

**ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

РАСШИРЕННЫЙ НАУЧНЫЙ СЕМИНАР

**УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ
ЕСТЕСТВЕННЫХ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ**

**ПРОГРАММА
ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

**Россия, г.Таруса (Калужская обл.)
21–23 марта 2018 г.**

Место проведения семинара:
база «Интеркосмос» ИКИ РАН в г.Таруса, конференц-зал

РАСПИСАНИЕ РАБОТЫ СЕМИНАРА:

СРЕДА 21 МАРТА

9:00 Отъезд автобусом от ИКИ РАН
12:30 Прибытие на базу «Интеркосмос», расселение
13:00–13:40 Обед
14:00–18:30 Заседание 1
19:00–19:40 Ужин

ЧЕТВЕРГ 22 МАРТА

08:30–09:10 Завтрак
09:30–12:45 Заседание 2
13:00–13:40 Обед
14:00–16:30 Свободное время, экскурсия по городу
17:00–19:00 Заседание 3
19:00 Торжественный ужин

ПЯТНИЦА 23 МАРТА

09:00–09:40 Завтрак
10:00–14:00 Заседание 4
14:20–15:00 Обед
15:30 Отъезд автобусом в Москву

21 МАРТА, СРЕДА

ЗАСЕДАНИЕ 1

Ведущий: Назиров Равиль Равильевич (ИКИ РАН)

- 14:00–14:10** **ОТКРЫТИЕ СЕМИНАРА, ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО**
(Назиров Р.Р., Ивашкин В.В.)
- 14:10–14:40** **Ивашкин Вячеслав Васильевич (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН)**
Анализ задач механики космического полета
(Ивашкин В.В., Назиров Р.Р., Эйсмонт Н.А.)
- 14:40–15:10** **Нароенков Сергей Александрович (ИНАСАН)**
Проблема астероидно-кометной опасности:
состояние дел в России
(Шустов Б.М., Нароенков С.А.)
- 15:10–15:40** **Корянов Всеволод Владимирович (МГТУ им. Н.Э. Баумана)**
Научная школа динамики космического полёта в задачах изучения движения астероидов МГТУ им. Н.Э. Баумана
(Корянов В.В., Ивашкин В.В.)
- 15:40–16:10** **Галушина Татьяна Юрьевна (ТГУ)**
Исследование динамики астероидов с малыми перигелийными расстояниями в окрестности орбитальных и вековых резонансов
- 16:10–16:30** **Чай, кофе**
- 16:30–16:50** **Константинов Михаил Сергеевич (МАИ)**
Возможности космической транспортной системы при использовании на начальном участке гелиоцентрического перелета электроракетной двигательной установки и гравитационного маневра у Земли
- 16:50–17:10** **Соколов Леонид Леонидович (СПбГУ)**
Об использовании эффекта гравитационного маневра для предотвращения соударений астероида с Землей
- 17:10–17:30** **Стихно Кирилл Александрович (МГТУ им. Н.Э. Баумана)**
Сравнительный анализ нескольких методов корректирующего воздействия на орбиту сближающегося с Землей опасного астероида
(Стихно К.А., Ивашкин В.В.)
- 17:30–17:50** **Стихно Кирилл Александрович (МГТУ им. Н.Э. Баумана)**
Анализ коррекции орбиты сближающегося с Землей астероида переводом его на столкновительную с Лунной орбиту
- 17:50–18:10** **Эйсмонт Натан Андреевич (ИКИ РАН)**
Гравитационные маневры как инструмент управления астероидами
(Назиров Р.Р., Эйсмонт Н.А.)
- 18:10–18:30** **Суханов Александр Александрович (ИНПЕ, Бразилия)**
Об управлении движением малых небесных тел посредством направленных взрывов

