

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский физико-технический институт (государственный университет)»
МФТИ (ГУ)
Кафедра «Математическое моделирование и прикладная математика»**

«УТВЕРЖДАЮ»

**Проректор по учебной работе
и экономическому развитию**

_____ Д.А.Зубцов
«__» _____ 2016 г.

ПРОГРАММА

по дисциплине: Системы и методы наземной и космической навигации
по направлению: 010900 «Прикладные математика и физика»
профиль подготовки: Математическое моделирование, вычислительная
математика и физика
факультет Управления и прикладной математики
кафедра Математического моделирования и прикладной математики
курс: 4 (бакалавриат)
семестр: осенний экзамен 7 семестр
Трудоёмкость в зач. ед.: вариативная часть – 2 зач. ед.;
в т.ч.:
лекции: вариативная часть – 1 зач. ед. (30 часов)
практические (семинарские) занятия: нет
лабораторные занятия: нет
мастер-классы, индивид. и групповые консультации: нет
самостоятельная работа: нет
курсовые работы: нет
подготовка к экзамену: вариативная часть – 1 зач. ед. (30 часов)
ВСЕГО АУДИТОРНЫХ ЧАСОВ 30

Программу составил к.ф.-м.н., ассистент М.В. Захваткин

Программа обсуждена на заседании кафедры

«__» _____ 2023 г.

Заведующий кафедрой
академик РАН, д.ф.-м.н., профессор

Б.Н. Четверушкин

Программа обсуждена и одобрена на методической комиссии факультета

«__» _____ 2023 г.

Председатель методической комиссии ФУПМ
чл.-корр. РАН

Ю.А. Флеров

ОБЪЁМ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ И ВИДЫ ОТЧЁТНОСТИ

Вариативная часть, в т.ч.:	2 зач. ед.
Лекции	1 зач. ед. (30 часов)
Практические занятия	нет
Лабораторные работы	нет
Индивидуальные занятия с преподавателем	нет
Самостоятельные занятия	нет
Подготовка и сдача экзамена	1 зач. ед. (30 часов)
Итоговая аттестация	Экзамен 7 семестр
ВСЕГО	2 зач. ед. (60 часов)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Цель курса – освоение студентами фундаментальных знаний в области математических свойств навигационных проблем, изучение способов решения задач навигации, методов исследования достижимой навигационной точности и областей их практического применения на поверхности Земли и в космосе.

Задачами данного курса являются:

- обучение студентов принципам создания и применения навигационных средств и устройств и выявление особенностей их функциональных характеристик;
- обучение студентов методам навигационного планирования движений на практических примерах робототехники и коррекции траектории полёта;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области навигационной сенсорики в рамках выпускных работ на степень магистра.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП БАКАЛАВРИАТА

Дисциплина «*Системы и методы наземной и космической навигации*» включает в себя разделы, которые могут быть отнесены к вариативной части цикла Б.3 кода УЦ ООП.

Дисциплина «*Системы и методы наземной и космической навигации*» базируется на циклах Б.2 и Б.3 курсов 1,2,3 (базовой и вариативной частях).

КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «*Системы и методы наземной и космической навигации*» направлено на формирование следующих общекультурных и профессиональных интегральных компетенций бакалавра:

а) общекультурные (ОК):

- знание истории развития навигационных методов и средств (ОК-1);
- способность использовать на практике фундаментальные знания для понимания сущностных явлений окружающего мира (ОК-2);
- способность активно и целенаправленно применять полученные знания, навыки и умения для выбора тематики выполнения индивидуальной научно-исследовательской работы (ОК-3);
- готовность работать с информацией из различных источников: отечественной и зарубежной научной периодической литературы, монографий и учебников, электронных ресурсов Интернет (ОК-4);
- способность работать в коллективе и применять навыки эффективной организации труда и командной работы (ОК-5).

