

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

Чуцрис О. И.

29.06.2018

Регистрационный № УД-5646 /уч.

ПРАКТИЧЕСКАЯ БАЛЛИСТИКА И НАВИГАЦИЯ

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:

1-31 04 04 Аэрокосмические радиоэлектронные и информационные
системы и технологии

2018 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 04-2013 и учебных планов №G 31-171/уч. и №G 31и-187/уч. от 30.05.2013 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

А.А. Спиридонос, старший преподаватель кафедры физики и аэрокосмических технологий

Д.В. Ушаков, доцент кафедры физики и аэрокосмических технологий, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физики и аэрокосмических технологий
(протокол № 13 от 05.06.2018);

Советом факультета радиофизики и компьютерных технологий
(протокол № 10 от 26.06.2018)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

ХАРАКТЕРИСТИКА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебная программа по учебной дисциплине «Практическая баллистика и навигация» разработана для студентов специализации «Глобальные навигационные и телекоммуникационные системы» специальности «Аэрокосмические радиоэлектронные и информационные системы и технологии» в соответствии с требованиями образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 04-2013 и учебных планов направлений вышеуказанной специальности.

Актуальность изучения учебной дисциплины определяется необходимостью ознакомления молодых специалистов с физическими основами и методами определения и прогнозирования параметров орбит малых и сверхмалых космических аппаратов для решения задач научного и прикладного назначения.

ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ, РОЛЬ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель учебной дисциплины: сформировать базисные знания в области практической баллистики и навигации, в том числе с особенностями определения и прогнозирования параметров орбит и параметров движения малых и сверхмалых космических аппаратов.

Задачи учебной дисциплины:

- приобретение знаний о методах расчета и прогнозирования движения космических аппаратов;
- формирование навыков разработки навигационных систем и работы с ними.

Учебная дисциплина «Практическая баллистика и навигация» относится к циклу дисциплин специализации. Базовыми учебными дисциплинами для изучения данной дисциплине являются «Общая физика», «Основы радиоэлектроники», «Оптоэлектроника», где излагаются вопросы физики и принципов работы приборов. В свою очередь учебная дисциплина «Практическая баллистика и навигация» освещает круг вопросов, связанных с физическими основами расчета траектории движения космических аппаратов и принципов построения навигационного оборудования и обработки информации с него.

ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения учебной дисциплины «Практическая баллистика и навигация» формируются следующие компетенции:

академические:

- уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;
- владеть системным и сравнительным анализом;
- владеть исследовательскими навыками;
- уметь работать самостоятельно;
- быть способным вырабатывать новые идеи (креативность);
- уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение профессиональной деятельности;
- владеть междисциплинарным подходом при решении проблем;
- иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

профессиональные:

- проводить анализ динамики полета КА;
- устанавливать оптимальные корректирующие параметры на основе навигационных данных;
- формулировать выводы и рекомендации по применению результатов научно-исследовательской работы.
- разрабатывать и совершенствовать методы исследований в области аэрокосмических радиоэлектронных и информационных систем и технологий;

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

знать:

- основы механики космического полета;
- принципы определения орбит и нахождения вектора состояния КА;
- принципы конструирования навигационного оборудования и обработки навигационных данных;

уметь:

- определять параметры орбиты и углового движения КА;
- моделировать на компьютере алгоритмы типовых задач движения центра масс КА;
- конструировать навигационное оборудование и проводить обработку навигационных данных;

владеть:

- физико-математическим аппаратом численного интегрирования уравнений движения КА.

