

июль, 2011

ИНФОРМАТИЗАЦИЯ

ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ

Государственная политика
в области информатизации
образования и науки

Информационные
технологии

Телекоммуникации

Системы защиты
информации

Автоматизация
и управление
технологическими
процессами
и производствами

Системный анализ,
управление и обработка
информации

Управление
в социальных
и экономических
системах

Infomika

Федеральное государственное учреждение
Государственный научно-исследовательский институт
информационных технологий и телекоммуникаций
(ФГУ ГНИИ ИТТ - Информика)

ISSN 2073-7572



9 772073 757778 >

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ И КОСМИЧЕСКИХ
ТЕХНОЛОГИЙ В ЗАДАЧАХ О ДВИЖЕНИИ НЕБЕСНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**APPLICATION OF INFORMATION AND SPACE TECHNOLOGIES IN
PROBLEMS ABOUT MOVEMENT OF HEAVENLY OBJECTS**

Чумаченко Евгений Николаевич / Eugene N. Chumachenko,

*д.т.н., академик РАЕН, профессор, зав. кафедрой Математического моделирования
Московского государственного института электроники и математики (техниче-
ский университет), г. Москва / Doctor of Technical Sciences, Academician RANS, Pro-
fessor, Head department of Mathematical Simulation, Moscow State Institute of Electronics
and Mathematics (Technical university),
mmkaf@miem.edu.ru*

Кулагин Владимир Петрович / Vladimir P. Kulagin,

*д.т.н., профессор, и.о. ректора Московского государственного института электр-
оники и математики (технический университет), г. Москва / Doctor of Technical Sci-
ences, Professor, Rector of Moscow State Institute of Electronics and Mathematics (Techni-
cal university),
kvp@miem.edu.ru*

Назирова Равиль Равильевич / Ravil R. Nazirov,

*д.т.н., заместитель директора Института космических исследований РАН,
г. Москва / Doctor of Technical Sciences, vice director of Spase Research Institute of Rus-
sian Academy of Sciences,
rnazirov@cosmos.ru*

Эйсмонт Натан Андреевич / Natan A. Eismont,

*к.т.н., ведущий научный сотрудник Института космических исследований РАН,
г. Москва / Candidate of technical sciences, leading science officer of Spase Research In-
stitute of Russian Academy of Sciences,
neismont@iki.rssi.ru*

Аннотация

Обсуждается одно из направ-
лений деятельности научно-
образовательного центра «КОС-
МОС», созданного Московским го-
сударственным институтом электр-
оники и математики (технический
университет) и Институтом косми-
ческих исследований РАН. рассмотре-
ны общие постановки задач, связан-
ные с разработкой моделей движения
астероидов и комет с учетом негра-
витационных возмущений, постро-
ением моделей траекторных измере-
ний, разработкой математического
аппарата для полетов в окрестности
коллинеарных точек либрации. Об-
суждается модель управления орби-
тальным движением космического

аппарата в окрестности точек либра-
ции с применением солнечного паруса
с управляемыми отражательными
характеристиками.

Annotation

One of directions of activity of
the scientifically-educational centre
"SPACE" created by the Moscow state
institute of electronics and mathematics
(technical university) and Spase re-
search institute of the Russian Academy
of Sciences is discussed. The general
statements of problems connected with
working out of models of movement of
asteroids and comets taking into ac-
count not gravitational indignations and
construction of models for measurement
of trajectories are considered. On a
space vehicle orbit in a vicinity of libra-

tion points the traffic control model is discussed with application of a solar sail with operated reflective characteristics.

Ключевые слова:

Научно-образовательные центры, космос, астероидная опасность, математические модели, Луна, орбитальное движение, информационные технологии, управление, космическая индустрия.

Keywords:

The scientifically-educational centres, space, asteroid danger, mathematical models, the Moon, orbital movement, information technology, management, the space industry.