б) профессиональные (ПК):

- готовность использовать основные законы физики и математики при формировании моделей навигационных инструментов и среды в последующей профессиональной деятельности в качестве научных сотрудников, преподавателей вузов, инженеров, технологов (ПК-1);
- готовность к решению практических задач по экспериментальным исследованиям навигационных сенсоров и средств (ПК-2);
- готовность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности в областях космической техники, робототехники, технического зрения, информационных датчиков, и привлекать для их решения освоенный физико-математический аппарат (ПК-3);
- готовность к творческому подходу в реализации научно-технических задач, основанному на систематическом обновлении полученных знаний, навыков и умений и использовании последних достижений в областях электронных и электронно-оптических свойств сенсорных средств (ПК-4);
- способность к созданию математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере (ПК-5);
- способность применять на практике умения и навыки в организации исследовательских работ и проводить научные исследования, готовность к участию в инновационной деятельности (ПК-6).

3. КОНКРЕТНЫЕ ЗНАНИЯ, УМЕНИЯ И НАВЫКИ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины *«Системы и методы наземной и космической навигации»* обучающийся должен:

1. Знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы теоретической механики и вычислительной математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике сигнальных преобразований и в их приложениях;
- теоретические модели погрешностей измерения физических параметров
- уравнения движения и законы сохранения;
- вариационные принципы оптимизации процессов;
- новейшие средства и методы навигации;
- взаимосвязи в фундаментальном единстве математики и естественных наук.

2. Уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- работать на современном экспериментальном оборудовании;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций.

3. Владеть:

- научной картиной мира;
- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;
- математическим моделированием физических задач современными средствами программирования на языках высокого уровня.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Структура дисциплины

Перечень разделов дисциплины и распределение времени по темам

№ темы и название	Количество часов
1. История развития картографии и навигации	4
2. Пространство и время в навигации	8
3. Навигационные системы	8
4. Особенности навигации в различных средах	10
ВСЕГО часов (зач. ед.)	30 часов (1 зач. ед.)

ВИД ЗАНЯТИЙ ЛЕКЦИИ

№ п/п	Темы	Трудоёмкость в часах
1	История развития картографии и навигации	4
2	Пространство и время в навигации	8
3	Навигационные системы	8
4	Особенности навигации в различных средах	10
ВСЕГО часов (зач. ед.)		30 часов (1 зач. ед.)

Содержание дисциплины

№ п/п	Название модуля	Разделы и темы лекционных занятий	Содержание	Объем	
				Аудиторная работа (зачетные единицы /часы)	Самостоятельная работа (зачетные единицы /часы)
1	История развития картографии и навигации	Введение Эволюция представлений человечества о пространстве, времени и окружающем мире	Задачи и проблемы навигации. Структуры данных. Понятие карты. Навигационные запросы и ответы. Средства навигационного обеспечения. Причины возникновения навигационных неопределенностей. Античные представления о форме Земли. Первые карты. Геоцентрическая и гелиоцентрическая системы мира. Великие географические открытия. Навигация на море. Изобретение компаса. Маг-	4	

		<p>Теория картографических проекций</p> <p>Топография и ее методы. Геоинформационные системы (ГИС)</p>	<p>нитное склонение. Спор о форме Земли. Проблема определения долготы. Первые хронометры. Ньютоновское и эйнштейновское представления о пространстве и времени.</p> <p>Проблема отображения сферы на плоскость. Виды картографических проекций по характеру искажений и по свойствам вспомогательной поверхности. Проекция Меркатора. Проекция Гаусса-Крюгера.</p> <p>Виды съемочных работ в топографии: мензуральная и теодолитная наземные съемки, аэрофото-съемка, спутниковая съемка. Задачи фотограмметрии. Проблема генерализации карт. Проблема разрешения карт. Понятие географической информационной системы (ГИС). Современные ГИС.</p>		
2	Пространство и время в навигации	Системы координат для навигации на Земле и в космосе	<p>Кинематические и динамические системы координат. Фундаментальные каталоги. Прецессия, нутация, полярное движение. Международная небесная система координат. Модели Земли: геоид, сфероид (эллипсоид вращения). Глобальные и референц-эллипсоиды. Международная земная система координат. Другие си-</p>	8	

