

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

НАУЧНЫЙ СЕМИНАР
«МЕХАНИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАТИКА»

ВЫЕЗДНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

**ЗАДАЧИ
ДИНАМИКИ И УПРАВЛЕНИЯ
В ПРОЕКТЕ
«СПЕКТР-РЕНТГЕН-ГАММА»**

ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО «ИНТЕРКОСМОС»
ТАРУСА, КАЛУЖСКАЯ ОБЛАСТЬ

27–29 ноября 2019 года

**ПРОГРАММА
ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

27 НОЯБРЯ, СРЕДА

10:00	Отъезд автобусом от ИКИ РАН
13:30	Прибытие в представительство «Интеркосмос», расселение
14:00–14:45	Обед
15:00–16:50	ЗАСЕДАНИЕ 1 Председатель: НАЗАРОВ Владимир Николаевич
15:00–15:40	АРЕФЬЕВ Вадим Александрович канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. (ИКИ РАН) Проект «Спектр-Рентген-Гамма»: научные задачи и первые результаты (Арефьев В. А., Павлинский М. Н., Семена Н. П., Мольков С. В.)
15:40–16:10	ЭЙСМОНТ Натан Андреевич канд. техн. наук, вед. науч. сотр. (ИКИ РАН) История полётов к коллинеарным точкам либрации
16:10–16:50	ПОГОДИН Андрей Валерьевич зам. нач. отдела (АО «НПО Лавочкина») Принципы навигации по сигналам рентгеновских пульсаров
16:50–17:10	Чай, кофе
17:10–19:00	ЗАСЕДАНИЕ 2 Председатель: ЭЙСМОНТ Натан Андреевич
17:10–17:40	МЖЕЛЬСКИЙ Павел Владимирович вед. математик (АО «НПО Лавочкина») Баллистическое проектирование рабочей орбиты космического аппарата «Спектр-РГ» (Мжельский П. В., Михайлов Е. А.)
17:40–18:10	МИХАЙЛОВ Евгений Алексеевич математик 1 кат. (АО «НПО Лавочкина») Предложения по изменению параметров рабочей орбиты космического аппарата «Спектр-РГ» (Аксёнов С. А., Михайлов Е. А.)
18:10–18:40	ФИЛИППОВА Елена Николаевна вед. математик (АО «НПО Лавочкина») Баллистико-навигационное обеспечение выполнения программы научных наблюдений (Погодин А. В., Филиппова Е. Н.)
18:40–19:00	ДИТРИХ Алексей Владимирович ст. науч. сотр. (РКК «Энергия») Реализация выведения космического аппарата «Спектр-РГ» на отлётующую траекторию в окрестность либрационной точки L_1 системы «Земля – Солнце» (Дитрих А. В., Глушков П. А., Колодий В. С.)
19:00	Торжественный ужин

28 НОЯБРЯ, ЧЕТВЕРГ

08:30–09:00 Завтрак

09:00–11:10 ЗАСЕДАНИЕ 3

Председатель: **КОЛЮКА Юрий Фёдорович**

09:00–09:50 АКСЁНОВ Сергей Алексеевич
канд. техн. наук, зам. директора по науке (МИЭМ НИУ ВШЭ)
Особенности движения
в окрестностях коллинеарных точек либрации
(Аксёнов С.А., Бобер С.А.)

09:50–10:30 ТУЧИН Андрей Георгиевич
д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр. (ИПМ им. М. В. Келдыша РАН)
Проблемы навигационного обеспечения
полётов космических аппаратов
к спутникам Марса Фобосу и Деймосу
(Тучин А.Г., Закиров Э.Р.)

10:30–11:10 ТУЧИН Денис Андреевич
канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр. (ИПМ им. М. В. Келдыша РАН)
Математическая модель определения орбиты
на борту космического аппарата
по сигналам систем спутниковой навигации