22 МАРТА, ЧЕТВЕРГ

ЗАСЕДАНИЕ 2

- Ведущий: Константинов Михаил Сергеевич (МАИ)**
- 09:30–09:50 Гуськова Мария Сергеевна (МИЭМ НИУ ВШЭ)**
Расчет ограниченных орбит вокруг точки либрации
(Аксенов С.А., Бобер С.А., Гуськова М.С.)
- 09:50–10:10 Аксёнов Сергей Алексеевич (ИКИ РАН)**
Оценка затрат на перелет и удержание КА
на орбите вокруг точки либрации L_2 системы Солнце Земля
(Аксенов С.А., Бобер С.А., Гуськова М.С.)
- 10:10–10:30 Бобер Станислав Алексеевич (ИКИ РАН)**
Исследование возможностей перехода между орбитами
вокруг точек либрации L_2 и L_1
(Аксенов С.А., Бобер С.А., Гуськова М.С.)
- 10:30–10:50 Еленин Леонид Владимирович (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН)**
Роботизированные астероидные обзоры сети ISON —
поиск АСЗ и комет
(Еленин Л.В., Молотов И.Е.)
- 10:50–11:10 Кузнецов Владимир Борисович (ИПА РАН)**
Мониторинг космических тел, сближающихся с Землёй,
в ИПА РАН
(Вавилов Д.Е., Виноградова Т.А., Железнов Н.Б., Кочетова О.М.,
Кузнецов В.Б., Чернетенко Ю.А., Шор В.А.)
- 11:10–11:30 Михайлов Евгений Алексеевич (НПО им. С.А. Лавочкина)**
К вопросу о развертывании космической системы
предупреждения о приближении дневных астероидов
- 11:30–11:45 Чай, кофе**
- 11:45–12:05 Молотов Игорь Евгеньевич (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН)**
Международные кампании фотометрических наблюдений
астероидов
(Молотов И.Е., Круглый Ю.Н., Инасаридзе Р.Я., Еленин Л.В.,
Румянцев В.В., Новичонок А.О.)
- 12:05–12:25 Гуо Пэн (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН)**
Анализ точности определения орбиты опасного астероида типа
Апофис по оптическим измерениям комплекса «Небосвод»
(Гуо П., Ивашкин В.В.)
- 12:25–12:45 Нароенков Сергей Александрович (ИНАСАН)**
Исследование точности определения орбиты и места входа
в атмосферу опасного небесного тела по наблюдениям КА СОДА
- 13:00–13:40 Обед**
- 14:00–16:30 Свободное время, экскурсия по городу**
- 16:30–16:50 Чай, кофе**

22 МАРТА, ЧЕТВЕРГ

ЗАСЕДАНИЕ 3

Ведущий: Галушина Татьяна Юрьевна (ТГУ)

17:00–17:30 **Маров Михаил Яковлевич (ГЕОХИ РАН)**

Астероиды как объект исследований и источник ресурсов

17:30–18:00 **Поль Вадим Георгиевич (НПО им. С.А. Лавочкина)**

Астероидная опасность: 20 лет мониторинга,
текущие итоги и задачи

(Поль В.Г., Симонов А.В.)

18:00–18:20 **Симонов Александр Владимирович (НПО им. С.А. Лавочкина)**

Анализ возможности доставки средства противодействия
на потенциально опасный астероид

(Симонов А.В., Поль В. Г.)

18:20–18:40 **Холшевников Константин Владиславович (СПбГУ)**

Изменение орбиты астероида
двигателем малой постоянной тяги

(Холшевников К.В., Санникова Т.Н.)

19:00 **ТОРЖЕСТВЕННЫЙ УЖИН**

23 МАРТА, ПЯТНИЦА

ЗАСЕДАНИЕ 4

Ведущий: Ивашкин Вячеслав Васильевич
(ИПМ им. М.В. Келдыша РАН)

- 10:00–10:30 Щекутьев Александр Федорович (ЦНИИмаш)**
Схемы обработки и использования межспутниковых измерений в межспутниковой линии ГЛОНАСС в интересах эфемеридно-временного обеспечения системы
- 10:30–11:00 Колюка Юрий Федорович (ЦНИИмаш)**
Применение высокоэффективного метода численного интегрирования уравнений движения для решения задач динамики полета астероидов, сближающихся с Землей, и направляемых к ним КА
(Колюка Ю.Ф., Афанасьева Т.И.)
- 11:00–11:30 Сазонов Валентин Сергеевич (ЦНИИмаш)**
Применение кинетического удара для воздействия на малые опасные астероиды при их позднем обнаружении
- 11:30–12:00 Мещеряков Сергей Андреевич (ЦНИИмаш)**
О противодействии астероидной опасности
(Мещеряков С.А., Липницкий Ю.М.)
- 12:00–12:20 Чай, кофе**
- 12:20–12:40 Лан Аньци (МГТУ им. Н.Э. Баумана)**
Исследование траекторий космического аппарата для экспедиции Земля–Апофис–Земля с учетом выбора орбит пребывания у астероида
(Лан А., Ивашкин В.В.)
- 12:40–13:00 Ефремова Екатерина Викторовна (ИНАСАН)**
О траекториях перелета к астероидам, сближающимся с Землей
- 13:00–13:20 Буриков Владислав Сергеевич (ООО «Альтернативная и криогенная энергетика»)**
ЯРД с замкнутым блоком преобразования тепловой энергии ядерного реактора
(Буриков В.С., Буриков И.В., Буриков Ю.В.)
- 13:20–14:00 КРУГЛЫЙ СТОЛ, ЗАКРЫТИЕ СЕМИНАРА**
- 14:20–15:00 Обед**
- 15:30 Отъезд автобусом в Москву**

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

ЗАСЕДАНИЕ 1

АНАЛИЗ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА

В.В. Ивашкин¹, Р.Р. Назиров², Н.А. Эйсмонт²

¹ Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

² Институт космических исследований РАН

E-mail: ivashkin@keldysh.ru, rnazirov@rssi.ru, neismont@iki.rssi.ru

В докладе обсуждается формирование и эволюция механики космического полета как науки. Анализируются ее основные задачи, место в космонавтике, связи с другими науками. Отмечается становление новых актуальных проблем, в частности, теории и практики управления движением естественных небесных тел.