Объем дисциплины составляет 126 учебных часов, в том числе 62 аудиторных часа, из них лекции – 34, лабораторные работы – 28; 3,5 зач. единиц. Дисциплина читается в девятом семестре. Форма получения образования очная. Форма текущей аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА:

1. *Введение.* Предмет и составные части дисциплины
2. *Системы координат и времени.* Классификация СК. Геоцентрические экваториальные, топоцентрические, орбитальные, связанные, стартовые СК. Взаимные преобразования координат. Основные системы времени. Земное, звездное, юлианское, всемирное координированное времена. Взаимные преобразования времени.
3. *Физика возмущающих сил, влияющих на движение КА на околоземной орбите.* Гравитационный потенциал Земли, Солнца и Луны. Основные сведения о полиномах Лежандра. Методы расчета сил и моментов сил на основе разложений по сферическим функциям. Приближенные модели. Модели атмосферы. Методы расчета сил сопротивления атмосферы движению КА. Учет давления солнечного излучения. Модели магнитного поля Земли. Расчет сил и моментов сил магнитного поля, действующих на КА. Математическое моделирование возмущающих сил, действующих на КА.
4. *Механика движения центра масс.* Уравнение движения космического аппарата. Невозмущенное движение КА (кеплерово движение). Уравнение орбиты. Методы решения уравнения Кеплера. Определение положения КА в заданный момент времени. Дифференциальные уравнения возмущенного движения.
5. *Аналитические и численные методы решения уравнений движения центра масс КА.* Модели упрощенного возмущенного движения КА (SGP, SGP4, SGP8, SDP, SDP4, SDP8). Программная реализация в среде MatLab. Численные методы интегрирования уравнений движения КА. Метод Нумерова. Метод Рунге-Кутта. Метод Эверхарта. Метод Булирша-Штера. Метод Адамса-Мультона-Коуэлла.
6. *Методы определения орбит КА по результатам внешне траекторных измерений.* Методы определения параметров орбит по измерению наклонной дальности и 2 угловым координатам, по 3 угловым измерениям.

Триангуляционные методы. Статистические методы определения орбит по результатам многих измерений.

7. *Система навигации и определения ориентации КА.* Угловое движение КА. Принципы построения космических навигационных систем. Наиболее важные характеристики космических навигационных систем. Методы решения навигационной задачи в спутниковой системе навигации. Алгоритм навигационной задачи.
8. *Классификация и математическая модель ошибок наблюдений.* Динамическая фильтрация последовательности наблюдений. Методы оптимальной обработки информации. Метод максимума правдоподобия. Экспоненциальный фильтр, альфа-бета-фильтр, фильтр Калмана.
9. *Датчики ориентации и навигации КА.* Астрономическая, инерциальная и астроинерциальная навигация. Основные принципы астроинерциальной навигации. Элементы и устройства астроинерциальной навигации. Оптические приборы для ориентации и навигации. Оптические приборы ориентации по звездам, оптические приборы ориентации по Солнцу. Комплексные системы навигации. Принципиальная схема гироскопа и стабилизации платформы. Акселерометры и измерение ускорения космического корабля. Принцип определения координат и скорости корабля по данным акселерометров. Принципиальные схемы построения магнитометров. Определение ориентаций космического аппарата по данным магнитометра. Детерминированные методы определения ориентации КА. Определение ориентации КА по данным измерений магнитометра и солнечного датчика. Статистические методы определения ориентации КА. Определение ориентации КА по данным нескольких датчиков и одного датчика.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		лекции	практические занятия	лабораторные занятия	иное		
	2	3	4	5	6	7	9
1	<i>Введение. Предмет и составные части дисциплины.</i>	1					
2	<i>Системы координат и времени</i>						Устный опрос
	<i>2.1 Классификация СК. Геоцентрические экваториальные, токоцентрические, орбитальные, связанные, стартовые СК. Взаимные преобразования координат.</i>	2					Устный опрос
	<i>2.2 Основные системы времени. Земное, звездное, юлианское, всемирное координированное времена. Взаимные преобразования времени.</i>	2					Устный опрос
3	<i>Физика возмущающих сил, влияющих на движение КА на околоземной орбите</i>						Устный опрос
	<i>3.1. Гравитационный потенциал Земли, Солнца и Луны. Основные сведения о полиномах Лежандра. Методы расчета сил и моментов сил на основе разложений по сферическим функциям. Приближенные модели.</i>	2					
	<i>3.2 Модели атмосферы. Методы расчета сил сопротивления атмосферы движению КА. Учет давления солнечного излучения. Модели магнитного поля Земли. Расчет сил и моментов сил магнитного поля, действующих на КА. Математическое моделирование возмущающих сил, действующих на КА.</i>	2					
4	<i>Механика движения центра масс. Уравнение движения космического аппарата. Невозмущенное движение КА</i>	2					Устный опрос