11:10–11:30 Чай, кофе

28 НОЯБРЯ, ЧЕТВЕРГ

- 11:30–14:00 ЗАСЕДАНИЕ 4**
- Председатель: **ИВАШКИН Вячеслав Васильевич**
- 11:30–12:10 КОЛЮКА Юрий Фёдорович**
канд. техн. наук, ст. науч. сотр. (АО «ЦНИИмаш»)
Поиск достоверных решений
по определению параметров движения
космического аппарата «Спектр-РГ» в условиях
наличия аномальных сеансов измерений в данных
траекторного контроля этого космического аппарата
- 12:10–12:50 ЛАВРЕНТЬЕВ Виктор Григорьевич**
д-р техн. наук, ст. науч. сотр., зам. нач. отдела (АО «ЦНИИмаш»)
Методика и результаты ЦУП ЦНИИмаш по оценке
коррекций траектории, выполненных на этапе
перелёта космического аппарата «Спектр-РГ»
в окрестности точки либрации L_2
системы «Солнце – Земля»
- 12:50–13:20 ГРУДИН Дмитрий Викторович**
нач. отдела (АО «ЦНИИмаш»)
Подготовка и проведение работ по баллистико-
навигационному обеспечению полёта
космического аппарата «Спектр-РГ»
(Грудин Д. В., Погодин А. В., Тучин А. Г.)
- 13:20–13:40 БЕЛЯЕВ Илья Сергеевич**
инженер (АО «ЦНИИмаш»)
Определение и прогнозирование параметров
движения космического аппарата «Спектр-РГ»
в ЦУП ЦНИИмаш с использованием штатных
программных средств
(Афанасьева Т. И., Андреев А. В., Грудин Д. В., Беляев И. С.)
- 13:40–14:00 ЗУБКО Владислав Александрович**
ст. лаборант (ИКИ РАН)
Расчёт периодов просвечивания венерианской
атмосферы радиосигналом между орбитальным
модулем и космическим аппаратом в окрестности
точки либрации L_1 системы «Солнце – Венера»
(Зубко В. А., Беляев А. А.)
- 14:00–14:50 Обед**
- 15:00–19:00 Свободная дискуссия, обсуждение докладов**
- 19:00 Ужин**

29 НОЯБРЯ, ПЯТНИЦА

09:00–09:50 Завтрак

10:00–12:00 ЗАСЕДАНИЕ 5

Председатель: **ЛАВРЕНТЬЕВ Виктор Григорьевич**

- 10:00–11:00 **ИВАШКИН Вячеслав Васильевич**
д-р физ.-мат. наук, профессор, гл. науч. сотр. (ИПМ им. М. В. Келдыша РАН)
Методы безусловной и условной минимизации
в задаче о переводе сближающегося с Землей
астероида на столкновительную с Луной орбиту
(Ивашкин В. В., Стихно К. А.)
- 11:00–11:40 **ГРУШЕВСКИЙ Алексей Васильевич**
д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр. (ИПМ им. М. В. Келдыша РАН)
Построение малозатратных туров в системе Юпитера
с использованием гравитационных манёвров
с целью посадки на один из его спутников
(Грушевский А. В., Голубев Ю. Ф., Корянов В. В., Тучин А. Г.)

11:40–12:00 Чай, кофе

12:00–13:30 ЗАСЕДАНИЕ 6

Председатель: **ЛАВРЕНТЬЕВ Виктор Григорьевич**

- 12:00–12:30 **ПАВЛОВА Елена Александровна**
ст. инженер (ИПМ им. М. В. Келдыша РАН)
Виды и последствия опасных ситуаций
в околоземном космическом пространстве
(Павлова Е. А., Стрельцов А. И., Еленин Л. В., Степаньянц В. А.,
Захваткин М. В.)

- 12:30–13:00 **ЕНАЛЕЕВ Константин Русланович**
инженер (АО «ЦНИИмаш»)
Возможные сценарии увода космических аппаратов
при завершении срока активного существования
в окрестности точки либрации L_2
системы «Солнце – Земля»

13:00–14:00 Круглый стол

14:00–14:50 Обед

15:30 Отъезд в Москву

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

ЗАСЕДАНИЕ 1

ПРОЕКТ «СПЕКТР-РЕНТГЕН-ГАММА»: НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В. А. Арефьев, М. Н. Павлинский, Н. П. Семена, С. В. Мольков

Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)
E-mail: arefiev@iki.rssi.ru, semena@iki.rssi.ru

В докладе дано описание научных задач проекта «Спектр-РГ» и первых результатов наблюдений рентгеновских телескопов АРТ-ХС и ЕРОЗИТА.