ПРОБЛЕМА АСТЕРОИДНО-КОМЕТНОЙ ОПАСНОСТИ: СОСТОЯНИЕ ДЕЛ В РОССИИ

Б.М. Шустов, С.А. Нароенков

Институт астрономии РАН

E-mail: bshustov@inasan.ru, snaroenkov@inasan.ru

Решение комплексной проблемы астероидно-кометной опасности (АКО) заключается в решении трех её основных составляющих, которыми являются:

1. Проблема обнаружения (выявления) всех опасных тел и определения их свойств;
2. Проблема оценки риска и принятия соответствующих решений;
3. Проблема противодействия и уменьшения ущерба.

В России ведется работа по всем этим направлениям. В докладе приводится краткая характеристика состояния дел (на начало 2018 г) по выполнению такой работы. Поскольку первоочередной задачей является решение проблемы обнаружения опасных тел, этому аспекту в докладе уделяется основное внимание. Также, учитывая направленность совещания, дается краткий обзор методов противодействия, в частности, способов изменения орбит ОНТ.

НАУЧНАЯ ШКОЛА ДИНАМИКИ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЁТА В ЗАДАЧАХ ИЗУЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ АСТЕРОИДОВ МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

В.В. Корянов¹, В.В. Ивашкин²

¹Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

²Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

E-mail: vk.sm3.bmstu@gmail.com, ivashkin@keldysh.ru

В докладе рассматриваются основные научные результаты, полученные на кафедре «Динамика и управление полётом ракет и космических аппаратов» МГТУ им. Н.Э. Баумана в области изучения движения околоземных астероидов.

В течение последних 10 лет на кафедре успешно работают и защищаются студенты, магистранты и аспиранты по темам, связанным с изучением движения астероидов и проектированием миссий к астероидам.

А именно, под руководством профессора В.В. Ивашкина:

- магистрант, в дальнейшем аспирант Лан Аньци определяла траектории экспедиции Земля-Апофис-Земля;
- магистрант Гуо Пэн выполнил оценку точностей определения орбиты опасного астероида на основе измерений космической системы «Небосвод»;
- студент Зубов Сергей Сергеевич определял с использованием фильтра Калмана орбиту астероида на основе измерений космической системы «Небосвод»;
- магистрант Чжао Цяньци определяла характеристики коррекции траектории полета КА к астероиду «Апофис»;
- студент Бычков Дмитрий Андреевич определял характеристики оптимального разгона КА с опорной орбиты у Земли для полета к астероиду Апофис.

Под руководством доцента В.В. Корянова:

- студент Симаков Андрей Сергеевич выполнил анализ различных способов отклонения опасного астероида Бенну с траектории сближения с Землей;
- аспирант Чэнь Даньхэ исследовала систему посадки на малое небесное тело.

Некоторые результаты изложены в научной статье В.А. Соловьева, В.Е. Любинского, В.В. Ивашкина, опубликованной в журнале «Инженерный журнал: наука и инновации».

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ АСТЕРОИДОВ С МАЛЫМИ ПЕРИГЕЛИЙНЫМИ РАССТОЯНИЯМИ В ОКРЕСТНОСТИ ОРБИТАЛЬНЫХ И ВЕКОВЫХ РЕЗОНАНСОВ

Т.Ю. Галушина

Томский государственный университет
E-mail: volna@sibmail.com

В последнее время астероиды с малыми перигелийными расстояниями ($q < 0,15$ а.е.) привлекают все большее внимание ученых вследствие их особой динамики и опасности для Земли. Рассматриваемые объекты могут приближаться к Земле незамеченными со стороны Солнца. С точки зрения орбитальной динамики необходимо отметить такие их особенности, как большие эксцентриситеты и наличие тесных сближений с планетами. Целью данной работы является выявление орбитальных и вековых резонансов и изучение их влияния на динамику астероидов.

В результате исследования было выявлено 14 АСЗ с малыми перигелийными расстояниями, движущихся в орбитальном резонансе с большими планетами (2 — с Венерой, 3 — с Марсом, 7 — с Юпитером, 2 — с Сатурном). Отдельное внимание было уделено апсидально-нодальным резонансам — показано, что все астероиды движутся в окрестности некоторых резонансов, т.е. резонансный аргумент либрирует и резонансное соотношение регулярно проходит через значение точной соизмеримости.

ВОЗМОЖНОСТИ КОСМИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НА НАЧАЛЬНОМ УЧАСТКЕ ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКОГО ПЕРЕЛЕТА ЭЛЕКТРОРАКЕТНОЙ ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ И ГРАВИТАЦИОННОГО МАНЕВРА У ЗЕМЛИ

М.С. Константинов

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
E-mail: mkonst@bk.ru

Проводится анализ увеличения транспортных возможностей космической системы при реализации межпланетных перелетов благодаря использованию (на начальном этапе полета) гелиоцентрического перелета Земля — Земля (на нем предполагается работа электроракетной двигательной установки) и гравитационного маневра у Земли.