		Исчисление времени. Календари. Системы времени	<p>системы координат: горизонтальная, стартовая, орбитальная, скоростная.</p> <p>Юлианский и григорианский календари. Юлианский период и юлианская дата. Истинное и среднее солнечное время. Уравнение времени. Тропический, сидерический и драконический годы. Гринвичское среднее время (GMT). Всемирное время (UT). Динамическое время. Атомные часы. Международное атомное время (TAI). Определение секунды СИ. Всемирное координированное время (UTC). Секунды координации. Шкала времени GPS. Часовые пояса и часовые зоны. Шкалы времени в контексте общей теории относительности. Координатное время.</p>		
3	Навигационные системы	Системы инерциальной навигации	<p>Определение и свойства инерциальной навигации, её преимущества и недостатки. Инерциальные датчики: акселерометр, датчик угловой скорости (гироскоп). Роторные механические гироскопы. Маховик, гироскоп. Маятник Шулера и его реализация. Гироскоп маятника. Гироскоп с маятниковой коррекцией. Гироскоп инерциальной вертикали. Вибрационные механические гироскопы. Оптиче-</p>	8	

		<p>Задача определения орбиты в околоземных и межпланетных полетах</p>	<p>сверхдлинными базами. Эффекты распространения сигнала в средах и гравитационном поле. Годичная и суточная абберрация астрометрических измерений.</p> <p>Детерминированные и статистические оценки параметров движения. Линеаризация задачи определения параметров движения. Гарантированные оценки. Метод наименьших квадратов и его оптимальные свойства. Оценка максимального правдоподобия. Прогноз ошибок определения орбиты. Уравнения в вариациях. Методы последовательно обработки (фильтрации) измерений. Метод пакетной обработки. Задача первоначального определения орбиты. Методы Гаусса и Лапласа. Картинная плоскость и её роль при расчете планетоцентрического участка траектории. Эллипс рассеивания. Одноимпульсная коррекция. Матрица маневра. Плоскость оптимальной коррекции. Нуль-направление. Эллипс влияния.</p>		
--	--	---	---	--	--

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

№ п/п	Вид занятия	Форма проведения занятий	Цель
1	лекция	изложение теоретического материала	получение теоретических знаний по дисциплине

2	лекция	изложение теоретического материала с помощью презентаций	повышение степени понимания материала
3	самостоятельная работа студента	решение выданных преподавателем задач и сдача их в конце семестра, подготовка к экзамену	повышение степени понимания материала

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена в 7-ом семестре

1. Задачи и проблемы навигации. Навигационные запросы
2. Причины возникновения навигационных неопределённостей.
3. Виды картографических проекций. Проекция Меркатора.
4. Виды съёмочных работ в топографии. Задачи фотограмметрии.
5. Проблемы генерализации и разрешения карт. Современные ГИС.
6. Кинематические системы координат. Фундаментальные каталоги.
7. Динамические системы координат. Прецессия, нутация.
8. Расчет матрицы поворота Земли. Параметры вращения Земли.
9. Модели Земли: геоид, сфероид. Полярное движение.
10. Гринвичское среднее время. Всемирное время и его типы.
11. Динамические шкалы времени. Эфемеридное время.
12. Международное атомное время. Всемирное координированное время.
13. Маятник Шулера. Гиromаятник. Гиرويнерциальная вертикаль.
14. Лазерные и волоконно-оптические гироскопы. Эффект Саньяка.
15. Платформенные и бесплатформенные инерциальные системы. Уравнения ошибок.
16. Дальномер как простейшая система технического зрения.
17. Основные стадии обработки цифровых изображений.
18. Глобальные и региональные ССП. Особенности работы GPS и ГЛОНАСС.
19. Навигационные уравнения и способы их решения. Точность ССП.
20. Отношение видимости. Теорема о сложности навигационного пространства.
21. Ядра и классы видимости. Навигационное множество. Границы и ориентиры.
22. Задача поиска пути. Волновой алгоритм. A*-алгоритм. Метод потенциалов.
23. Измерения наклонной дальности и радиальной скорости. Учет эффектов распространения
24. Измерения углов азимута и места, прямого восхождения и склонения. Поправки на рефракцию и аберрацию.
25. Измерения псевдодальности и фазы несущей по сигналам глобальных ССП.
26. Радиointерферометрические измерения со сверхдлинной базой. Разностные измерения однопутевой дальности.
27. Статистические методы определения параметров движения. Гарантированные оценки.
28. Метод наименьших квадратов и его оптимальные свойства. Оценка максимального правдоподобия.
29. Методы последовательной и пакетной обработки измерений.
30. Прогноз ошибок определения орбиты. Уравнения в вариациях.
31. Задача первоначального определения орбиты. Методы Гаусса и Лапласа.
32. Матрица изохронных производных. Картинная плоскость. Эллипс рассеивания.
33. Одноимпульсная коррекция. Плоскость оптимальной коррекции. Нуль-направление.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Необходимое оборудование для лекций: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, маркерная доска, связь с Интернетом)