ИСТОРИЯ ПОЛЁТОВ К КОЛЛИНЕАРНЫМ ТОЧКАМ ЛИБРАЦИИ

Н. А. Эйсмонт

Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)
E-mail: neismont@iki.rssi.ru

Первый космический аппарат в окрестность коллинеарной солнечно-земной точки либрации L_1 году был запущен NASA в 1978 г. в рамках проекта ISEE. Автором идеи и разработчиком сценария и запуска является Роберт Фаркуар (Robert Farquhar). Проект был полностью успешным и направлен главным образом на исследование солнечного ветра. Кроме того, после завершения основной части программы за счёт многоразовых манёвров у Луны аппарат был переведён на траекторию к комете Якобини – Циннера, получив новое название: ICE. Для проекта «Спектр-Рентген-Гамма» в качестве предшественника можно рассматривать советский проект «Реликт-2». В разработке этого проекта также принимал активное участие Роберт Фаркуар. И это был первый в мире проект, для построения орбиты которого планировалось использование гравитационного манёвра у Луны с целью уменьшения амплитуды его движения около точки либрации L_2 . В докладе приводятся некоторые особенности сценария выведения этого и других аппаратов на рабочую орбиту и характеристики динамики полёта и управления движением в окрестности точек либрации.

ПРИНЦИПЫ НАВИГАЦИИ ПО СИГНАЛАМ РЕНТГЕНОВСКИХ ПУЛЬСАРОВ

A. V. Погодин

Акционерное общество «Научно-производственное объединение им. С. А. Лавочкина»
(АО «НПО Лавочкина»)
E-mail: snorry@laspace.ru

Быстровращающиеся нейтронные звёзды-пульсары являются естественными высокостабильными эталонами частоты. При этом регистрация излучения пульсаров в рентгеновском диапазоне длин волн позволяет создать систему автономной навигации КА. В докладе описываются принципы автономной навигации по сигналам рентгеновских пульсаров, оценивается достижимая точность таких систем, а также рассматриваются практические сложности при их создании.

ЗАСЕДАНИЕ 2

БАЛЛИСТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАБОЧЕЙ ОРБИТЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «СПЕКТР-РГ»

П. В. Мжельский, Е. А. Михайлов

Акционерное общество «Научно-производственное объединение им. С. А. Лавочкина»
(АО «НПО Лавочкина»)

E-mail: mzhelskiy@laspace.ru, oleggeny@mail.ru

В докладе представляются результаты исследовательской работы по выбору номинальной орбиты КА «Спектр-РГ» при условии обеспечения ежесуточной видимости с КИП, задействованных в составе КУ.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИЗМЕНЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕЙ ОРБИТЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «СПЕКТР-РГ»

С. А. Аксёнов^{1,2}, Е. А. Михайлов³

¹ Московский институт электроники и математики им. А. Н. Тихонова Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (МИЭМ НИУ ВШЭ)

² Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)
E-mail: saksenov@hse.ru

³ Акционерное общество «Научно-производственное объединение им. С. А. Лавочкина»
(АО «НПО Лавочкина»)
E-mail: oleggeny@mail.ru

В докладе представляются предложения по изменению параметров рабочей орбиты КА «Спектр-РГ» с целью повышения надёжности управления и продления срока активного существования

БАЛЛИСТИКО-НАВИГАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГРАММЫ НАУЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

А. В. Погодин, Е. Н. Филиппова

Акционерное общество «Научно-производственное объединение им. С. А. Лавочкина»
(АО «НПО Лавочкина»)

E-mail: snorry@laspace.ru, flen@laspace.ru

Формирование научной программы осуществляется научной группой (ИКИ + DLR) по исходным данным о движении КА и с учётом расписания сеансов связи с КА и графика технологических работ. При этом необходимо учитывать ряд ограничений на ориентацию со стороны научных приборов и служебных систем, а также технологию работ с аппаратом, выработанную специалистами Сектора Главного Конструктора. В докладе описывается взаимодействие группы БНО с научной группой при формировании плана работ с аппаратом.