Предполагается, что химический разгонный блок обеспечивает уход КА из окрестности Земли с относительно небольшим гиперболическим избытком скорости. Затем химический разгонный блок отделяется от КА. Гелиоцентрический перелет Земля — Земля реализуется с использованием солнечной электроракетной двигательной установки (СЭРДУ). Благодаря её работе КА подлетает к Земле (для гравитационного маневра у неё) с относительно большим гиперболическим избытком скорости (8...10 км/с). Гравитационный маневр у Земли может обеспечить даль-

нейший перелет к исследуемому небесному телу или планете, у которой будет осуществляться гравитационный маневр, как часть анализируемого маршрута межпланетного перелета.

Как пример, анализируется выведение КА на гелиоцентрическую орбиту для исследования Солнца в рамках проекта Интергелио-Зонд. Рассматривается маршрут с одним гравитационным маневром у Земли и последовательностью гравитационных маневров у Венеры, обеспечивающих большое наклонение рабочей орбиты к плоскости эклиптики. Предполагается, что СЭРДУ работает только на начальном гелиоцентрическом перелете Земля – Земля.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭФФЕКТА ГРАВИТАЦИОННОГО МАНЕВРА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СОУДАРЕНИЙ АСТЕРОИДА С ЗЕМЛЕЙ

Л.Л. Соколов

Санкт-Петербургский государственный университет

E-mail: lsok@astro.spbu.ru

Рассматривается увод астероида от соударений с Землей с использованием кинетического метода. Анализируются возможности использования эффекта гравитационного маневра при предыдущих сближениях с Землей с учетом ограниченной точности орбиты астероида и множества его резонансных возвратов. На примере ряда опасных астероидов показано, что в ряде случаев эффект гравитационного маневра целесообразно использовать, при этом удар по астероиду реализуем с учетом современных возможностей космической техники.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕСКОЛЬКИХ МЕТОДОВ КОРРЕКТИРУЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОРБИТУ СБЛИЖАЮЩЕГО С ЗЕМЛЕЙ ОПАСНОГО АСТЕРОИДА

К.А. Стихно¹, В.В. Ивашкин^{2,1}

¹Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

²Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

E-mail: fn2cyril@gmail.com, ivashkin@keldysh.ru

Выполнен анализ нескольких методов воздействия на опасный астероид Apophis для коррекции его орбиты с целью предотвращения его потенциально возможного столкновения с Землей в 2036 году. Рассмотрены как импульсные воздействия (ударно-кинетическое, ядерное), так и слабое длительное воздействие гравитационного тягача.

АНАЛИЗ КОРРЕКЦИИ ОРБИТЫ СБЛИЖАЮЩЕГОСЯ С ЗЕМЛЕЙ АСТЕРОИДА ПЕРЕВОДОМ ЕГО НА СТОЛКНОВИТЕЛЬНУЮ С ЛУНОЙ ОРБИТУ

К.А. Стихно

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
E-mail: fn2cyril@gmail.com

На примере опасного астероида Apophis для предотвращения его потенциально возможного столкновения с Землей проанализирована коррекция орбиты астероида, переводящая его на орбиту столкновения с Луной. Разработан алгоритм построения оптимальной столкновительной с Луной траектории астероида.

ГРАВИТАЦИОННЫЕ МАНЕВРЫ КАК ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ АСТЕРОИДАМИ

Р.Р. Назиров, Н.А. Эйсмонт

Институт космических исследований РАН
E-mail: ivashkin@keldysh.ru, rnazirov@rssi.ru, neismont@iki.rssi.ru

Рассматривается задача управления параметрами орбитального движения околоземных астероидов путем выполнения гравитационных маневров у планет и Луны. Их целью является отклонение опасных небесных объектов от траектории столкновения с Землей за счет наведения на них малых астероидов. Та же методика исследуется для решения задач захвата малых астероидов на орбиты, резонансные с Землей, и орбиты спутников Земли.

ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ МАЛЫХ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ ПОСРЕДСТВОМ НАПРАВЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ

А.А. Суханов

Национальный институт космических исследований (ИНПЕ)
Сан Жозе дус Кампус – Сан Пауло, Бразилия
E-mail: sasha.su@hotmail.com

Рассматривается задача перевода малого небесного тела с исходной орбиты на некоторую заданную орбиту, что может потребовать многоимпульсного перехода. Предлагается использовать для этой цели направленные взрывы с помощью заглубленного в грунт небесного тела взрывчатого вещества (ВВ). Реактивная тяга создается частью грунта тела, выброшенной взрывом с относительно большой скоростью в заданном направлении. Наиболее эффективным является применение для этой цели ядерных взрывов, однако если предполагается последующее использование вещества небесного тела, его радиоактивное заражение может оказаться недопустимым. Поэтому основное внимание в докладе

уделяется обычным ВВ. Приводятся оценки величины изменения скорости небесного тела в результате единичного взрыва.

