

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор по образовательной  
деятельности

С.Т. Князев  
2020 г.



### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Код модуля	Модуль
1147831	Дополнительные главы астрометрии и небесной механики

Екатеринбург, 2020

Перечень сведений о рабочей программе модуля	Учетные данные
<b>Образовательная программа</b> 1. Астрономия	<b>Код ОП</b> 1. 03.05.01/33.01
<b>Направление подготовки</b> 1. Астрономия	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 1. 03.05.01

Программа модуля составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Кузнецов Эдуард Дмитриевич	доктор физико- математических наук, доцент	Заведующий кафедрой	Кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

**Согласовано:**

Учебный отдел



## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ

### Дополнительные главы астрометрии и небесной механики

#### 1.1. Аннотация содержания модуля

Модуль содержит четыре дисциплины: «Координатно-временное обеспечение», «Аналитические методы небесной механики», «Спутниковые системы и технологии позиционирования» и «Современные методы небесной механики». Модуль посвящен вопросам реализации аналитических алгоритмов и методов небесной механики в современных системах компьютерной алгебры, а также затрагивает вопросы реализации и применения глобальных навигационных спутниковых систем для решения научно-исследовательских и прикладных задач.

#### 1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Координатно-временное обеспечение	4
2	Аналитические методы небесной механики	5
3	Современные методы небесной механики	5
4	Спутниковые системы и технологии позиционирования	4
ИТОГО по модулю:		18

#### 1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	Общая астрометрия, Небесная механика
Постреквизиты и кореквизиты модуля	

#### 1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3
Аналитические методы небесной механики	ПК-2 - Владеет методами физического, математического и алгоритмического моделирования при анализе научных проблем астрономии и смежных наук	З-1 - Знать основные методы физического, математического и алгоритмического моделирования У-1 - Самостоятельно применять методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении поставленных задач
	Аналитические методы небесной механики ПК-4 - Владеет наблюдательными и экспериментальными методами исследований	З-1 - Знать основные методы наблюдательных и экспериментальных исследований астрономических и физических объектов и явлений

	астрономических и физических объектов и явлений	
	Аналитические методы небесной механики ПК-5 - Способен вести междисциплинарные исследования на стыке астрономии с физикой и математикой и другими естественными науками	3-1 - Знать ключевые достижения астрономии и смежных наук в соответствующей предметной области  У-1 - Самостоятельно или под руководством проводить междисциплинарные исследования на стыке астрономии с физикой и математикой и другими естественными науками
	Аналитические методы небесной механики ПК-9 - Способен ориентироваться в прикладных аспектах научных исследований, совершенствовать, углублять и развивать теорию и модели, лежащие в их основе	3-1 - Знать прикладные аспекты научных исследований
Координатно-временное обеспечение	ПК-2 - Владеет методами физического, математического и алгоритмического моделирования при анализе научных проблем астрономии и смежных наук	3-1 - Знать основные методы физического, математического и алгоритмического моделирования  У-1 - Самостоятельно применять методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении поставленных задач
	Координатно-временное обеспечение ПК-4 - Владеет наблюдательными и экспериментальными методами исследований астрономических и физических объектов и явлений	3-1 - Знать основные методы наблюдательных и экспериментальных исследований астрономических и физических объектов и явлений
	Координатно-временное обеспечение ПК-5 - Способен вести междисциплинарные исследования на стыке астрономии с физикой и математикой и другими естественными науками	3-1 - Знать ключевые достижения астрономии и смежных наук в соответствующей предметной области  У-1 - Самостоятельно или под руководством проводить междисциплинарные исследования на стыке астрономии с физикой и математикой и другими естественными науками
	Координатно-временное обеспечение ПК-9 - Способен ориентироваться в	3-1 - Знать прикладные аспекты научных исследований