Введение

Научно-образовательные центры (НОЦ) зарекомендовали себя как самая эффективная форма структурного подразделения в университетах и НИИ. Они служат, прежде всего, для активного вовлечения студентов в научную деятельность под руководством профессоров и ведущих ученых соответствующих отраслей знаний. В этом случае обеспечивается непрерывная подготовка кадров - от бакалавров к магистрам, затем к аспирантам и молодым ученым. Процесс подготовки осуществляется в рамках выполнения НИР по тематике НОЦ. Причем профессора и доценты должны в обязательном порядке совмещать свою научную деятельность с образовательной. Также они должны преподавать наиболее важные для специальной подготовки студентов курсы.

НОЦ призваны обеспечить дополнительное финансирование НИР молодых ученых, создать возможность для привлечения новых молодых кадров в науку; профинансировать выполнение ряда фундаментальных исследований и поисковых работ, направленных на разработку промышленных технологий. Особенно это касается экспериментальных исследований, как высокоза-

тратных НИР. В этом случае требуются расходы на материалы и их обработку, на поддержание оборудования в работоспособном состоянии. Кроме того, аспирантам и студентам, участвующим в НИР, необходимо платить достойную заработную плату - иначе они пойдут подрабатывать и, к сожалению, не в научной сфере деятельности.

Следует отметить, что научно-образовательные центры обеспечивают функционирование так называемых «профессорских лабораторий», которые являются основными структурными подразделениями в странах Северной Америки, Японии и некоторых странах Европы, таких как Германия, Великобритания, Испания и другие. Руководителями научных подразделений, т. е. главными исследователями, должны быть практикующие ученые, профессора. Например, в нашем случае в НОЦ «КОСМОС» работает 18 профессоров, возглавляющих различные научные направления. Эта структура обеспечивает наивысшую эффективность как при проведении НИР, так и при воспроизводстве научно-технических кадров высокой квалификации.

В НОЦ студент выполняет свои курсовые и дипломные проекты как НИР. Он приобретает практически все необходимые для научной работы профессиональные навыки и знания во время учебы в университете. Такого выпускника нет необходимости чему-то доучивать после поступления в аспирантуру. Фактически за время обучения в аспирантуре он также занимается НИР. После защиты диссертации такой специалист готов к работе в ведущих российских НИИ и университетах. Причем его эффективность намного выше, чем эффективность научных сотрудников, которые не имели возможности пройти такой путь.

Вселяет надежду, что в последние годы государство в лице представителей власти, наконец, осознано одну очень серьезную проблему. Кому доверить создание инновационной экономики, основанной на знаниях? Положение в этом вопросе очень тяжелое.

Факты говорят сами за себя. За последние 16 лет численность персонала, занятого исследованиями и разработками, сократилась в России на 60%. Кроме того, Россия занимает 16 место в мире по числу исследователей; более половины из них - старше 50 лет, и доля эта возрастает. В США, напротив, 60% исследователей - люди продуктивного, как считают учёные, возраста (от 30 до 49 лет). В России наблюдается нарушение нормального ритма воспроизводства научных кадров и процесса передачи знаний, преемственности поколений в науке.

В настоящее время государство приняло ряд важных мер, без которых стратегические задачи развития страны не решить. Одной из таких мер стала Федеральная целевая программа «Научные и научно-педагогические кадры для инновационной России» на 2009 — 2013 годы (ФЦП «Кадры»). Цель программы — «создание условий для эффективного воспроизводства научных и научно-педагогических кадров и закрепления молодежи в сфере науки, образования и высоких технологий, сохранения преемственности поколений в науке и образовании». В рамках Мероприятия 1.1 этой программы, призванного содействовать достижению научных результатов мирового уровня по широкому спектру научных исследований, формированию эффективных и жизнеспособных научных коллективов, ежегодно проводится конкурсный отбор научно-исследовательских проектов в рамках НОЦ, которые финансируются из государственного бюджета.