Рассматривается также возможность управления движением небесных тел путём ударного воздействия на тело массивной «болванки», сталкивающейся с телом на большой скорости. Энергия такого воздействия на порядок превосходит энергию взрыва обычного ВВ, однако отсутствует возможность произвольного направления импульса.

ЗАСЕДАНИЕ 2

РАСЧЕТ ОГРАНИЧЕННЫХ ОРБИТ ВОКРУГ ТОЧКИ ЛИБРАЦИИ

М.С. Гуськова

Московский институт электроники и математики

Национального исследовательского университета Высшая школа экономики

E-mail: maria.guskova@rambler.ru

Будут представлен алгоритм расчета номинальных орбит вокруг точки либрации и результаты его применения при построении орбит вокруг точки L_2 системы Солнце-Земля. На основе обобщения полученных результатов построены карты соответствия типа и характеристик орбиты компонентам начального вектора состояния КА.

ОЦЕНКА ЗАТРАТ НА ПЕРЕЛЕТ И УДЕРЖАНИЕ КА НА ОРБИТЕ ВОКРУГ ТОЧКИ ЛИБРАЦИИ L_2 СИСТЕМЫ СОЛНЦЕ ЗЕМЛЯ

С.А. Аксенов^{2,1}

¹ Институт космических исследований РАН

² Московский институт электроники и математики

Национального исследовательского университета Высшая школа экономики

E-mail: saksenov@hse.ru

Будет представлена методика построения схемы перелета с низкой околоземной орбиты на орбиту вокруг точки либрации L_2 системы Солнце-Земля заданной амплитуды, рассмотрены вопросы удержания КА на такой орбите. Удержание КА на орбите вокруг точки либрации предлагается осуществлять с помощью коррекций, устраняющих неустойчивую компоненту движения. Будут приведены оценки затрат характеристической скорости на поддержание орбиты при наличии неточностей определения положения и скорости КА, погрешностей исполнения корректирующих импульсов и ограничений на направления, по которым производится коррекция.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПЕРЕХОДА МЕЖДУ ОРБИТАМИ ВОКРУГ ТОЧЕК ЛИБРАЦИИ L_2 И L_1

С.А. Бобер^{2,1}

¹ Институт космических исследований РАН

² Московский институт электроники и математики

Национального исследовательского университета Высшая школа экономики

E-mail: sbober@hse.ru

Будут представлены результаты исследования переходов между гало-орбитами в окрестностях точек либрации L_1 и L_2 системы Солнце-Земля. При помощи простой методики произведены оценки возможности перелета с заданной орбиты, времени перелета, величины необходимого импульса, энергии и формы конечной орбиты.

РОБОТИЗИРОВАННЫЕ АСТЕРОИДНЫЕ ОБЗОРЫ СЕТИ ISON – ПОИСК АСЗ И КОМЕТ

Л.В. Еленин, И.Е. Молотов

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН
E-mail: l.eleinin@gmail.com

Первый роботизированный обзор сети ISON, работающий по программе АКО, был запущен летом 2010 года, а в 2015 году установлен обзорный телескоп в южном полушарии. За этот период было обнаружено свыше 1600 астероидов Главного пояса, 14 объектов, сближающихся с Землей и 6 комет. Развивается собственное программное обеспечение для эффективного управления роботизированными комплексами и обработки получаемых данных. На замену нынешних телескопов готовятся перспективные, сверхширокоугольные инструменты с апертурой 40 см и полем зрения свыше 23 кв. градусов.

МОНИТОРИНГ КОСМИЧЕСКИХ ТЕЛ, СБЛИЖАЮЩИХСЯ С ЗЕМЛЁЙ, В ИПА РАН

***Д. Е. Вавилов, Т.А. Виноградова, Н.Б Железнов, О.М. Кочетова,
В.Б. Кузнецов, Ю.А. Чернетенко, В.А. Шор***

Институт прикладной астрономии РАН
E-mail: shor@iaaras.ru, vb.kuznetsov@iaaras.ru

В ИПА РАН осуществляется мониторинг сближений с Землёй потенциально опасных астероидов и комет. Из наблюдений производится оценка размеров тела и его орбиты. Движение прогнозируется посредством численного интегрирования. При прохождении тела мимо Земли оценивается вероятность столкновения с учётом неопределённости орбиты. Если номинальная орбита минует Землю, но при этом вероятность столкновения достаточно велика, то на земной поверхности вычисляется полоса риска. Точность вычислений сопоставляется с данными других центров мониторинга сближений.