	(кеплерово движение). Уравнение орбиты. Методы решения уравнения Кеплера. Определение положения КА в заданный момент времени. Дифференциальные уравнения возмущенного движения.					
5	<i>Аналитические и численные методы решения уравнений движения центра масс КА</i>					Устный опрос
	<i>5.1. Модели упрощенного возмущенного движения КА (SGP, SGP4, SGP8, SDP, SDP4, SDP8). Программная реализация в среде MatLab.</i>	2				
	<i>5.2 Численные методы интегрирования уравнений движения КА. Метод Нумерова. Метод Рунге-Кутта.</i>	2				
	<i>5.3 Метод Эверхарта. Метод Булириша-Штера. Метод Адамса-Мультона-Коуэлла.</i>	2				
	<i>5.4 Лабораторная работа «Моделирование движения КА в рамках аналитической модели усредненного возмущенного движения КА»</i>		6			Отчет по о лабораторной работе
	<i>5.5 Лабораторная работа «Численное моделирование движения КА на основе метода Эверхарта»</i>		6			Отчет по о лабораторной работе
6	<i>Методы определения орбит КА по результатам внешне траекторных измерений.</i>					Устный опрос
	<i>6.1 Методы определения параметров орбит по измерению наклонной дальности и 2 угловым координатам, по 3 угловым измерениям.</i>	2				
	<i>6.2 Триангуляционные методы. Статистические методы определения орбит по результатам многих измерений.</i>	2				
	<i>6.3 Лабораторная работа «Определения орбит КА по результатам внешне траекторных измерений»</i>		4			Отчет по о лабораторной работе
7	<i>Система навигации и определения ориентации КА. Угловое движение КА. Принципы построения космических навигационных систем. Наиболее важные характеристики космических навигационных систем. Методы решения навигационной задачи в спутниковой системе навигации. Алгоритм навигационной задачи.</i>	2				Устный опрос

8	<i>Классификация и математическая модель ошибок наблюдений.</i>					Устный опрос
	<i>8.1 Динамическая фильтрация последовательности наблюдений. Методы оптимальной обработки информации. Метод максимума правдоподобия.</i>	2				
	<i>8.2 Экспоненциальный фильтр, альфа-бета-фильтр, фильтр Калмана.</i>	2				
	<i>8.3 Лабораторная работа «Обработка и фильтрация последовательности наблюдений»</i>			6		Отчет по о лабораторной работе
9	<i>Датчики ориентации и навигации КА.</i>					Устный опрос
	<i>9.1 Астрономическая, инерциальная и астроинерциальная навигация. Основные принципы астроинерциальной навигации. Элементы и устройства астроинерциальной навигации. Оптические приборы для ориентации и навигации. Оптические приборы ориентации по звездам, оптические приборы ориентации по Солнцу.</i>	2				
	<i>9.2 Комплексные системы навигации. Принципиальная схема гироскопа и стабилизации платформы. Акселерометры и измерение ускорения космического корабля. Принцип определения координат и скорости корабля по данным акселерометров. Принципиальные схемы построения магнитометров. Определение ориентаций космического аппарата по данным магнитометра.</i>	2				
	<i>9.3 Детерминированные методы определения ориентации КА. Определение ориентации КА по данным измерений магнитометра и солнечного датчика.</i>	1				
	<i>9.4 Статистические методы определения ориентации КА. Определение ориентации КА по данным нескольких датчиков и одного датчика.</i>	2				
	<i>9.5 Лабораторная работа «Определение параметров движения КА по результатам приема и обработки телеметрии»</i>			6		Отчет по о лабораторной работе