Материал этой публикации посвящен одному из направлений исследований, ведущихся в НОЦ «КОСМОС», организованном Московским государственным институтом электроники и математики (технический университет) и Институтом космических исследований РАН на базе кафедры Математического моделирования. Центр создан с целью интеграции науки и образования, повышения качества подготовки специалистов по основным направлениям научно-исследовательской деятельности института, для обеспечения углубленной подготовки студентов, модернизации научно-исследовательского и образовательного процессов, расширения научно-исследовательской работы по приоритетным направлениям научно-технологического комплекса России.

В настоящее время признано, что астероиды и кометы представляют опасность для Земли. Всюду в мире созданы службы для выявления и слежения за опасными космическими объектами. Планируемые исследования, о которых будет рассказано далее, направлены на разработку методов измерения, слежения, компьютерного моделирования и прогнозирования поведения космических объектов и опираются на эффективное использование средств космического базирования, т.е. на комплекс космических аппаратов, снабженных необходимыми приборами для обнаружения астероидов и комет и слежения за ними.

Актуальность проведения исследовательских работ

В настоящее время в научном сообществе наблюдается заметный рост интереса к исследованиям малых тел Солнечной системы, особенно к астероидам и кометам, сближающимся с Землей. Этот интерес разделяют не только ученые, но правительства ведущих индустриальных стран, а также международные орга-

низации, начиная с Европейского Космического Агентства и вплоть до Организации Объединенных Наций. На уровне ООН в составе ее Комитета по мирному использованию космического пространства (UNOOSA United Nations Office of Outer Space Affairs) создана специальная подгруппа по астероидной и кометной опасности, задачей которой является координация усилий стран-членов ООН по разработке средств предупреждения угроз из Космоса, иными словами, средств планетарной защиты.

На последней сессии Комитета были представлены доклады стран – участниц по указанной проблеме, в том числе от Российской Федерации и от США. В этих и других докладах была подчеркнута важность проведения исследований астероидов и комет, сближающихся с Землей, и были представлены работы, ведущиеся по этой проблеме в различных странах. Сформулированы первоочередные задачи исследователей (см. сайт <http://www.unoosa.org/>). В качестве целей этих исследований указываются астероиды и кометы, которые являются наименее изменившимися остатками материалов, из которых формировалась 4.6 миллиардов лет назад солнечная система. И именно они привнесли воду и углерод, содержащие материалы в состав ранней Земли – строительные блоки жизни. Эти объекты необычно богаты металлами и содержащим воду минералами. Но сегодня именно астероиды и кометы представляют огромную опасность для Земли. Требуется обнаружение этих объектов и слежение за ними в рамках задачи раннего предупреждения об опасности их встречи с Землей и возможного контролируемого их отклонения. Кроме того, эти объекты наиболее доступны для изучения в рамках миссий, как автоматических космических аппаратов, так и пилотируемых полетов (см.

доклад на февральской 2011 года сессии UNOOSA главы американской программы Дона Йоманса, а также руководителя российской программы Бориса Шустова <http://www.unoosa.org/>).

Наиболее важной задачей в решении перечисленных проблем является определение параметров движения указанных объектов и оценка точности их определения. Для решения этой задачи наиболее эффективными являются приборы, размещаемые на космических аппаратах. В качестве примера можно назвать американский аппарат WISE, завершивший свою работу, и планируемый к запуску в ближайшее время канадский аппарат NEOSSat.

Ведутся также исследования в рамках проектирования миссии к одному из наиболее опасных астероидов Апофис с целью, главным образом, уточнения параметров его движения.