	прикладных аспектах научных исследований, совершенствовать, углублять и развивать теорию и модели, лежащие в их основе	У-1 - Способен совершенствовать, углублять и развивать теорию и модели, лежащие в основе прикладных аспектах научных исследований
Современные методы небесной механики	ПК-2 - Владеет методами физического, математического и алгоритмического моделирования при анализе научных проблем астрономии и смежных наук	З-1 - Знать основные методы физического, математического и алгоритмического моделирования У-1 - Самостоятельно применять методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении поставленных задач
	Современные методы небесной механики ПК-4 - Владеет наблюдательными и экспериментальными методами исследований астрономических и физических объектов и явлений	З-1 - Знать основные методы наблюдательных и экспериментальных исследований астрономических и физических объектов и явлений
	Современные методы небесной механики ПК-5 - Способен вести междисциплинарные исследования на стыке астрономии с физикой и математикой и другими естественными науками	З-1 - Знать ключевые достижения астрономии и смежных наук в соответствующей предметной области У-1 - Самостоятельно или под руководством проводить междисциплинарные исследования на стыке астрономии с физикой и математикой и другими естественными науками
	Современные методы небесной механики ПК-9 - Способен ориентироваться в прикладных аспектах научных исследований, совершенствовать, углублять и развивать теорию и модели, лежащие в их основе	З-1 - Знать прикладные аспекты научных исследований
Спутниковые системы и технологии позиционирования	ПК-2 - Владеет методами физического, математического и алгоритмического моделирования при анализе научных проблем астрономии и смежных наук	З-1 - Знать основные методы физического, математического и алгоритмического моделирования У-1 - Самостоятельно применять методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении поставленных задач
	Спутниковые системы и технологии позиционирования	З-1 - Знать основные методы наблюдательных и экспериментальных исследований

	ПК-4 - Владеет наблюдательными и экспериментальными методами исследований астрономических и физических объектов и явлений	астрономических и физических объектов и явлений
	Спутниковые системы и технологии позиционирования ПК-5 - Способен вести междисциплинарные исследования на стыке астрономии с физикой и математикой и другими естественными науками	З-1 - Знать ключевые достижения астрономии и смежных наук в соответствующей предметной области У-1 - Самостоятельно или под руководством проводить междисциплинарные исследования на стыке астрономии с физикой и математикой и другими естественными науками
	Спутниковые системы и технологии позиционирования ПК-9 - Способен ориентироваться в прикладных аспектах научных исследований, совершенствовать, углублять и развивать теорию и модели, лежащие в их основе	З-1 - Знать прикладные аспекты научных исследований У-1 - Способен совершенствовать, углублять и развивать теорию и модели, лежащие в основе прикладных аспектов научных исследований

### 1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в форме:

Очная

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Координатно-временное обеспечение**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Кузнецов Эдуард Дмитриевич	доктор физико- математических наук, доцент	Заведующий кафедрой	Кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

**Рекомендовано учебно-методическим советом института естественных наук и математики**

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

## Авторы:

- Кузнецов Эдуард Дмитриевич, Заведующий кафедрой, астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

### 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

Актуальные проблемы науки и техники

- Традиционная (репродуктивная) технология

### 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение	Определение систем отсчета. Создание единой системы отсчета- основная научная задача современной геодезии и астрометрии. Понятие об инерциальных и неинерциальных системах отсчета. Преобразования систем отсчета, инварианты преобразований. Обоснование практического применения в геодезии и дистанционном зондировании инерциальных и неинерциальных систем отсчета.
P2	Математическое описание систем отсчета и их преобразования	Линейные пространства и их преобразования, «активные» и «пассивные» преобразования. Линейные операторы и их свойства. Симметрические, кососимметрические и ортогональные операторы. Способы представления линейных операторов. Приведение операторов к главным осям. Математическое описание вращений. Непрерывные вращения. Бесконечно малые преобразования. Бесконечно малые вращения.
P3	Теория инерциальных и неинерциальных систем отсчета	Выбор ориентации и начала системы отсчёта. Привязки систем отсчёта к неподвижным объектам или к поверхности реальной Земли. Звёздные каталоги: «FK - 1 – 5», каталог «HIPPARCOS», обзорный каталог «TYHO». Методы полигонометрии, триангуляции, трилатерации и системы высот в геодезии. Спутниковые методы по уточнению ориентации систем отсчета с использованием современных навигационных, интерференционных, доплеровских и лазерных систем.
P4	Вращающиеся системы отсчёта небесных тел	Метрика во вращающихся системах. Угловая скорость вращения небесного тела в единицах собственного и координатного времени. Выбор основных осей и плоскостей для вращающихся небесных тел. Методы ориентации небесных систем координат. Связь между различными системами координат небесных тел.



