнении работ по смежным научным темам, а также научными докладами на международных и всероссийских конференциях, публикацией результатов в рецензируемых научных журналах.

Структура изложения в автореферате полностью отражает содержание выполненной работы и ход логическую последовательность этапов работы.

Замечания по автореферату следующие:

Стр. 4: При описании эмпирической теории Рамбо и Вильямса указывается, что члены, не получившие физической интерпретации, имеют амплитуды менее 50 мс, те же члены, описанные на стр. 5 уже имеют амплитуды менее 30 мс, а ещё ниже по тексту уже фигурирует величина в 5 мс. Или это опечатки, или имеются в виду разные гармоники, но из текста непонятно, в чем их разница.

Стр. 7: Научная новизна, пункт 4. Решение для уточненной модели вращения Луны позволило расширить представления не о главной проблеме ФЛЛ, а расширить представления об особенностях вращения Луны за пределами главной проблемы.

Стр. 13:

- строка 8: нет закрывающей скобки в выражении для T

- абзац 4: «метод Рунге-Куты 10-го порядка, обеспечивающий точность 10^{-4} секунды...» Надо полагать, что речь идёт о *внутренней* точности метода, это высказывание требует уточнения.

- абзац 5: нет определения аббревиатуры ИСК, зато далее используется аббревиатура СИК, где вводится понятие системы инерциальных координат. Почему-то СК определена как декартова система координат, хотя и инерциальная, и динамическая системы тоже декартовы.

Стр. 14: в рис.1. используется не раскрытая аббревиатура ТВК. Введена аббревиатура СДК, хотя ранее она называлась ДСК.

Высказанные замечания не снижают высокого уровня проведённой соискателем работы, из чего следует, что диссертационная работа Загидуллина Артура Александровича «Разработка численной теории физической либрации для модели

упругой Луны» является завершенной научно-квалификационной работой. Полученные автором результаты являются новыми, обоснованными и достоверными.

Считаю, что Автореферат отражает все этапы исследования. Работа представляется актуальной, выполнена в полном объеме и на высоком научном уровне. А.А.Загидуллин, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия».

кандидат физико-математических наук,
доцент отделения «Информационные технологии и интеллектуальные системы» Казанского государственного энергетического университета

Петрова Наталья Константиновна

27 апреля 2024 года