Необходимое программное обеспечение: нет

Обеспечение самостоятельной работы: электронные ресурсы, в том числе веб-сайт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН (<http://www.keldysh.ru>), базы журналов издательств Springer, Elsevier, AMS

- 7. НАИМЕНОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ТЕМ КУРСОВЫХ РАБОТ – УЧЕБНЫМ ПЛАНОМ НЕ ПРЕДУСМОТРЕНЫ**
- 8. ТЕМАТИКА И ФОРМЫ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЫ – УЧЕБНЫМ ПЛАНОМ НЕ ПРЕДУСМОТРЕНЫ**
- 9. ТЕМАТИКА ИТОГОВЫХ РАБОТ – УЧЕБНЫМ ПЛАНОМ НЕ ПРЕДУСМОТРЕНЫ**
- 10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Основная литература

1. Жаров В.Е. Сферическая астрономия. Фрязино, 2006, 480 с.
2. Ишлинский А.Ю. Ориентация, гироскопы и инерциальная навигация. М.: Наука, 1976, 672 с.
3. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008, 192 с.
4. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике (под ред. Г.Н.Дубошина). М.: Наука, 1971, 584 с.
5. Платонов А.К. О построении движений в баллистике и мехатронике. В сб. Прикладная небесная механика и управление движением (сборник статей, посвящённый 90-летию со дня рождения Д.Е. Охоцимского), ИПМ им. М.В. Келдыша, 2010, с. 127-222.
6. Эльясберг П. Е. Определение движения по результатам измерений. : Наука, 1976.
7. Херрик С. Астродинамика / под ред. В. А. Сарычев. : Мир, 1977.
8. Tapley B. D., Schutz B. E., Born G. H. Statistical Orbit Determination / под ред. F. Cynar. : Elsevier, 2004.

Дополнительная литература

1. Куликовский П.Г. Справочник астронома-любителя. М.: ГИТТЛ, 1948.
2. Евсеев А.А., Носков В.П., Платонов А.К. Формирование электронной карты при автономном движении в индустриальной среде // Мехатроника, автоматизация, управление. 2008, № 2, с. 41-45.
3. Платонов А.К., Сербенюк Н.С. Выявление с помощью TV-камеры препятствий движению робота // Препринт ИПМ, 2004, № 71, 26 с.
4. Носков В.П., Рубцов И.В, Романов А.Ю. Формирование объединённой модели внешней среды на основе информации видеокамеры и дальномера // Мехатроника, автоматизация, управление, 2007, № 8, с. 2-5.
5. Платонов А.К. Определение параметров проективного отображения в зрительном канале робота // Препринт ИПМ, 2007, № 39, 28 с.
6. Аким Э.Л., Энеев Т.М. Движение искусственных спутников Земли. Межпланетные полёты. В сб. Прикладная небесная механика и управление движением (сборник статей, посвящённый 90-летию со дня рождения Д.Е. Охоцимского), ИПМ им. М.В. Келдыша, 2010, с. 7-29.
7. Чулин А.Н. Калибровка бесплатформенной инерциальной навигационной системы по информации автономной системы навигации на активных участках полёта космического аппарата. В сб. Актуальные вопросы проектирования космических аппаратов и комплексов. Вып. 6. М.: «Блок-Информ-Экспресс», 2005, с. 274-279.
8. Moyer T. D. Formulation for Observed and Computed Values of Deep Space Network Data Types for Navigation. : John Wiley & Sons, 2003.
9. Vallado D. A. Fundamentals of astrodynamics and applications. : Microcosm Press, 2013. Вып. 4.

Программу составил

М.В. Захваткин, к.ф.-м.н.

«___» _____ 2023 г.