P5	Создание единых систем отсчёта — инерциальной и наземной	Системы ICRS, ITRF-методы их создания и использования. Глобальные спутниковые системы GPS и ГЛОНАСС. Шкалы всемирного и координированного времени: TCB — барицентрическое координатное время, TCG — геоцентрическое координатное время, TT — земное время.
P6	Обзор эволюции современного состояния систем отсчёта	Международная кооперация при создании и использовании систем отсчёта. Международная служба широты (МСШ), Международная служба движения полюса (МСДП), Международная служба вращения Земли (IERS), Международная служба GPS (IGS) и другие.
P7	Элементы теории движения ИСЗ, основы космической геодезии и космической фотограмметрии	Невозмущённое и возмущённое движение, геометрические и динамические задачи космической геодезии. Космическая фотограмметрия, методы определения элементов внутреннего и внешнего ориентирования. Методы привязки результатов космической съёмки и дистанционного зондирования для Земли и небесных тел.

1.3. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации (русский).

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Электронные ресурсы (издания)

Не используется

### Печатные издания

#### Основная литература

1 ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / [Р. В. Бакитько, Н. Т. Булавский, А. П. Горев и др.] ; под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова .— Изд. 3-е, перераб. — М. : Радиотехника, 2005 .— 688 с. — 11 экз.

#### Дополнительная литература

- 1 Генике, Аркадий Александрович. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии / А. А. Генике, Г. Г. Побединский .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Картгеоцентр, 2004 .— 355 с. — 9 экз.
- 2 Урмаев, Михаил Сергеевич. Космическая фотограмметрия : [учебник по специальности "Аэрофотогеодезия"] / М. С. Урмаев .— Москва : Недра, 1989 .— 278 с. — 11 экз.
- 3 Поклад, Геннадий Гаврилович. Геодезия / Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев ; Воронеж. гос. аграр. ун-т им. К. Д. Глинки .— Москва : Академический Проект, 2007 .— 592 с. — 12 экз.
- 4 Липкин, И. А. Спутниковые навигационные системы / И. А. Липкин .— 2-е изд. — Москва : Вузовская книга, 2012 .— 288 с. — 3 экз

#### Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

Не используется

## Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

- 1 Электронные ресурсы образовательного портала edu.ru.
- 2 Электронная библиотека УрФУ oras.urfu.ru
- 3 Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ study.urfu.ru

## 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции; Семинарские занятия; Консультации; Самостоятельная работа студентов	Аудитория оборудована мультимедийным проектором, компьютером и экраном.	Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL B Faculty EES. Договор 43-12/1864- 2018 от 05.12.2018 Браузер Google Chrome – свободное ПО; Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО; MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с

## **ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **Перечень примерных вопросов для зачета**

- 1 Определение систем отсчета. Понятие об инерциальных и неинерциальных системах отсчета. Преобразования систем отсчета, инварианты преобразований. Обоснование практического применения в геодезии и дистанционном зондировании инерциальных и неинерциальных систем отсчета.
- 2 Линейные пространства и их преобразования, «активные» и «пассивные» преобразования. Линейные операторы и их свойства. Симметрические, кососимметрические и ортогональные операторы. Способы представления линейных операторов. Приведение операторов к главным осям.
- 3 Математическое описание вращений. Непрерывные вращения. Бесконечно малые преобразования. Бесконечно малые вращения.
- 4 Выбор ориентации и начала системы отсчёта. Привязки систем отсчёта к неподвижным объектам или к поверхности реальной Земли.
- 5 Звёздные каталоги: «FK - 1 – 5», каталог «HIPPARCOS», обзорный каталог «TYHO».
- 6 Методы полигонометрии, триангуляции, трилатерации и системы высот в геодезии.
- 7 Спутниковые методы по уточнению ориентации систем отсчета с использованием современных навигационных, интерференционных, доплеровских и лазерных систем.
- 8 Метрика во вращающихся системах. Угловая скорость вращения небесного тела в единицах собственного и координатного времени. Выбор основных осей и плоскостей для вращающихся небесных тел.
- 9 Методы ориентации небесных систем координат. Связь между различными системами координат небесных тел.
- 10 Системы ICRS, ITRF-методы их создания и использования. Глобальные спутниковые системы GPS и ГЛОНАСС.
- 11 Шкалы всемирного и координированного времени: TCB — барицентрическое координатное время, TCG — геоцентрическое координатное время, TT — земное время.
- 12 Международная кооперация при создании и использовании систем отсчёта. Международная служба широты (МСШ), Международная служба движения полюса (МСДП), Международная служба вращения Земли (IERS), Международная служба GPS (IGS) и другие.
- 13 Невозмущённое и возмущённое движение, геометрические и динамические задачи космической геодезии.
- 14 Космическая фотограмметрия, методы определения элементов внутреннего и внешнего ориентирования. Методы привязки результатов космической съёмки и дистанционного зондирования для Земли и небесных тел.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Аналитические методы небесной**  
**механики**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Кузнецов Эдуард Дмитриевич	доктор физико- математических наук, доцент	Заведующий кафедрой	Кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