ЗАСЕДАНИЕ 3

ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ В ОКРЕСТНОСТЯХ КОЛЛИНЕАРНЫХ ТОЧЕК ЛИБРАЦИИ

С. А. Аксёнов^{1,2}, С. А. Бобер^{1,2}

¹ Московский институт электроники и математики им. А. Н. Тихонова Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (МИЭМ НИУ ВШЭ)

² Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)
E-mail saksenov@hse.ru, sbober@hse.ru

В докладе обсуждаются особенности орбит вокруг точек либрации в рамках ограниченной задачи трёх тел. Приводится математическая постановка задачи, обсуждается структура и особенности её решений, а также проблемы численного интегрирования данной задачи с целью расчёта ограниченных орбит. Предлагается методика вычисления ограниченных орбит вокруг точек либрации с использованием численного интегрирования. Приводятся результаты вычислительных экспериментов, проведённых с помощью данной методики и позволяющих строить обобщения и делать выводы о структуре и свойствах различных семейств периодических и квазипериодических решений ограниченной задачи трёх тел.

ПРОБЛЕМЫ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЁТОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ К СПУТНИКАМ МАРСА ФОБОСУ И ДЕЙМОСУ

А. Г. Тучин, Э. Р. Закиров

Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук (ИПМ им. М. В. Келдыша РАН)
E-mail: tag@kiam1.rssi.ru

Схема экспедиции включает в себя следующие этапы:

- старт и выведение космического комплекса (КА) на отлётную от Земли траекторию;
- перелёт Земля – Марс с проведением коррекций межпланетной траектории;
- торможение и выход на начальную трёхсуточную орбиту искусственного спутника Марса (ИСМ),
- поэтапное сближение орбиты КА с орбитой Фобоса до расстояний, позволяющих осуществить посадку;
- посадка на поверхность Фобоса, взятие проб грунта;
- взлёт возвращаемого аппарата (ВА) вместе со спускаемым аппаратом (СА) с Фобоса и полёт по круговой базовой орбите ИСМ;
- переход ВА на высокоапогейную стартовую орбиту ИСМ;
- разгон со стартовой орбиты к Земле;

- перелёт Марс-Земля с проведением до пяти коррекций;
- разделение СА и ВА примерно за два часа до входа в атмосферу, вход в атмосферу Земли и посадка.

Навигация обеспечивается наземными траекторными измерениями и бортовыми оптическими измерениями Фобоса.

Наземные радиотехнические измерения должны выполняться совместно тремя пунктами дальней космической радиосвязи (Уссурийск, Медвежьи Озёра и Евпатория). При этом измеряются запросным методом наклонная дальность и радиальная (доплеровская) скорость с предельными аппаратурными ошибками (без учёта влияния среды распространения сигнала) ± 20 м и $\pm 0,2$ мм/с соответственно.

На наиболее ответственных участках полёта траекторные измерения проводятся по схеме трёхпутевого Доплера. Один измерительный пункт (например, Уссурийск) проводит сеанс запросных измерений. Другой измерительный пункт (в данном примере это Медвежьи Озёра) измеряет доплеровский сдвиг сигнала, излучаемого с борта КА. Совместная обработка измерений с двух измерительных пунктов позволит получить измерения доплеровского сдвига по двум трассам, в данном примере Уссурийск – КА – Уссурийск и Уссурийск – КА – Медвежьи Озёра. Наличие двух трасс позволяет измерить скорость КА не только в радиальном направлении, но и в плоскости, ортогональной радиальному направлению, если использовать разность измеряемых величин доплеровского сдвига, полученных на разных измерительных пунктах.

Выполнение динамических операций, обеспечивающих сближение и посадку на Фобос, невозможно без уточнения теории его движения по оптическим угловым измерениям, выполняемым на орбите наблюдения (почти круговая орбита со средним радиусом 9,9 тыс. км, что примерно на 535 км выше орбиты Фобоса). Навигационные измерения проводятся с помощью бортовой ТВ-камеры на тех участках ОН, где это позволяют сделать условия освещённости и где расстояние от КА до Фобоса не превышает 1500 км.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРБИТЫ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПО СИГНАЛАМ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ

Д. А. Тучин

Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук
(ИПМ им. М. В. Келдыша РАН)
E-mail: phobos.den@yandex.ru

Разработаны алгоритмы навигационной системы определения параметров движения на борту космического аппарата (КА) по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS.

Разработаны математические модели измерений, алгоритмов обработки и отладки.