К ВОПРОСУ О РАЗВЁРТЫВАНИИ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ПРИБЛИЖЕНИИ ДНЕВНЫХ АСТЕРОИДОВ

Е.А. Михайлов

АО «НПО им. С.А. Лавочкина»
E-mail: mikhaylov@laspace.ru

Падение крупных астероидов на поверхность Земли может привести к природным катаклизмам, чрезвычайным ситуациям техногенного характера и угрожать жизни людей. В этой связи необходимо создание и развитие систем обнаружения космических тел, приближающихся к Земле. Астероиды, приближающиеся к Земле с внешней стороны

Солнечной системы, фиксируются при помощи оптических средств. Однако при обнаружении неконтрастных на фоне космического пространства «дневных» астероидов, приближающихся к Земле со стороны Солнца, аналогичный алгоритм будет неэффективен. Решением задачи является размещение космических обсерваторий в окрестности точки либрации L1 системы Солнце-Земля, чему и посвящён настоящий доклад. Подобные КА позволят обеспечить обнаружение «дневных» астероидов по отраженному от их поверхности солнечному свету.

МЕЖДУНАРОДНЫЕ КАМПАНИИ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ АСТЕРОИДОВ

***И.Е. Молотов¹, Ю.Н. Круглый², Р.Я. Инасаридзе³,
Л.В. Еленин¹, В.В. Румянцев⁴, А.О. Новичонок¹***

¹ Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

² Институт астрономии Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина

³ Абастуманская астрофизическая обсерватория Тбилисского государственного университета

⁴ Крымская астрофизическая обсерватория РАН

E-mail: im62@mail.ru

С 2008 г. в рамках проекта НСОИ АФН ежегодно проводится несколько кампаний по фотометрическим наблюдениям астероидов. Задачами являются изучение вновь открытых АСЗ в период их сближения с Землей; поиски двойных астероидов и определение параметров двойных и кратных систем; изучение влияния негравитационных сил на скорости и наклоны осей вращения астероидов; исследование физических свойств АСЗ, выбранных целями для радиолокационных наблюдений и космических миссий. Наблюдения проводятся с 70-см телескопами АС-32 в Абастумани и АЗТ-8 в Чугуеве, 1-м Цейсс-1000 в Симеизе, 2,6-м ЗТШ в Научном, 40-см САНТЕЛ-400А в Нью-Мексике. Кроме того, периодически присоединяются обсерватории в Казахстане, Болгарии и Узбекистане. Было получено более 400 кривых блеска для 180 АСЗ, что позволило открыть уже 9 двойных астероидов, а также подтвердить YORP-эффект у 5 АСЗ.

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРБИТЫ ОПАСНОГО АСТЕРОИДА ТИПА АПОФИС ПО ОПТИЧЕСКИМ ИЗМЕРЕНИЯМ КОМПЛЕКСА «НЕБОСВОД»

П. Гуо, В.В. Ивашкин

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

E-mail: ivashkin@keldysh.ru

В работе выполнен анализ задачи определения параметров орбиты опасного астероида типа Апофис по оптическим измерениям космической системы «Небосвод». Получены оценки точности навигации, как для пролетного, так и для попадающего в Землю вариантов орбиты астероида.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРБИТЫ И МЕСТА ВХОДА В АТМОСФЕРУ ОПАСНОГО НЕБЕСНОГО ТЕЛА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ КА СОДА

С.А. Нароенков

Институт астрономии РАН

E-mail: snaroenkov@inasan.ru

В работе проведены исследования точности определения орбиты и эллипса рассеивания возможного места входа в атмосферу опасного небесного тела при наблюдении с помощью разрабатываемого КА СОДА (Система обнаружения дневных астероидов). В качестве примера была исследована орбита Челябинского метеороида. Оценены возможности точного определения орбиты опасного небесного тела при наблюдении с одного и двух КА СОДА.

ЗАСЕДАНИЕ 3

АСТЕРОИДНАЯ ОПАСНОСТЬ: 20 ЛЕТ МОНИТОРИНГА, ТЕКУЩИЕ ИТОГИ И ЗАДАЧИ

В.Г. Поль, А.В. Симонов

АО «НПО им. С.А. Лавочкина»

E-mail: polvad@laspace.ru alex.simonov@laspace.ru

Производится обзор результатов обнаружения и мониторинга астероидов, сближающихся с Землей (NEA) на начало 2018г. Приводятся оценки общего количества NEA, обнаруженных за последнее десятилетие. Делается вывод о том, что из них (с диаметром выше 140м) не менее 80% уже обнаружено. Каталогизация крупных NEA (> 1 км) практически завершена на 95%. Популяция потенциально опасных астероидов (РНА) практически вышла на уровень, составляющий <15% из общего количества NEA. При этом на сегодня уже каталогизировано ~70% от предполагаемого количества всех РНА. Вполне вероятно, что мониторинг объектов NEA и РНА на уровне ~90-95% удастся завершить к 2020-2025 гг. Одновременно наблюдается рост малых тел масштаба тунгусского объекта и менее.