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рекомендуемая литература:

Основная

1. Субботин М. Ф. Введение в теоретическую астрономию. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1968.
2. Е. П. Аксёнов. Теория движения искусственных спутников Земли / Аксёнов Е. П. - Москва: Наука, 1977 - 358 с.
3. Иванов Н. М., Лысенко Л. Н. Баллистика и навигация космических аппаратов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Дрофа, 2004.
4. Н.С. Бахвалов. Численные методы / Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. - Москва: Изд-во Дрофа, 2009. - 626 с.
5. Т.В. Бордовицына. Современные численные методы в задачах небесной механики / Бордовицына Т.В. - Москва: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. - 136 с.
6. Абламейко, С.В. Малые космические аппараты. Учебное пособие / С.В. Абламейко, В.А. Саечников, А.А. Спиридов. - Мин.: БГУ, 2012. - 159 с. - (Аэрокосмические технологии),
7. Даниев Ю. В., Демченко А.В., Зевако В. С., Кулабухов А.М., Хуторный В. В. Космические летательные аппараты. Введение в космическую технику. Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС. 2007.
8. Соловьев В. А., Лысенко Л. Н. Управление космическими полетами: в 2 ч. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.
9. Федосеев В. И., Колосов М. П. Оптико-электронные приборы ориентации и навигации космических аппаратов : учеб. пособие для вузов / Федосеев В. И., Колосов М. П. - М. : Логос, 2007. - 247 с.
10. Коваленко А. П. Магнитные системы управления космическими летательными аппаратами / Коваленко А. П. - М. : Машиностроение, 1975.

Дополнительная

1. Информационные технологии в радиотехнических системах / В.А. Васин, И.Б. Власов, Ю.М. Егоров и др.; Под ред. И.Б. Федорова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
2. Матвеев, В.В. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. [Текст]/В.В. Матвеев, В.Я. Распопов/ Под общ. ред. д.т.н. В.Я. Распопова. - СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009. – 280 с.
3. Гиедеико Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности - М.: Наука, 1975. - 524 с.
4. Абламейко, С.В. Глобальные навигационные спутниковые системы: пособие для студентов фак. радиофизики и компьютерных технологий / С.В. Абламейко, В.А. Саечников, А.А. Спиридов. — Мин.: БГУ, 2011. – 147 с.
5. Разыграев А.П. Основы управления полетом космических аппаратов и кораблей. - М.: Машиностроение, 1977. -258 с.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ

Учебным планом специальности в качестве формы текущей аттестации по учебной дисциплине «Практическая баллистика и навигация» предусмотрен зачет. Оценка учебных достижений студента производится по десятибалльной шкале.

Для промежуточного контроля по учебной дисциплине и диагностики компетенций студентов используются следующие формы:

- устный опрос;
- отчеты по лабораторным работам с их устной защитой.

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИТОГОВОЙ ОЦЕНКИ

Итоговая оценка формируется в соответствии со следующими документами:

1. «Об утверждении правил проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования». Постановление Министерства образования Республики Беларусь от 29 мая 2012 г. № 53.
2. «Положение о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в Белорусском государственном университете». Приказ ректора БГУ от 18.08.2015 № 382-ОД.
3. «Критерии оценки знаний и компетенций студентов по десятибалльной шкале». Письмо Министерства образования Республики Беларусь №09-10/53-ПО от 28.05.2013г.

**ПРОТОКОЛ
СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ ПО ИЗУЧАЕМОЙ
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ
СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)*
Спутниковые и навигационные геоинформационные системы	Физики и аэрокосмических технологий	Без изменений	Изменения не требуются, протокол № 13 от 05.06.2018

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ
К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ
ДИСЦИПЛИНЕ НА _____ / _____ УЧЕБНЫЙ ГОД**

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № _____ от _____ 20____ г.)
(название кафедры)

Заведующий кафедрой

(степень, звание)

(подпись)

В. А. Саечников
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

(степень, звание)

(подпись)

С. В. Малый
(И.О.Фамилия)