Надёжность работы автономной навигации строится на независимости получения измерений навигационных КА от результатов определения орбиты. При этом получение измерений и определение орбиты выполняются на двух разных специализированных процессорах.

Высокая динамика полёта КА на орбите с большим эксцентризитетом и большая дальность до навигационных спутников потребовала разработки новых методов и алгоритмов поиска и слежения за радионавигационными сигналами с использованием аппаратного коррелятора. Повышенные требования к надёжности приёма сигналов заставили отказаться от алгоритмов поиска сигнала по априорному значению до-плеровского смещения сигнала, зависящего от точности знания орбиты. Приведены разработанные алгоритмы поиска и слежения за сигналом навигационных спутников, предназначенные для использования радионавигационных сигналов на борту околоземного КА, для которого радиальная скорость до излучателя лежит в диапазоне ± 10 км/с, что на порядок превышает значения для наземного пользователя. Приведена небесно-механическая интерпретация первичных измерений, т. е. приведены соотношения связи физических величин и радиотехнических параметров, описывающих дальномерные и скоростные измерения. Описана математическая модель коррелятора и приведены управляющие параметры и измерения. Приведены методы поиска и слежения за радионавигационными сигналами ГЛОНАСС и GPS. Предложены методики оценки точности измерений коррелятора без решения навигационной задачи.

Разработанные методы определения орбиты основаны на использовании законов динамики движения КА непосредственно при обработке первичных скоростных и дальномерных измерений по протяжённой мерной базе. Представлены алгоритмы трёхэтапного метода определения орбиты КА на его борту: первоначальное определение орбиты, определение орбиты на короткой дуге и обработка нормальных мест.

Проведено численное моделирование. Представлены результаты.

ЗАСЕДАНИЕ 4

ПОИСК ДОСТОВЕРНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «СПЕКТР-РГ» В УСЛОВИЯХ НАЛИЧИЯ АНОМАЛЬНЫХ СЕАНСОВ ИЗМЕРЕНИЙ В ДАННЫХ ТРАЕКТОРНОГО КОНТРОЛЯ ЭТОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Ю.Ф. Колюка

Центральный научно-исследовательский институт машиностроения (АО «ЦНИИмаш»)
E-mail: yfk@mcc.rsa.ru

Доклад посвящён поиску путей нахождения наиболее достоверных решений по определению параметров движения КА «Спектр-РГ» по результатам измерений в условиях, когда в составе данных траекторного контроля полёта этого КА, выполняемого с помощью новых радиотехнических систем, работающих в X-диапазоне частот, присутствуют резко отклоняющиеся аномальные сеансы измерений, что может быть вызвано, например, ошибкой привязки измерений в этих сеансах к используемой шкале времени, либо какими-либо другими причинами. Обозначены проблемы, которые создают трудности в решении данной задачи, с учётом особенностей траектории рассматриваемого КА и реальных условий осуществления БНО его полёта. Предложены пути повышения достоверности определения параметров траектории движения КА «Спектр-РГ» при совместной обработке радиотехнических и оптических измерений. Продемонстрирован эффект применения предложенных путей для конкретных решений по определению параметров траектории КА «Спектр-РГ».

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЦУП ЦНИИМАШ ПО ОЦЕНКЕ КОРРЕКЦИЙ ТРАЕКТОРИИ, ВЫПОЛНЕННЫХ НА ЭТАПЕ ПЕРЕЛЁТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «СПЕКТР-РГ» В ОКРЕСТЬНОСТЬ ТОЧКИ ЛИБРАЦИИ L_2 СИСТЕМЫ «СОЛНЦЕ – ЗЕМЛЯ»

В.Г. Лаврентьев

Центральный научно-исследовательский институт машиностроения (АО «ЦНИИмаш»)
E-mail: lvg@mcc.rsa.ru

В докладе излагается методика оценки фактических параметров выполненной коррекции траектории КА «Спектр-РГ» по информации, полученной в результате обработки траекторных измерений и телеметрической информации. Методика основана на методе имитационного моделирования.

Приводятся результаты оценки фактических параметров коррекций траектории КА «Спектр-РГ», проведённых 22.07.2019, 06.08.2019, 21.10.2019.

ПОДГОТОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ РАБОТ ПО БАЛЛИСТИКО-НАВИГАЦИОННОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОЛЁТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «СПЕКТР-РГ»

Д. В. Грудин¹, А. В. Погодин², А. Г. Тучин³

¹ Центральный научно-исследовательский институт машиностроения (АО «ЦНИИмаш»)
E-mail: d.grudin@mcc.rsa.ru

² Акционерное общество «Научно-производственное объединение им. С. А. Лавочкина»
(АО «НПО Лавочкина»)
E-mail: snorry@laspace.ru

³ Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук
(ИПМ им. М. В. Келдыша РАН)
E-mail: tag@kiam1.rssi.ru

В докладе излагается порядок организации, подготовки и проведения работ по баллистико-навигационному обеспечению (БНО) полёта КА «Спектр-РГ», рассмотрены особенности и уникальность проекта с точки зрения его БНО, структура и основные задачи баллистических центров и группы БНО Сектора главного конструктора, описаны мероприятия, предшествующие запуску КА, особенности работы на начальном участке полёта, порядок подготовки и проведения коррекций орбиты, задачи БНО при выполнении полёта КА «Спектр-РГ» по квазипериодической орбите в окрестности точки L_2 системы «Солнце – Земля».

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «СПЕКТР-РГ» В ЦУП ЦНИИМАШ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШТАТНЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

Т. И. Афанасьева, А. В. Андреев, Д. В. Грудин, И. С. Беляев

Центральный научно-исследовательский институт машиностроения (АО «ЦНИИмаш»)
E-mail: lvg@mcc.rsa.ru

В докладе рассматриваются вопросы, связанные с решением задачи оперативного определения и прогнозирования параметров траектории движения КА «Спектр-РГ» в баллистическом центре АО «ЦНИИмаш» с использованием штатных программных средств на участке траектории, начиная с момента отделения от разгонного блока и включая первый месяц полёта по квазипериодической орбите. Траектория полёта КА разбивается на участки в зависимости от времени проведения коррекции. Отмечаются особенности решения задачи определения параметров движения КА на каждом участке. Сформулированы критерии, используемые для принятия заключения о выборе того или иного решения в качестве официальных параметров движения КА. Приводятся результаты сравнения прогнозируемых параметров движения КА на моменты проведения коррекций, полученных в баллистических центрах АО «ЦНИИмаш» и ИПМ им. М. В. Келдыша РАН.

Показано, что предлагаемые варианты решения k -параметрической задачи определения параметров движения КА «Спектр-РГ» позволяют обеспечить точность параметров орбиты, достаточную для проведения динамических операций и для выполнения предусмотренной программы полёта.

РАСЧЁТ ПЕРИОДОВ ПРОСВЕЧИВАНИЯ ВЕНЕРИАНСКОЙ АТМОСФЕРЫ РАДИОСИГНАЛОМ МЕЖДУ ОРБИТАЛЬНЫМ МОДУЛЕМ И КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ В ОКРЕСТНОСТИ ТОЧКИ ЛИБРАЦИИ L_1 СИСТЕМЫ «СОЛНЦЕ-ВЕНЕРА»

В. А. Зубко, А. А. Беляев

Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)
E-mail: werrert2014@yandex.ru

В работе рассматривается задача определения периодов видимости между малым космическим аппаратом (МКА), находящимся на ограниченной орбите в окрестности точки либрации L_1 системы «Солнце – Венера», и орбитальным аппаратом (ОА), находящимся на околовенерианской орбите, при условии, что сигнал от одного КА к другому проходит через атмосферу Венеры для её исследования. Также исследуются возможность перелёта МКА на заданную орбиту при различных начальных условиях и зависимость числа и продолжительности периодов видимости от величины эксцентриситета орбиты ОА.