**Рекомендовано учебно-методическим советом института естественных наук и математики**

## 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

### Авторы:

- Кузнецов Эдуард Дмитриевич, Заведующий кафедрой, астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

### 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

Актуальные проблемы науки и техники

- Традиционная (репродуктивная) технология

### 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Разложения по степеням времени	Метод Коши. Ряды Ли.
P2	Метод малого параметра Ляпунова–Пуанкаре	Метод возмущений. Уравнения метода малого параметра. Исследование уравнений. Постоянные интегрирования. Движение в окрестности равновесия. Уравнения с медленными и быстрыми переменными.
P3	Метод осреднения	Замена переменных. Решение уравнений замены переменных. Ряды Ли.
P4	Метод Цайпеля	Замена переменных. Преобразование гамильтониана.
P5	Метод преобразований Ли	Замена переменных. Преобразование гамильтониана. Основные соотношения метода. Движение в окрестности равновесия.
P6	Квадратичные приближения	Использование квадратичных приближений в методах малого параметра, осреднения, Цайпеля, Ли. Исследование основных соотношений метода. Движение в окрестности равновесия.
P7	Малые знаменатели	Распределение значений знаменателей. Оценки значений знаменателей снизу. Роль малых знаменателей в практических задачах.
P8	Математическое обоснование асимптотических методов	Мажорантные функции. Сходимость разложений по степеням времени. Сходимость разложений по степеням малого параметра. Асимптотический характер метода осреднения.

- 1.3. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации (русский).

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Электронные ресурсы (издания)

1. Небесная механика [Электронный ресурс] .— Электрон. дан. ([485] Мб) .— [Б. м.] : НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", [2005] .— 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) .— (Электронная библиотека) .— Загл. с этикетки диска .— Доступ из сети Научной библиотеки УрГУ.— <URL:<http://lib.usu.ru/storage/1310983/>>.
2. Microsoft Visual Studio
3. Celestial Mechanics (приложение к монографии Beutler G. Methods of Celestial Mechanics. Vol. 1, 2. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.)
4. Система компьютерной алгебры TRIP, <http://www.imcce.fr/Equipes/ASD/trip/trip.php>.
5. Система компьютерной алгебры Piranha, <https://github.com/bluescarni/piranha>
6. Набор интеграторов гравитационной задачи N тел, NBI. <http://www.atmos.ucla.edu/~varadi>.
7. Интегратор задачи N тел Mercury 6.2. <http://www.arm.ac.uk/~jec/>.

### Печатные издания

#### Основная литература

- 1 Дубошин Г.Н. Небесная механика: основные задачи и методы. М., Наука, 1975.— 8 экз.

#### Дополнительная литература

- 1 Дубошин Г.Н. Небесная механика. Аналитические и качественные методы. М.: Наука, 1964. — 6 экз.
- 2 Субботин М.Ф. Введение в теоретическую астрономию. М., Наука, 1968.— 7 экз.
- 3 Ворovich, И. И. Лекции по динамике Ньютона. Современный взгляд на механику Ньютона и ее развитие : [монография : в 2 ч.]. Ч. 2.— Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010.— 604 с. — Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68150>
- 4 Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра / под ред. Б.М. Шустова, Л.В. Рыхловой. □ М. : Физматлит, 2010. □ 385 с. □ Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68834>.

#### Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. ADS, [http://adsabs.harvard.edu/abstract\\_service.html](http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html)

### Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

#### Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

- 1 Электронные ресурсы образовательного портала edu.ru.
- 2 Электронная библиотека УрФУ [orac.urfu.ru](http://orac.urfu.ru)
- 3 Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ [study.urfu.ru](http://study.urfu.ru)

### 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции; Семинарские занятия; Консультации; Самостоятельная работа студентов	Аудитория оборудована мультимедийным проектором, компьютером и экраном. Компьютерные классы для проведения практических занятий и самостоятельной работы студентов	Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL B Faculty EES. Договор 43-12/1864-2018 от 05.12.2018 Браузер Google Chrome – свободное ПО; Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО; MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с

## **ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **Перечень примерных вопросов для зачета**

- 1 Разложения по степеням времени. Метод Коши. Ряды Ли.
- 2 Метод малого параметра Ляпунова–Пуанкаре. Метод возмущений. Уравнения метода малого параметра. Исследование уравнений. Постоянные интегрирования. Движение в окрестности равновесия.
- 3 Уравнения с медленными и быстрыми переменными.
- 4 Метод Цайпеля. Замена переменных. Преобразование гамильтониана.
- 5 Использование квадратичных приближений в методах малого параметра, осреднения, Цайпеля, Ли.
- 6 Квадратичные приближения. Исследование основных соотношений метода. Движение в окрестности равновесия.
- 7 Распределение значений знаменателей.
- 8 Оценки значений знаменателей снизу.
- 9 Роль малых знаменателей в практических задачах.
- 10 Мажорантные функции.
- 11 Сходимость разложений по степеням времени.
- 12 Сходимость разложений по степеням малого параметра.
- 13 Асимптотический характер метода осреднения.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Современные методы небесной механики**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Кузнецов Эдуард Дмитриевич	доктор физико- математических наук, доцент	Заведующий кафедрой	Кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

**Рекомендовано учебно-методическим советом института естественных наук и математики**

## 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

### Авторы:

- Кузнецов Эдуард Дмитриевич, Заведующий кафедрой, астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

### 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

Актуальные проблемы науки и техники

- Традиционная (репродуктивная) технология

### 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение	Элементарная небесная механика и гамильтонова механика. Квазиинтегрируемые гамильтоновы системы.
P2	Динамика одиночного резонанса	Интегрируемое приближение. Резонансные переменные «действие — угол». Возмущенная резонансная динамика.
P3	Численные инструменты для выявления хаоса	Наблюдение временной эволюции в фазовом пространстве. Показатели Ляпунова. Частотный анализ. Быстрый индикатор Ляпунова. Средний фактор экспоненциальной расходимости близких орбит
P4	Взаимодействие резонансов	Две степени свободы. Более двух степеней свободы.
P5	Вековая динамика планет	Решение Лагранжа–Лапласа. Решения более высокого порядка. Хаотическое вековое движение планет. Динамика осей вращения.
P6	Вековая динамика малых тел	Линейное интегрируемое приближение. Интегрируемое приближение Козаи. Собственные элементы. Вековые резонансы.
P7	Резонансы средних движений	Простое интегрируемое приближение. Перекрытие резонансов средних движений. Резонансные мультиплеты. Приближение модулируемого маятника.
P8	Трехтельные резонансы	Происхождение резонансных членов в возмущении. Трехтельные резонансные мультиплеты. Пояс астероидов и пояс Койпера. Хаотическая динамика планет-гигантов.

- 1.3. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации (русский).

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Электронные ресурсы (издания)

- 1 Небесная механика [Электронный ресурс] .— Электрон. дан. ([485] Мб) .— [Б. м.] : НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", [2005] .— 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) .— (Электронная библиотека) .— Загл. с этикетки диска .— Доступ из сети Научной библиотеки УрГУ.— <URL:<http://lib.usu.ru/storage/1310983/>>.
- 2 Microsoft Visual Studio
- 3 Celestial Mechanics (приложение к монографии Beutler G. Methods of Celestial Mechanics. Vol. 1, 2. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.)
- 4 Система компьютерной алгебры TRIP, <http://www.imcce.fr/Equipes/ASD/trip/trip.php>.
- 5 Система компьютерной алгебры Piranha, <https://github.com/bluesarni/piranha>

- 6 Набор интеграторов гравитационной задачи N тел, NBI. <http://www.atmos.ucla.edu/~varadi>.
- 7 Интегратор задачи N тел Mercury 6.2. <http://www.arm.ac.uk/~jec/>.

### Печатные издания

#### Основная литература

- 1 Дубошин Г.Н. Небесная механика: основные задачи и методы. М., Наука, 1975.— 8 экз.