Математические модели

В список математических моделей, прежде всего, включаются модели движения астероидов и комет. Что касается астероидов, то, на первый взгляд, теория их движения разработана достаточно хорошо и базируется на достаточно детальном учете гравитационных сил, воздействующих на астероид. Однако, как показывает опыт практического слежения за астероидами, при прогнозировании их движения на достаточно длительные интервалы времени приходится учитывать и особенности воздействия давления солнечного света на поверхность астероида, в том числе, характер переизлучения и отражения света. Для этого необходимо знать параметры вращательного движения астероида, теплопроводность приповерхностного слоя грунта, отражательные характеристики поверхности, форму поверхности. В качестве примеров, иллюстрирующих необходимость столь детального

построения модели движения астероида, можно указать случаи астероидов (99942) Апофис и (101955) 1999 RQ36. Согласно современным оценкам существует ненулевая оценка вероятности столкновения Апофиса с Землей в 2036 году и вероятность столкновения на уровне 0.001 для второго астероида в 2082 году. Надежность этих оценок вероятности в значительной мере зависит от точности построения моделей их движения с учетом упомянутых выше факторов.

Стандартным подходом к построению модели движения является определение параметров движения небесных тел с помощью доступных средств измерений: оптических или радарных, опирающихся на использование достаточно мощных наземных средств. Существуют методы оценки точности получаемых в результате таких измерений констант принятых моделей движения. Тем не менее, как показывают случаи Апофиса и 1999 RQ36, могут понадобиться измерения специального характера, реализуемые путем размещения космического аппарата, снабженного средствами радиотехнических измерений, в непосредственной близости от астероида или на его поверхности.

В последнее время стало ясным, что средства измерений космического базирования могут быть во многих случаях более эффективными, чем наземные средства.

В предлагаемых исследованиях планируется определить, какими должны быть инструменты космических траекторных измерений параметров движения небесных тел, в первую очередь астероидов, и насколько существующие приборы применимы для этих задач.

Для оценки эффективности применения тех или иных инструментов, а также их сочетаний, в качестве критерия сравнения естественно

принять точности определения параметров пролета Земли астероидами, в первую очередь минимального расстояния астероида от поверхности Земли при пролете.

В настоящее время существуют различные модели для получения оценок точности, но изложенная задача требует их значительного развития в силу более сложной картины сил, реально воздействующих на астероид. Следует отметить, что особое значение надежность таких оценок приобретает при близком пролете астероидами Земли или других планет, поскольку в этом случае имеет место значительное увеличение ошибок. Точность прогноза траектории движения ухудшается. Это и является, как в случае Апофиса, основной причиной недостаточной точности прогноза параметров последующего сближения астероида с Землей. Одним из подходов при решении таких задач является метод Монте-Карло, однако для анализа влияния различных составляющих ошибок на конечный результат необходимо применять и другие методы – например, те, что опираются на теорию математического программирования. В свою очередь, применение информационных технологий позволит повысить оперативность и техническую точность выполняемых расчетов.

Все, сказанное выше, в полной мере относится и к космическим аппаратам, как к тем, которые предполагается использовать для исследования астероидов и изменения параметров их движения, так и для других задач космических исследований.

Разработка математического аппарата для полетов в окрестности коллинеарных точек либрации

Одним из наиболее эффективных способов размещения космических аппаратов для наблюдения астероидов и комет является их запуск в окрестности коллинеарных солнечно-земных точек либрации L_1 и L_2 . (точ-

ка либрации – точка, в которой небесное тело, движущееся под влиянием притяжения двух других тел значительной массы, может находиться в состоянии относительного равновесия по отношению к этим двум телам). Известно, что эти точки являются неустойчивыми, т.е. даже очень малые отклонения от номинальных параметров движения с течением времени возрастают экспоненциально. Поэтому оценка точности определения параметров движения в этом случае имеет принципиальное значение для операций удержания аппарата в окрестности точек либрации. Как известно, в настоящее время в окрестности солнечно-земных точек либрации L_1 , L_2 функционирует несколько космических аппаратов, планируются новые миссии, которые будут реализованы в окрестности этих точек.

Достаточно назвать проект JWST (James Webb Space Telescope), который разрабатывается совместно Европейским Космическим Агентством и НАСА, европейский проект LISA Pathfinder, российский проект Спектр-Рентген-Гамма. Причина такого выбора орбит заключается в их заметных преимуществах по сравнению с орбитами спутников Земли в силу исключения воздействия радиационных поясов Земли, минимизации излучения Земли как помехи при исследованиях в инфракрасном диапазоне и сохранения почти постоянной геометрии относительного положения аппарата по отношению к Земле и Солнцу. По тем же причинам эти орбиты удобны для обнаружения астероидов и слежения за ними.