ЗАСЕДАНИЕ 5

МЕТОДЫ БЕЗУСЛОВНОЙ И УСЛОВНОЙ МИНИМИЗАЦИИ В ЗАДАЧЕ О ПЕРЕВОДЕ СБЛИЖАЮЩЕГОСЯ С ЗЕМЛЁЙ АСТЕРОИДА НА СТОЛКНОВИТЕЛЬНУЮ С ЛУНОЙ ОРБИТУ

В. В. Ивашкин, К. А. Стихно

Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук
(ИПМ им. М. В. Келдыша РАН)
E-mail: ivashkin@keldysh.ru

В работе рассмотрено предотвращение столкновения опасного астероида с Землёй изменением его орбиты с помощью импульсной коррекции скорости. На примере астероида Апофис исследованы теоретические возможности перевода сближающегося с Землёй опасного астероида на орбиту, приводящую этот астероид к столкновению с Луной. Рассмотрены два метода поиска таких столкновительных траекторий. Первый заключается в минимизации расстояния от астероида до Луны в периселении орбиты астероида как функции от вектора начальной скорости астероида для фиксированной точки коррекции. Второй рассматривает условную минимизацию модуля изменения вектора скорости астероида в точке коррекции при условии равенства нулю расстояния в периселении орбиты астероида после коррекции. В обоих случаях найдены скорректированные траектории астероида Апофис, приводящие к столкновению с Луной при коррекции орбиты в предстоящие два десятилетия. Исследованы параметры таких орбит и параметры столкновения.

ПОСТРОЕНИЕ МАЛОЗАТРАТНЫХ ТУРОВ В СИСТЕМЕ ЮПИТЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАВИТАЦИОННЫХ МАНЁВРОВ С ЦЕЛЬЮ ПОСАДКИ НА ОДИН ИЗ ЕГО СПУТНИКОВ

А. В. Грушевский, Ю. Ф. Голубев, В. В. Корянов, А. Г. Тучин

¹ Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук
(ИПМ им. М. В. Келдыша РАН)
E-mail: alexgrush@rambler.ru, golubev@keldysh.ru, tag@kiam1.rssi.ru

² Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана (МГТУ им. Н. Э. Баумана)
E-mail: vk.sm3.bmstu@gmail.com

Рассмотрены малозатратные туры в системе Юпитера с использованием гравитационных манёвров около её крупных тел. Ограниченнные динамические возможности их применения требуют множественных прохождений около гравитирующих объектов. Очевидна актуальность регулярного построения оптимальных сценариев – последовательностей прохождения небесных тел и выработки условий их исполнения. Доклад посвящён описанию техники построения таких цепочек.

ЗАСЕДАНИЕ 6

ВИДЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ ОПАСНЫХ СИТУАЦИЙ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Е. А. Павлова, А. И. Стрельцов, Л. В. Еленин, В. А. Степаньянц, М. В. Захваткин

Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук
(ИПМ им. М. В. Келдыша РАН)
E-mail: : elenae312@gmail.com

За последние несколько десятков лет околоземное космическое пространство (ОКП) интенсивно используется различными участниками космической деятельности. В частности, результатом развития космонавтики стало возрастающее число космических запусков на околоземные орбиты с космическими аппаратами различного назначения. Космическая деятельность развивается масштабными темпами. В ближайших перспективах планируется развертывание массивных орбитальных группировок, таких как «Сфера», StarLink и многих других.

В настоящее время база данных ИПМ им. М. В. Келдыша РАН содержит информацию о космических объектах на различных типах орбит, в том числе 2680 КО ГСО, 1365 КО СВО, 5800 КО ВЭО.

Специалистами сегмента мониторинга опасных ситуаций в области ГСО, ВЭО, СВО в ИПМ им. М. В. Келдыша РАН на основе полученной оптической информации проводится ежесуточный ситуационный анализ ОКП. В докладе рассматриваются виды опасных ситуаций, возникающих в ОКП, и последствия их возникновения.

ВОЗМОЖНЫЕ СЦЕНАРИИ УВОДА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПРИ ЗАВЕРШЕНИИ СРОКА АКТИВНОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ В ОКРЕСТНОСТИ ТОЧКИ ЛИБРАЦИИ L_2 СИСТЕМЫ «СОЛНЦЕ – ЗЕМЛЯ»

К. Р. Еналеев

Центральный научно-исследовательский институт машиностроения (АО «ЦНИИмаш»)
E-mail: lvg@mcc.rsa.ru

В докладе предлагаются возможные сценарии безопасной утилизации КА, размещённых в окрестности точки либрации L_2 системы «Солнце – Земля» и завершивших свой срок активного существования.

Рассматриваются три сценария утилизации. Приводятся результаты расчётов возможных траекторий увода и оценки затрат характеристической скорости для увода КА типа «Спектр-РГ» в различных сценариях.