#### Дополнительная литература

- 1 Дубошин Г.Н. Небесная механика. Аналитические и качественные методы. М.: Наука, 1964. – 6 экз.
- 2 Субботин М.Ф. Введение в теоретическую астрономию. М., Наука, 1968.– 7 экз.
- 3 Ворович, И. И. Лекции по динамике Ньютона. Современный взгляд на механику Ньютона и ее развитие : [монография : в 2 ч.]. Ч. 2.– Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010.– 604 с. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68150>
- 4 Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра / под ред. Б.М. Шустова, Л.В. Рыковой. М. : Физматлит, 2010. □ 385 с. □ Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68834>.

#### Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

- 1 ADS, [http://adsabs.harvard.edu/abstract\\_service.html](http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html)

#### Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

#### Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

- 1 Электронные ресурсы образовательного портала edu.ru.
- 2 Электронная библиотека УрФУ [orac.urfu.ru](http://orac.urfu.ru)
- 3 Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ [study.urfu.ru](http://study.urfu.ru)

### 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции; Семинарские занятия; Консультации; Самостоятельная работа студентов	Аудитория оборудована мультимедийным проектором, компьютером и экраном. Компьютерные классы для проведения практических занятий и самостоятельной работы студентов	Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL B Faculty EES. Договор 43-12/1864-2018 от 05.12.2018 Браузер Google Chrome – свободное ПО; Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО; MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с

## **ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **Перечень примерных вопросов для зачета**

- 1 Квазиинтегрируемые гамильтоновы системы.
- 2 Динамика одиночного резонанса: интегрируемое приближение.
- 3 Резонансные переменные «действие — угол».
- 4 Динамика одиночного резонанса: возмущенная резонансная динамика.
- 5 Наблюдение временной эволюции в фазовом пространстве.
- 6 Показатели Ляпунова.
- 7 Частотный анализ.
- 8 Быстрый индикатор Ляпунова.
- 9 Средний фактор экспоненциальной расходимости близких орбит
- 10 Взаимодействие резонансов: две степени свободы.
- 11 Взаимодействие резонансов: более двух степеней свободы.
- 12 Решение Лагранжа–Лапласа.
- 13 Вековая динамика планет: решения второго и более высокого порядков.
- 14 Хаотическое вековое движение планет.
- 15 Динамика осей вращения планет.
- 16 Вековая динамика малых тел: линейное интегрируемое приближение.
- 17 Вековая динамика малых тел: интегрируемое приближение Козаи.
- 18 Вековая динамика малых тел: собственные элементы.
- 19 Вековая динамика малых тел: вековые резонансы.
- 20 Резонансы средних движений: простое интегрируемое приближение.
- 21 Перекрытие резонансов средних движений.
- 22 Резонансы средних движений: резонансные мультиплеты.
- 23 Приближение модулируемого маятника.
- 24 Трехтельные резонансы: происхождение резонансных членов в возмущении.
- 25 Трехтельные резонансные мультиплеты.
- 26 Трехтельные резонансы: пояс астероидов и пояс Койпера.
- 27 Хаотическая динамика планет-гигантов.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Спутниковые системы и технологии**  
**позиционирования**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Кузнецов Эдуард Дмитриевич	доктор физико- математических наук, доцент	Заведующий кафедрой	Кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

**Рекомендовано учебно-методическим советом института естественных наук и математики**

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

## Авторы:

- Кузнецов Эдуард Дмитриевич, Заведующий кафедрой, астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды

### 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология

### 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Основные принципы действия спутниковых систем определения местоположения	Особенности геодезических измерений спутниковыми методами. Общие принципы построения глобальных спутниковых систем позиционирования.
P2	Методы измерений и вычислений, используемые в спутниковых системах определения местоположения	Абсолютные и относительные методы спутниковых измерений. Принципы разрешения неоднозначности при фазовых измерениях. Выявление пропусков фазовых циклов.
P3	Системы координат и времени, используемых в спутниковых измерениях	Роль и значение координатно-временного обеспечения для спутниковых методов определения местоположения. Координатные системы, характерные для GPS и ГЛОНАСС. Методы преобразования координатных систем для спутниковой GPS-технологии и параметры перехода.
P4	Основные источники ошибок спутниковых измерений и методы ослабления их влияния	Классификация источников ошибок, характерных для спутниковых измерений. Учет влияния внешней среды на результаты спутниковых измерений. Инструментальные источники ошибок. Геометрический фактор.
P5	Проектирование, организация и предварительная обработка спутниковых измерений	Специфика проектирования и организации спутниковых измерений. Предполетное планирование в камеральных условиях. Подготовка аппаратуры к полевым измерениям, ее транспортировка и размещение на пункте наблюдения.
P6	Обработка спутниковых измерений, редуцирование и уравнивание геодезических сетей	Первичная обработка спутниковых измерений, проводимая в приемнике. Окончательная обработка спутниковых измерений. Уравнивание геодезических сетей, созданных на основе использования спутниковой технологии.
P7	Использование спутниковых технологий для построения геодезических сетей	Построение глобальной опорной геодезической сети. Построение государственной геодезической сети России на основе спутниковых технологий. Создание и реконструкция городских геодезических сетей с использованием спутниковых технологий.
P8	Специальные применения спутниковых геодезических измерений для решения различных геодезических задач	Геоинформационные системы. Решение геодинамических задач. Применение спутниковых технологий в прикладной геодезии. Выполнение аэросъемочных работ с использованием спутниковых координатных определений. Использование спутниковых технологий при выполнении топографических и различных специализированных съемок. Особенности решения навигационных задач с использованием спутниковых приемников. Персональные навигационные системы. Навигационные системы транспортных средств.

1.3. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации (русский).

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Электронные ресурсы (издания)

Не используются

### Печатные издания

#### Основная литература

1 ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / [Р. В. Бакитько, Н. Т. Булавский, А. П. Горев и др.] ; под ред. А. И. Перова, В. Н. Харисова .— Изд. 3-е, перераб. — М. : Радиотехника, 2005 .— 688 с. – 11 экз.

#### Дополнительная литература

1 Генике, Аркадий Александрович. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии / А. А. Генике, Г. Г. Побединский .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Картгеоцентр, 2004 .— 355 с. – 9 экз.

2 Урмаев, Михаил Сергеевич. Космическая фотограмметрия : [учебник по специальности "Аэрофотогеодезия"] / М. С. Урмаев .— Москва : Недра, 1989 .— 278 с. – 11 экз.

3 Поклад, Геннадий Гаврилович. Геодезия / Г. Г. Поклад, С. П. Гриднев ; Воронеж. гос. аграр. ун-т им. К. Д. Глинки .— Москва : Академический Проект, 2007 .— 592 с. – 12 экз.

4 Липкин, И. А. Спутниковые навигационные системы / И. А. Липкин .— 2-е изд. — Москва : Вузовская книга, 2012 .— 288 с. – 3 экз

#### Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1 ADS, [http://adsabs.harvard.edu/abstract\\_service.html](http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html)

#### Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

#### Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

- 1 Электронные ресурсы образовательного портала edu.ru.
- 2 Электронная библиотека УрФУ [orac.urfu.ru](http://orac.urfu.ru)
- 3 Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ [study.urfu.ru](http://study.urfu.ru)

## 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции; Семинарские занятия; Консультации; Самостоятельная работа студентов	Аудитория оборудована мультимедийным проектором, компьютером и экраном.	Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL B Faculty EES. Договор 43-12/1864- 2018 от 05.12.2018 Браузер Google Chrome – свободное ПО; Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО; MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с