В тех случаях, когда ставится задача обнаружения астероидов с перигелием (ближайшая к Солнцу точка орбиты небесного тела) внутри орбиты Земли, более предпочтительным вариантом размещения космических аппаратов являются окрестности коллинеарной точки либрации

L_2 системы Солнце-Венера. Причиной этого является возможность наблюдения таких астероидов в направлении от Солнца, т.е. при лучших условиях освещенности.

В обоих случаях размещения космических аппаратов для решения проблемы обнаружения опасных астероидов и слежения за ними необходима разработка соответствующих моделей движения и управления космическими аппаратами. К настоящему времени такие модели существуют, эффективность их работы подтверждена на практике для случаев использования при полетах в окрестности солнечно-земных коллинеарных точек либрации. Однако для полетов в окрестности точек либрации Венеры требуются дополнительные исследования при траекторных измерениях с помощью наземных станций. Кроме того, значительный интерес представляют автономные траекторные измерения, проводимые инструментальными средствами собственно аппаратов.

Поэтому чрезвычайно актуально проведение этих исследований. Их целью является получение ответа на вопрос, существует ли сама техническая возможность реализации управления движением аппарата с помощью доступных в настоящее время приборов на борту космического аппарата, и какие модели управления отвечают ограничениям по допустимым расходам рабочего тела и надежности решения задачи.

Разработка моделей движения и управления, методов оптимизации схемы полета для выполнения гравитационных маневров у Луны при выведении аппаратов в окрестности точек либрации

Скорость, необходимая для выведения аппарата в окрестности точек либрации, зависит от максимально допустимой амплитуды орбиты при движении около этих точек. В номинальном случае возможен одно-

импульсный переход с низкой околоземной орбиты спутника Земли на орбиту около точки либрации. При этом амплитуда движения оказывается максимальной. Для требуемого во многих случаях уменьшения амплитуды требуется дополнительное включение двигателя, что приводит к дополнительному расходу рабочего тела и, соответственно, к снижению массы полезной нагрузки. Избежать этого можно за счет использования гравитационного маневра у Луны. Однако в этом случае после пролета Луны увеличивается величина корректирующего импульса, необходимая для исправления ошибок, возникающих при гравитационном маневре у Луны. Величина этих ошибок зависит от ошибок определения параметров орбиты перед пролетом Луны и ошибок маневра коррекции этих параметров.

В этой связи возникает необходимость оптимизации всей процедуры проведения траекторных измерений и их обработки, выбора схемы полета, в том числе оптимизацию числа витков аппарата на промежуточной орбите перед гравитационным маневром. Иными словами, необходима разработка модели миссии, позволяющая обеспечить максимальную массу выводимого в окрестность точки либрации аппарата при заданных ограничениях. В состав таких ограничений может входить, например, такое, как требование выдачи корректирующих импульсов вдоль направления на Солнце или требование исключения захода аппарата в тень Земли. Заметим, что отдельные составляющие такой модели разработаны и используются в настоящее время, однако полного варианта модели к настоящему времени не создано.

Построение оптимальной стратегии планирования управления орбитальным движением

Поскольку движение около коллинеарных точек либрации неустойчиво, необходимо время от времени проводить маневры и коррекцию движения аппарата, удерживающие его в окрестности этих точек. Частота и величина импульсов коррекции зависит от точности знания параметров орбиты и точности исполнения предыдущих импульсов. Причем величина импульсов, вообще говоря, растет с ростом интервалов времени между коррекциями. С другой стороны, с увеличением указанных интервалов увеличивается и точность определения параметров движения аппарата по траекторным измерениям. Поэтому существует некоторая оптимальная частота коррекций или, точнее говоря, оптимальная стратегия планирования сеансов траекторных измерений и корректирующих маневров.

