

ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., профессора Почукаева В.Н. на диссертационную работу Гуо Пэна «Исследование баллистико-навигационных задач для обеспечения астероидно-кометной безопасности Земли», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика»

Вопрос, связанный с существованием опасных и даже очень опасных астероидов, затрагивает интересы не только учёных, но и простых граждан. Связано это с информацией о том, к каким последствиям может привести их падение на Землю. Особенно актуальной эта тема стала после сообщения о существовании астероида «Апофис», траектория которого такова, что у него есть несколько предстоящих сближений с Землей и появляется некоторая вероятность его падения на Землю уже в этом столетии.

Точность современного знания такова, что с достаточной степенью вероятности можно утверждать, что столкновения Апофиса с Землей в период ближайших сближений в 2021, 2029 и в 2036 годах не ожидается. Однако относительно последующих сближений остается много вопросов, ибо будущая траектория астероида еще не очень хорошо известна, и её надо уточнять. Возможны и другие опасные астероиды. Хорошо, что орбита Апофиса определена достаточно рано. Но так бывает не всегда. Часто опасные сближения фиксируются уже при подлете к Земле или после близкого пролета у Земли. Поэтому необходимо развивать как технические средства мониторинга, так и методы баллистико-навигационного и алгоритмического обеспечения, позволяющие надежно определять орбиты опасных тел по данным их наблюдений и решать ряд актуальных задач по данной проблеме. В силу этого, для улучшения ситуации с мониторингом опасных небесных тел и с повышением точности измерений при визировании этих тел, необычайно актуальным является разработка новых, космических средств мониторинга, когда на космические аппараты устанавливаются телескопы с целью мониторинга и измерения параметров движения опасных небесных тел. В связи с этим в настоящее время развиваются

работы по созданию таких космических систем. Одной из них является система «Небосвод», разрабатываемая НПО «Комета», требующая необходимой баллистико-навигационной поддержки.

Рецензируемая диссертация посвящена исследованию различных аспектов решения задач баллистико-навигационного обеспечения процедур, связанных с наблюдением за движением опасных астероидов, определением их орбит с необходимой точностью с помощью средств, предоставляемых разрабатываемой системой «Небосвод». Задача такого типа чрезвычайно актуальна.

Автор задался целью исследовать следующую совокупность вопросов:

- разработать алгоритмы точного, с учетом большого количества факторов, расчета траектории астероида типа «Апофис»;
- разработать алгоритмы для определения параметров орбиты астероида по данным измерений со специальной космической системы «Небосвод»;
- провести численный анализ точности навигации для проектируемой системы «Небосвод» и оценить вероятность получения ответа на вопросы о возможности столкновения рассматриваемого астероида с Землей;
- построить алгоритмы для определения возможной зоны падения опасного астероида при заданной области разброса параметров орбиты астероида;
- определить возможный район падения «Апофиса» для одного варианта его ковариационной матрицы;
- исследовать возможности существования таких орбит спутника Апофиса, которая позволила бы ему существовать максимально продолжительное время, и определить параметры таких орбиты.

Важная особенность выполнения всех перечисленных работ состоит в необходимости учёта всех факторов различного типа, определяющих точность и требуемую надёжность полученных результатов.

При проведении исследований автор, с целью получения наиболее достоверных результатов, использовал орбиты астероида «Апофис», полученные за период наблюдения за его движением. Это позволило ему более точно учесть специфику движения межпланетных объектов типа «Апофис» и схожих с ним объектов.

Первая глава посвящена исследованию методов определения параметров орбит межпланетных объектов типа «Апофис».

При решении этого вопроса автор использовал многие известные методы, включающие: учёт известных разработок по этой теме, методы решения задач оценивания параметров траектории на основании наблюдения движения астероида с учетом неточности знания моделей его движения и измерительной системы (т.н. мешающих параметров), особенности ошибок измерения используемых средств, методы полной и частичной выборки измерений, большой размерности определяемого вектора состояния объекта, использование полных и рекуррентных методов.

В процессе проведения этих работ автор проявил хорошее владение классическими и современными методами решения этих задач, гармоничное использование допущений при их решении. Это делает очень убедительными результаты работы, изложенные в этой главе.

Методы, разработанные в первой главе, применены во второй главе при проведении численного анализа результатов наблюдения за астероидами, в том числе и «Апофисом», на базе тех конкретных возможностей, которые предоставит система «Небосвод». Использовался аппарат моделирования наблюдений и измерений сближающихся с Землёй объектов: «Апофисом», астероидом 2008 TC₃ и Челябинским метеоритом. Получена широкая картина точностей определения положений этих объектов, включающая различные сроки полёта объектов, сравнительный характер определения положения «Апофиса», ковариационный анализ и метод Монте-Карло, учёт мешающих параметров, учёт особенностей наблюдений с подвижных КА системы «Небосвод», что само по себе представляет самостоятельный интерес.

Анализ результатов расчетов по различным методикам показал их схожесть между собой, что подтверждает достоверность выводов.