## **ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **Перечень примерных вопросов для зачета**

- 1 Двусторонний и односторонний методы дальномерных измерений.
- 2 Принципы измерения длин линий, используемые в спутниковой геодезии.
- 3 Общие принципы построения глобальных спутниковых систем позиционирования.
- 4 Сведения о спутниках, входящих в состав систем позиционирования.
- 5 Назначение и схемная реализация устанавливаемой на спутниках аппаратуры.
- 6 Высокостабильные спутниковые опорные генераторы.
- 7 Принципы формирования кодовых последовательностей.
- 8 Содержание и формирование на спутнике навигационного сообщения.
- 9 Методы объединения и формы передачи радиосигналов со спутника в аппаратуру потребителя.
- 10 Основные функции сектора управления и контроля.
- 11 Компоненты сектора управления и контроля и их взаимодействие.
- 12 Функции геодезического приемно-вычислительного комплекса.
- 13 Обобщенная структурная схема геодезического спутникового приемника.
- 14 Антенные устройства спутниковых приемников и предъявляемые к ним требования.
- 15 Селекция сигналов, поступающих от различных спутников.
- 16 Методы поиска, захвата и отслеживания сигналов, передаваемых различными спутниками.
- 17 Принципы демодуляции принимаемых сигналов.
- 18 Работа системы управления GPS-приемника.
- 19 Обработка данных, производимая в приемнике.
- 20 Абсолютные и относительные методы спутниковых измерений.
- 21 Основные разновидности дифференциальных методов.
- 22 Специфика проведения псевдодальномерных и фазовых измерений.
- 23 Принцип измерения псевдодальностей и практическое использование данного метода.
- 24 Упрощенный анализ фазовых соотношений при спутниковых дальномерных измерениях.
- 25 Первые, вторые и третьи разности, базирующиеся на фазовых измерениях несущих колебаний.
- 26 Интегральный доплеровский счет.
- 27 Принципы разрешения неоднозначности при фазовых измерениях: геометрический метод.
- 28 Принципы разрешения неоднозначности при фазовых измерениях: метод комбинированного использования кодовых и фазовых измерений.
- 29 Принципы разрешения неоднозначности при фазовых измерениях: метод поиска наиболее вероятных значений целого числа циклов.
- 30 Нетривиальные методы разрешения неоднозначности.
- 31 Выявление пропусков фазовых циклов.
- 32 Общая схема обработки наблюдаемых данных.
- 33 Роль и значение координатно-временного обеспечения для спутниковых методов определения местоположения.
- 34 Общие сведения о системах координат.
- 35 Системы счета времени, используемые в GPS и ГЛОНАСС.
- 36 Координатные системы, характерные для GPS и ГЛОНАСС.
- 37 Звездные системы координат.
- 38 Геодезические системы координат и их преобразования.
- 39 Переход к общеземной системе координат.
- 40 Геоцентрическая координатная система ПЗ-90.
- 41 Геоцентрическая координатная система WGS-84.



- 42 Методы преобразования координатных систем для спутниковой GPS-технологии и параметры перехода.
- 43 Особенности определения высот с помощью спутниковых систем.
- 44 Классификация источников ошибок, характерных для спутниковых измерений.
- 45 Источники ошибок, связанные с неточным знанием эфемерид спутников, и методы ослабления их влияния.
- 46 Учет влияния внешней среды на результаты спутниковых измерений. Влияние ионосферы. Влияние тропосферы. Многопутность.
- 47 Ошибки, обусловленные нестабильностью хода часов на спутнике и в приемнике.
- 48 Ошибки, обусловленные неточностью знания точки относимости.
- 49 Ошибки, связанные с влиянием нестабильности аппаратурных временных задержек и внутренних шумов приемника.
- 50 Геометрический фактор.
- 51 Специфика проектирования и организации спутниковых измерений.
- 52 Предполевое планирование в камеральных условиях.
- 53 Составление технического проекта.
- 54 Составление рабочего проекта.
- 55 Подготовка аппаратуры к полевым измерениям, ее транспортировка и размещение на пункте наблюдения.
- 56 Вхождение в рабочий режим и контроль за ходом измерений.
- 57 Завершение сеанса наблюдений. Хранение собранной информации. Ведение полевого журнала.
- 58 Специфика редуцирования результатов спутниковых измерений при внецентренной установке приемников.
- 59 Первичная обработка спутниковых измерений, проводимая в приемнике.
- 60 Предварительная обработка спутниковых измерений, производимая после окончания измерений.
- 61 Окончательная обработка спутниковых измерений.
- 62 Уравнивание геодезических сетей, созданных на основе использования спутниковой технологии.
- 63 Построение глобальной опорной геодезической сети.
- 64 Построение континентальных опорных геодезических сетей.
- 65 Построение государственной геодезической сети России на основе спутниковых технологий.
- 66 Фундаментальная астрономо-геодезическая сеть (ФАГС).
- 67 Высокоточная геодезическая сеть (ВГС).
- 68 Спутниковая геодезическая сеть 1 класса (СГС-1).
- 69 Создание и реконструкция городских геодезических сетей с использованием спутниковых технологий.
- 70 Решение геодинамических задач.
- 71 Применение спутниковых технологий в прикладной геодезии.
- 72 Особенности применения спутниковых технологий в морской геодезии.
- 73 Выполнение аэросъемочных работ с использованием спутниковых координатных определений.
- 74 Использование спутниковых технологий при выполнении топографических и различных специализированных съемок.
- 75 Особенности решения навигационных задач с использованием спутниковых приемников.
- 76 Персональные навигационные системы.
- 77 Навигационные системы транспортных средств.