

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
"САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ"

Кафедра № 13

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель образовательной программы

доц. к.т.н.

(должность, уч. степень, звание)

Н.А. Овчинникова

(инициалы, фамилия)

(подпись)

«18» февраля 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Инерциальные навигационные системы»

(Наименование дисциплины)

Код направления подготовки/ специальности	24.05.06
Наименование направления подготовки/ специальности	Системы управления летательными аппаратами
Наименование направленности	Приборы систем управления летательных аппаратов
Форма обучения	очная
Год приема	2025

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил (а)

Доцент, к.т.н., доц.

(должность, уч. степень, звание)

(подпись, дата)

Д.В. Решетников

(инициалы, фамилия)

Программа одобрена на заседании кафедры № 13

«18» февраля 2025 г. протокол № 7

Заведующий кафедрой № 13

к.т.н.

(уч. степень, звание)

(подпись, дата)

Н.А. Овчинникова

(инициалы, фамилия)

Заместитель директора института №1 по методической работе

доц. к.т.н.

(должность, уч. степень, звание)

(подпись, дата)

В.Е. Таратун

(инициалы, фамилия)

## Аннотация

Дисциплина «Инерциальные навигационные системы» входит в образовательную программу высшего образования – программу специалитета по направлению подготовки/ специальности 24.05.06 «Системы управления летательными аппаратами» направленности «Приборы систем управления летательных аппаратов». Дисциплина реализуется кафедрой «№13».

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

ПК-2 «Способен координировать и обеспечивать конструкторское сопровождение разработки проектов приборов ориентации, навигации и стабилизации летательных аппаратов в ракетно-космической промышленности»

ПК-4 «Способен координировать подготовку и проведение испытаний приборов ориентации, навигации и стабилизации летательных аппаратов в ракетно-космической промышленности с заданными техническими требованиями»

ПК-8 «Способен представлять результаты исследований в форме отчетов, рефератов, обзоров, публикаций, докладов и заявок на изобретения»

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с с принципиальным аспектам построения и алгоритмами функционирования автономных инерциальных навигационных систем.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, лабораторные работы, самостоятельная работа обучающегося.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация в форме экзамена.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

Язык обучения по дисциплине «русский»

# 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

## 1.1. Цели преподавания дисциплины

Целью преподавания дисциплины «Инерциальные навигационные системы» является получение студентами необходимых сведений по принципиальным аспектам построения и алгоритмам функционирования автономных и комплексированных инерциальных навигационных систем.

1.2. Дисциплина входит в состав части, формируемой участниками образовательных отношений, образовательной программы высшего образования (далее – ОП ВО).

1.3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП ВО.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен обладать следующими компетенциями или их частями. Компетенции и индикаторы их достижения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Категория (группа) компетенции	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Профессиональные компетенции	ПК-2 Способен координировать и обеспечивать конструкторское сопровождение разработки проектов приборов ориентации, навигации и стабилизации летательных аппаратов в ракетно-космической промышленности	ПК-2.3.1 знать основы проектирования, конструирования и производства приборов ориентации, навигации и стабилизации летательных аппаратов; виды проектной документации ПК-2.У.1 уметь разрабатывать проекты приборов ориентации, навигации и стабилизации летательных аппаратов и координировать их разработку ПК-2.В.1 владеть навыками работы в информационно-коммуникационном пространстве, проводить компьютерное моделирование, расчеты с использованием программных средств общего и специального назначения при разработке проектов приборов ориентации, навигации и стабилизации летательных аппаратов
Профессиональные компетенции	ПК-4 Способен координировать подготовку и проведение испытаний приборов ориентации, навигации и стабилизации летательных аппаратов в ракетно-космической промышленности с заданными техническими требованиями	ПК-4.У.1 уметь разрабатывать планы, программы и методики проведения испытаний приборов ориентации, навигации и стабилизации летательных аппаратов, их составных частей ПК-4.У.2 уметь применять современные программные средства для анализа результатов испытаний ПК-4.В.1 владеть методами обработки результатов испытаний с использованием ЭВМ