Вопросы, связанные с определением возможных областей падения «Апофиса» с высоким уровнем проработки рассмотрены в третьей главе. Совпадение с результатами американских исследований подтверждает надежность разработанной методики и полученных результатов. Отметим, что при этом автор попытался учесть различные виды важных деталей, например, прецессию и нутацию полюса Земли.

Хотелось бы особо отметить результаты исследования, полученные в четвертой главе.

Рассмотрен вариант определения орбиты «Апофиса», как трёхосного эллипсоида, за счет наблюдения его искусственного спутника.

При этом даются ответы на такие важные вопросы:

- возможно ли вообще существование такого спутника астероида с необходимой продолжительностью существования;
- какие должны быть значения параметров орбит спутника, обеспечивающие такой срок его существования.

Определены факторы, влияющие на время существования данного спутника. Оказывается, что основным видом возмущающего фактора является солнечное давление, что, в определенной степени, неожиданно.

Материалы четвертой главы выполнены на высоком уровне, что представляет самостоятельный интерес.

Научная новизна диссертационной работы:

1. Алгоритмы определения параметров орбитального движения астероида по оптическим измерениям космической системы «Небосвод» и оценки точностей навигации с учетом ошибок моделей движения астероида и измерительной системы, априорной информации о начальном состоянии и систематических ошибок измерений. Введен аналог коэффициента «отношение сигнал/шум» для

оценки влияния интенсивности ошибок мешающих параметров на точность навигации;

2. Оценки точности навигации при наблюдении астероида Апофис, астероида 2008 TC₃ и Челябинского метеорита по результатам моделирования измерений космической системы «Небосвод» при учете реальных ограничений по видимости, засветке Солнцем и звездной величине астероида. Показана возможность существенного уточнения параметров орбиты Апофиса за счет учета мешающих параметров;

3. Алгоритмы определения места падения астероида на Землю. Получены и исследованы геометрические, временные и энергетические характеристики вероятных траекторий столкновения и вероятной области падения астероида Апофис на Землю в 2036 г. по данным о его орбите на 2005 г.;

4. Механико-математическая модель орбитального движения спутника астероида Апофиса как однородного трёхосного эллипсоида с учетом возмущений от притяжения небесных тел и давления солнечного света. Результаты вычисления потенциала и силы притяжения однородного трёхосного эллипсоида. Аналитическое представление эллиптических интегралов в формуле Дирихле. Возможность создания стабильных орбит спутника астероида Апофис с движением спутника вокруг астероида в течение девяти лет.

Практическая значимость работы.

1. Демонстрация возможностей системы «Небосвод» по определению опасных для Земли астероидов.
2. Доказательство наличия такой орбиты искусственного спутника Апофиса, на которой он может существовать продолжительное время. Это можно рассматривать, как один из возможных вариантов, определяющий мероприятия по контролю за ситуацией, связанной с Апофисом, в случае, если будет принято решение об их реализации.

Достоверность полученных в диссертации научных результатов обеспечивается применением и разработкой моделей и методик в соответствии с современными теориями и данными, проверкой и тестированием результатов с

помощью разных способов, апробацией теоретических результатов численными расчетами, а также сравнением полученных результатов с исследованиями других авторов.

Что касается замечаний, которые полагается указать, я хочу сказать следующее. Как известно, и на Солнце есть пятна. И, конечно, к данной работе можно было бы сделать замечания. Как правило, при отсутствии крупных ошибок, замечания к работе в значительной степени определяются личными предпочтениями рецензента. В связи с этим хочу отметить, что внимательное прочтение работы не позволило мне найти в какой-то степени крупные просчеты автора. А мелкие замечания, которые, несомненно, есть, ни в какой мере не влияют на высокую оценку данной работы. Поэтому я хотел бы проявить смелость и их не приводить в силу полного отсутствия их влияния на выводы данной рецензии.

В качестве пожелания автору для дальнейших исследований: рассмотреть алгоритм уточнения орбиты Апофиса по результатам наблюдений за движением его искусственного спутника.

Автор часто представлял результаты своих исследований на ряде конференций и семинаров и достаточно хорошо известен научной общественности. Известен он и своими публикациями. По результатам исследования опубликованы 23 печатные работы, в том числе – 7 статей в научных журналах и 3 препринта ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Среди них – 8 работ в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

На основании всего сказанного считаю, что рецензируемая работа посвящена решению крупной научной задачи, имеет большую актуальность и её появление своевременно. Автор проявил высокий уровень профессионализма, честности в проведении исследований и глубокую эрудицию.

Поэтому считаю, что диссертационная работа Гуо Пэна удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к работам, представленным на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор Гуо Пэн, достоин

присуждения этой степени по специальности 01.02.01 – «Теоретическая механика».

Автореферат правильно отражает содержание диссертационной работы.

Главный научный сотрудник

АО «ЦНИИмаш»

доктор технических наук, профессор

Подпись д.т.н., профессора

Почукаева В.Н. подтверждаю

главный учёный секретарь АО «ЦНИИмаш»

д.т.н., профессор

В.Н. Почукаев

30.10.19.



Ю.Н. Смагин