Постепенно подтверждается вывод о том, что риск реальной астероидной катастрофы во временных рамках существования не только государств, но и исторических цивилизаций, ранее переоценивался и достаточно мал. Однако этот же вывод ведет к необходимости разрабатывать вероятностный анализ последующих событий, следующих после возможного чрезмерного сближения РНА с Землей. Этими событиями являются неопределенность траектории NEA после первичного сближения и вероятность вторичных тесных сближений а также попыток намеренного изменения его траектории. Представляется, что астероид, Апофис, для которого обстоятельства тесного опасного сближения с Землей в 2029г прогнозируются достаточно уверенно, должен оставаться объектом особого внимания и служить прекрасным модельным объектом для систематического изучения как астероидов, так проблемы АО в целом.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ДОСТАВКИ СРЕДСТВА ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫЙ АСТЕРОИД

А.В. Симонов, В.Г. Поль

АО «НПО им. С.А. Лавочкина»

E-mail: polvad@laspace.ru alex.simonov@laspace.ru

В последнее время астероидная опасность признана существующим фактором, требующим соответствующих исследований и некоторых реальных мер. К их числу принято относить обнаружение потенциально

опасных астероидов, средства противодействия удару по Земле, и средства доставки последних к угрожающему объекту. В отношении первых мер действительно предпринимаются действенные меры, ведется и интенсивно пополняется каталог угрожающих объектов. В отношении же вторых и третьих мер пока реальной работы не ведется, и имеются лишь различные предложения о таких способах воздействия, которые могли бы устранить удар по Земле.

Вместе с тем, большинство предложений лишено каких-либо оснований их реализуемости, и это обстоятельство стимулирует постановку задачи оценки реальности противодействия в комплексе. Настоящее исследование и является попыткой наметить пути решения данной задачи. В основу такой попытки кладется трезвый анализ технологических возможностей существующей и перспективной космической техники.

В докладе анализируется спектр возможностей существующих средств выведения полезной нагрузки в околосолнечное пространство с учетом перспективы их развития в предвидимом будущем. В результате количественно оценивается та часть множества потенциально опасных астероидов, для которой есть смысл дальнейшего рассмотрения тех или иных конкретных способов противодействия.

ИЗМЕНЕНИЕ ОРБИТЫ АСТЕРОИДА ДВИГАТЕЛЕМ МАЛОЙ ПОСТОЯННОЙ ТЯГИ

К.В. Холшевников, Т.Н. Санникова

Санкт-Петербургский государственный университет
E-mail: kvk@sky.astro.spbu.ru

Рассмотрена задача о движении астероида под действием притяжения к Солнцу и возмущающего ускорения \mathbf{P} . Вектор \mathbf{P} считается постоянным в одной из двух орбитальных систем отсчета (с первым ортом по радиусу-вектору и с первым ортом по вектору скорости). Получена осредненная система уравнений и преобразование к средним элементам. Уравнения движения в средних элементах проинтегрированы в квадратурах в важнейших частных случаях.

ЗАСЕДАНИЕ 4

СХЕМЫ ОБРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕЖСПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В МЕЖСПУТНИКОВОЙ ЛИНИИ ГЛОНАСС В ИНТЕРЕСАХ ЭФЕМЕРИДНО-ВРЕМЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ

А.Ф. Щекутьев

ФГУП ЦНИИмаш

E-mail: a.schekutiev@glonass-iac.ru

В докладе обсуждаются общие особенности межспутниковой линии (МСЛ) ГЛОНАСС, системные вопросы в части оценки возможностей МСЛ для целей ЭВО ГЛОНАСС. Рассматриваются проблемы разработки алгоритмов для использования навигационно-измерительной информации от бортовых аппаратурных средств МСЛ (взаимные псевдодальности и, возможно, углы линий визирования (ЛВ) КА-КА), которая будет формироваться в будущей ГНСС с использованием бортовой аппаратуры (БА) МСЛ. Описана «веерная» схема формирования, накопления и обработки межспутниковых измерений (МСИ). В докладе сделан акцент на оценивание скорости сходимости итераций при уточнении частотно-временных параметров и синхронизации бортовых шкал времени (БШВ) КА Глонасс с использованием распределенного итерационного процесса синхронизации БШВ в рамках веерной схемы.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА ЧИСЛЕННОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИНАМИКИ ПОЛЕТА АСТЕРОИДОВ, СБЛИЖАЮЩИХСЯ С ЗЕМЛЕЙ, И НАПРАВЛЯЕМЫХ К НИМ КА

Ю.Ф. Колюка, Т.И. Афанасьева

ФГУП ЦНИИмаш

E-mail: yfk@mcc.rsa.ru

При решении прецизионных задач, связанных с динамикой полета астероидов, сближающихся с Землей (высокоточный прогноз движения по орбите, тщательный расчет параметров сближения с Землей), помимо использования наиболее адекватных моделей движения и наиболее точных параметров орбит астероидов, требуется также наличие высокоэффективного программно-математического аппарата, позволяющего с высокой точностью и в приемлемое время осуществлять интегрирование соответствующих дифференциальных уравнений, описывающих движение АСЗ, в том числе, и на длительных интервалах времени.