Профессиональные компетенции	ПК-8 Способен представлять результаты исследований в форме отчетов, рефератов, обзоров, публикаций, докладов и заявок на изобретения	ПК-8.В.1 владеть навыками обобщения, формулирования и изложения результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ
------------------------------	--	---

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина может базироваться на знаниях, ранее приобретенных обучающимися при изучении следующих дисциплин:

- Математика. Математический анализ;
- Физика;
- Информатика;
- Теория гироскопов и гиросtabilизаторов;
- Основы моделирования приборов и систем;
- Основы теории управления;
- Гироскопические приборы и системы;
- Технические средства навигации и управления движением;
- Основы теории пилотажно-навигационных комплексов.

Знания, полученные при изучении материала данной дисциплины, имеют как самостоятельное значение, так и используются при изучении других дисциплин:

- Обработка навигационной информации.
- Проектирование приборов и систем.

## 3. Объем и трудоемкость дисциплины

Данные об общем объеме дисциплины, трудоемкости отдельных видов учебной работы по дисциплине (и распределение этой трудоемкости по семестрам) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Объем и трудоемкость дисциплины

Вид учебной работы	Всего	Трудоемкость по семестрам
		№9
1	2	3
<b>Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час)</b>	4/ 144	4/ 144
<b>Из них часов практической подготовки</b>	17	17
<b>Аудиторные занятия, всего час.</b>	51	51
в том числе:		
лекции (Л), (час)	34	34
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)		
лабораторные работы (ЛР), (час)	17	17
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)		
экзамен, (час)	36	36
<b>Самостоятельная работа, всего (час)</b>	57	57
<b>Вид промежуточной аттестации:</b> зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.**)	Экз.	Экз.

#### 4. Содержание дисциплины

##### 4.1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий.

Разделы, темы дисциплины и их трудоемкость приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Разделы, темы дисциплины, их трудоемкость

Разделы, темы дисциплины	Лекции (час)	ПЗ (СЗ) (час)	ЛР (час)	КП (час)	СРС (час)
Семестр 9					
Раздел 1. Инерциальные чувствительные элементы	4		4		8
Раздел 2. Принципиальные основы инерциального метода счисления	6				13
Раздел 3. Платформенные инерциальные навигационные системы	12		8		18
Раздел 4. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы	12		5		18
Итого в семестре:	34		17		57
Итого	34	0	17	0	57

Практическая подготовка заключается в непосредственном выполнении обучающимися определенных трудовых функций, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

##### 4.2. Содержание разделов и тем лекционных занятий.

Содержание разделов и тем лекционных занятий приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Содержание разделов и тем лекционного цикла

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий
1	Конструктивные схемы акселерометров, принципы действия и характеристики. Акселерометры прямого и компенсационного измерения. Осевые и маятниковые акселерометры. Струнные акселерометры. Общая характеристика гироскопов. Лазерные и волоконно-оптические гироскопы. Волновые твердотельные гироскопы. Динамически настраиваемые гироскопы. Микромеханические гироскопы.
2	Инерциальный способ определения координат местоположения объекта. Инерциальная навигация на плоской поверхности. Навигация на сферической Земле. Маятник, не возмущаемый ускорениями точки подвеса. Период Шулера. Акселерометр. Особенности измерения ускорения. Фигура Земли. Виды координат. Системы координат. Гравитационное поле и поле силы тяжести.
3	Принципы построения и классификация инерциальных навигационных систем. Платформенные ИНС полуаналитического типа. Структурные схемы платформенных ИНС. Платформенные ИНС геометрического типа. Схема вычислений декартовых инерциальных координат при движении вблизи Земли. Упрощенный вариант ИНС в декартовых координатах. Схема вычислений географических координат. Способы обеспечения географической ориентации акселерометров. Схема вычислений географических координат при движении относительно сферической Земли. Схема вычислений