В задачи предлагаемых исследований входит построение этой стратегии, т.е. модели оптимального управления движением аппарата около точек либрации.

Поскольку к настоящему времени миссии в окрестности точек либрации стали повседневной практикой, указанные выше задачи решены в той мере, в какой это необходимо для реализации этих миссий. Однако некоторые задачи, также имеющие практическое значение, требуют дополнительных исследований для получения технически реализуемых решений.

Разработка модели управления космическим аппаратом с применением солнечного паруса

Одним из перспективных методов управления аппаратом в окрестности точек либрации может быть управление с использованием давления солнечного света. Предварительные оценки показывают, что для удержания аппарата на неустойчивой орбите в окрестности точек либрации размеры соответствующих поверхно-

стей, играющих роль солнечного паруса, относительно невелики и сопоставимы с размерами солнечных батарей. Вместе с тем картина взаимодействия фотонов с парусом достаточно сложна.

В состав планируемых исследований входит построение модели взаимодействия солнечного света с парусом и с поверхностью аппарата в целом, так чтобы известные с недостаточной точностью параметры такого взаимодействия можно было уточнить в полете. Особый интерес представляет в этой связи вариант паруса с изменяемыми отражательными характеристиками. Такие свойства паруса можно получить с использованием жидкокристаллической пленки. Подавая или снимая электрическое напряжение на пленку, можно делать ее прозрачной или емной, соответственно, зеркальная одложка из фольги либо отражает свет, либо пленка его поглощает. Это дает изменение давления света в два раза, что позволяет использовать парус как инструмент управления орбитальным движением. Применение информационных технологий при разработке компьютерной системы управления электронной начинкой паруса позволит обеспечить адекватную и надежную ориентацию космического объекта с парусом в пространстве. Планируется провести исследования паруса в качестве такого инструмента. Решение задачи управления движением в окрестности тоже либрации с его помощью позволит отказаться во многих случаях от применения ракетных двигателей для аппаратов, ведущих исследования около точек либрации.

Аналогичный подход может быть применен и к управлению движением аппарата около центра масс. В частности, создаваемые парусом управляющие моменты могут быть использованы для разгрузки маховиков системы ориентации. Наиболь-

ший интерес представляет случай, когда маховики не включены в состав системы управления ориентацией аппарата и управляющие моменты генерируются исключительно за счет сил солнечного давления. Это важно для научных экспериментов, требующих условий минимального уровня вибрации, что достаточно трудно гарантировать при наличии на борту аппарата маховиков.

Заключение

Как результат выполнения работы планируется получить новые инструменты для подготовки и выполнения миссий, предназначенных для обнаружения сближающихся с Землей астероидов и комет и последующего слежения за ними, опирающихся на измерения приборов, размещаемых на борту космических аппаратов. В качестве таких инструментов планируется создать методики, алгоритмы и математические программы, необходимые для проектирования орбит, наиболее удобных для проведения упомянутых измерений. Существенной частью работы будет также создание с помощью широкого применения информационных технологий программных комплексов управления аппаратами, включая варианты применения пионерских методов использования давления солнечного света как средства управляющих воздействий на движение космического аппарата.

Составной частью этих комплексов будут программно реализованные методы использования автономных бортовых измерений для определения параметров траектории космических аппаратов.

В качестве прямого вклада в развитие разделов науки по исследованию солнечной системы ожидаются результаты разработки методов построения теории движения астероидов и комет с учетом влияния негравитационных сил, что позволит

получать более точные прогнозы движения этих тел и, тем самым, обеспечит продвижение в решении проблемы планетарной защиты от угроз из космоса. Одной из составляющих в решении этой проблемы будут планируемые результаты по разработке надежных методов оценки точности прогноза движения сближающихся с Землей астероидов и комет. Последнее имеет особое значение в свете имеющихся в настоящее время существенных расхождений в оценках вероятности столкновения с Землей астероида Апофис. Эти оценки отличаются в настоящее время более чем на порядок между различными группами исследователей. Отметим, что применение современных информационных технологий при обработке больших объемов технической информации позволит существенно повысить точность и достоверность прогнозов движения небесных объектов.