Точный расчет движения астероида, а также совершающего вблизи него полет КА, может потребоваться также при решении научно-исследовательских и прикладных задач, связанных с данным небесным телом, с помощью космической техники. В этом случае также будет

необходим эффективный аппарат для высокоточного интегрирования уравнений движения астероида и направляемого к нему КА.

В докладе представляется сравнительно малоизвестный оригинальный численный метод, позволяющий с высокой точностью и быстродействием осуществлять интегрирование уравнений движения естественных и искусственных космических объектов, совершающих полеты по орбитам произвольного типа, при использовании моделей движения (правых частей уравнений) любой сложности.

Особенностью метода является представление решения на каждом шаге в виде интерполяционных полиномов высокого порядка, строящихся по предложенной технологии на специальной системе неравноотстоящих узловых точек, близких к узлам многочленов Чебышева. Данный подход получения решения позволяет непосредственно находить параметры движения объекта с заданной точностью в любой точке внутри шага. Метод позволяет надежно контролировать методическую ошибку на шаге и легко без дополнительных переычислений менять его длину. Применительно к уравнениям небесной механики метод является самоначинающимся, т.е. не требует привлечения к началу процесса интегрирования каких-либо других более простых методов.

Приводятся результаты применения данного метода при исследовании динамики движения по орбите и сближениях с Землей на длительных интервалах времени астероида «Апофис» и одного из астероидов класса Аполлон, а также динамики относительного движения КА и этого астероида.

ПРИМЕНЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОГО УДАРА ДЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАЛЫЕ ОПАСНЫЕ АСТЕРОИДЫ ПРИ ИХ ПОЗДНЕМ ОБНАРУЖЕНИИ

В.С. Сазонов

ФГУП ЦНИИмаш

E-mail: sazonovvs@tsniimash.ru

Исследуется возможность отклонения малых астероидов с помощью высокоскоростного удара телом, доставляемым ракетой, начальная масса которой является параметром задачи. Определены условия существования оптимальной стратегии перехвата в условиях ограниченного времени и возможного разрушения астероида.

О ПРОТИВОДЕЙСТВИИ АСТЕРОИДНОЙ ОПАСНОСТИ

С.А. Мещеряков, Ю.М. Липницкий

ФГУП ЦНИИмаш

E-mail: smeshcheryakov@mtu-net.ru

Предполагается рассмотреть следующие вопросы: сравнение различных импульсных методов воздействия; требуемые импульсы скорости; отклонение астероида в случае позднего предупреждения; актуальные направления работ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ЭКСПЕДИЦИИ ЗЕМЛЯ-АПОФИС-ЗЕМЛЯ С УЧЕТОМ ВЫБОРА ОРБИТ ПРЕБЫВАНИЯ У АСТЕРОИДА

А. Лан¹, В.В. Ивашкин^{2,1}

¹ МВТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

² Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

E-mail: seatu_angel@126.com, ivashkin@keldysh.ru

Работа посвящена исследованию баллистико-траекторных характеристик экспедиции к потенциально опасному астероиду Апофис с возвратом к Земле для изучения этого астероида, взятия образцов его грунта и уменьшения астероидной опасности.

О ТРАЕКТОРИЯХ ПЕРЕЛЕТА К АСТЕРОИДАМ, СБЛИЖАЮЩИМСЯ С ЗЕМЛЕЙ

Е.В Ефремова

Институт астрономии РАН

E-mail: efremova@inasan.ru

В работе рассматриваются различные варианты перелета космического аппарата к перспективному в ресурсном плане астероиду 163243 (2002 FB3) с Земли. Астероид 163243 (2002 FB3) спектрального класса S, Q представляет собой околоземный астероид и принадлежит к группе Аполлонов. Диаметр астероида составляет 1.682 км, наклонение орбиты 20.3°, эксцентриситет 0.6.

Параметры орбиты астероида близки к параметрам орбиты Земли, что делает его удобным для достижения.

ЯРД С ЗАМКНУТЫМ БЛОКОМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

В.С. Буриков, И.В. Буриков, Ю.В. Буриков

ООО «Альтернативная и криогенная энергетика»

E-mail: v1938b@yandex.ru

В докладе рассматривается схема ЯРД, в котором тепло, выделяемое ядерным реактором, преобразуется в механическую работу в замкнутом газодинамическом блоке. Не использованное тепло отводится с помощью жидкого водорода, запасённого на борту космического аппарата, который испаряется, подогревается и дополнительно нагревается в ядерном реакторе. Нагретый водород сжимается компрессором и расширяется в сопле для получения тяги, причём компрессор для своей работы использует механическую энергию, выработанную в газодинамическом блоке.

Предлагаемая схема ЯРД позволяет получить большую тягу двигателя, удельный импульс не менее 900 секунд, длительный ресурс работы.