Литература

1. Dunham, D., McAdams, J., Moessner, D., and Ottesen, D., "Contingency Plans for MESSENGER's Mercury Orbit Insertion", Paper AIAA-2010-8252, on conference CD and presented at the 2010 AIAA/AAS Astrodynamics Specialists Conference, Toronto, Canada, August 2-5, 2010.
2. Dunham, D., and Genova, A., "Using Venus for Locating Space Observatories to Discover Potentially Hazardous Asteroids", *Cosmic Research*, Vol. 48, No. 5, pp. 424-429, original *Kosmicheskie Issledovaniya* Vol. 48, No. 5, pp. 433-439, 2010.
3. Чумаченко Е.Н., Назиров Р.Р. О некоторых проблемах, связанных с созданием криоботов // *Космические исследования*, 2009. – Т.47. - № 3. – С. 247 – 255.
4. Назиров Р.Р., Рабинович Б.И., Мытарев А.И. О применении магнитогидродинамического элемента в контуре управления вращающимся космическим аппаратом со штыревой антенной // *Космические исследования*, 2009 – т. 47. - № 2. – С.176-192.
5. Манагадзе Г.Г., Эйсмонт Н.А. Низкоорбитальный эксперимент по моделированию высокоскоростного удара метеорита, воспроизводящий абиогенный синтез сложных органических соединений в факельной плазме // *Космические исследования*, 2009. – Т.47. - №6. – С. 1 – 10.
6. Чумаченко Е.Н., Назиров Р.Р. О некоторых проблемных вопросах, связанных с образованием хаотически расположенных особенностей рельефа на поверхности Европы // *Космические исследования*, 2008. – Т.46. - № 6. – С. 529 – 535.
7. Bakhshyan B. Ts., Sukhanov A.A., Fedyaev K.S. Estimation of the Determination Accuracy of Orbit Parameters of the Apophis Asteroid from Measurement Results // *Cosmic Research*, 2010. – Vol. 48. – No. 5 – Pp. 417-423.
8. Назиров Р.Р., Эйсмонт Н.А. Гравитационные маневры как способ направить малые астероиды на траекторию встречи с опасными околоземными объектами // *Космические исследования*, 2010. – т. 48 - № 5 – С. 1-6.

Проведение предлагаемых исследовательских работ тесно связано с планами предприятий космической индустрии и является в этой связи заметным стимулирующим фактором в развитии соответствующих направлений отрасли. Кроме того, результаты исследований в области управления космическими аппаратами и построении новой теории движения астероидов и комет планируется непосредственно использовать в проектах предприятий ракетно-космического комплекса.

В ходе выполнения предлагаемых исследовательских работ в НОЦ «КОСМОС» планируется подготовить квалифицированные кадры, опираясь на применения принципа: "learning science by doing science". Для этого в исследовательские группы будут включены аспиранты и студенты.

9. Назиров Р.Р., Рабинович Б.И., Мытарев А.И. О применении режима странного аттрактора в задачах трехосной ориентации космического аппарата // Космические исследования, 2009 – т. 47. - № 2. – С.477-480.
10. Чумаченко Е.Н., Назиров Р.Р., Ерохина О.С. Особенности перемещения криоботов в ледяных структурах Европы // Космические исследования, 2010, том. 48, №6, с. 568-572.
11. Назиров Р.Р., Сидоров И.М., Фролов В.А. Тросовые системы для межпланетных перелётов // Полёт, 2008. - №2. - С.21-26.
12. В.В.Золотарёв, Р.Р.Назиров, Г.В.Овечкин, И.В.Чулков. Новые эффективные системы помехоустойчивого кодирования для космических аппаратов нового поколения // Российский космос, 2009. - №1.