	<p>навигационных параметров для эллипсоидной аппроксимации Земли. Основные параметры ортодромических траекторий. Схема вычисления ортодромических координат при движении относительно сферической Земли. Схема вычисления ортодромических координат при движении относительно эллипсоидной Земли. Назначение и классификация гиростабилизаторов. Принцип действия одноосного силового гиростабилизатора. Кинематическая схема гиростабилизированной платформы инерциальной навигационной системы. Погрешности элементов инерциальных навигационных систем. Построитель вертикали. Выставка платформенной инерциальной навигационной системы.</p>
4	<p>Принцип действия и классификация БИНС. БИНС с акселерометрами и ДУС. Акселерометрические БИНС. БИНС на неуправляемых гироскопах. БИНС с углами Эйлера- Крылова. Уравнение Пуассона. БИНС с двумя уравнениями Пуассона. БИНС с одним уравнением Пуассона. Кватернионы. Кватернионные матрицы. Кинематическое уравнение для кватерниона. Анализ алгоритмов БИНС. Начальная выставка БИНС. Элементарный анализ ошибок БИНС. Векторная модель ошибок БИНС. Скалярная модель ошибок БИНС. Принципы построения комплексных систем навигации. Непрерывный/дискретный фильтр Калмана в комплексных навигационных системах. Инерциально-спутниковые навигационные комплексы. Алгоритм ориентации с углами Эйлера-Крылова. Алгоритм ориентации с направляющими косинусами. Алгоритм ориентации с кватернионами. Калибровка инерциальных ЧЭ с помощью фильтра Калмана.</p>

#### 4.3. Практические (семинарские) занятия

Темы практических занятий и их трудоемкость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Практические занятия и их трудоемкость

№ п/п	Темы практических занятий	Формы практических занятий	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Учебным планом не предусмотрено					
Всего					

#### 4.4. Лабораторные занятия

Темы лабораторных занятий и их трудоемкость приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Лабораторные занятия и их трудоемкость

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, (час)	Из них практической подготовки, (час)	№ раздела дисциплины
Семестр 9				
1.	Экспериментальная оценки смещений нулей ЧЭ	4		1
2.	Исследование модели инерциального построителя вертикали	2		3
3.	Исследование демпфированных режимов инерциального построителя вертикали	2		3
4.	Исследование ошибок автономной платформенной ИНС методом моделирования	4		3
5.	Исследование ошибок БИНС методом моделирования	5		4
Всего		17		

#### 4.5. Курсовое проектирование/ выполнение курсовой работы

Учебным планом не предусмотрено

#### 4.6. Самостоятельная работа обучающихся

Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

Вид самостоятельной работы	Всего, час	Семестр 9, час
1	2	3
Изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	47	47
Курсовое проектирование (КП, КР)		
Расчетно-графические задания (РГЗ)		
Выполнение реферата (Р)		
Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ)	5	5
Домашнее задание (ДЗ)		
Контрольные работы заочников (КРЗ)		
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)	5	5
Всего:	57	57

5. Перечень учебно-методического обеспечения  
для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)  
Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся указаны в  
п.п. 7-11.

6. Перечень печатных и электронных учебных изданий

Перечень печатных и электронных учебных изданий приведен в таблице 8.

Таблица 8– Перечень печатных и электронных учебных изданий

Шифр/ URL адрес	Библиографическая ссылка	Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров)
629.7 Ф88	Инерциальные системы навигации. Автономные платформенные системы [Текст] : лекции / Л.А. Северов, А.В. Сазонов. – Л.: Ленингр. ин-т авиац. Приборостроения, 1983. – 56 с.	49
629.7.05 А65	Теория инерциальной навигации. Автономные системы [Текст] / В. Д.Андреев. - М. : Наука, 1966. - 579 с.	2
629.7 М 33	Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем: учебное пособие / В.В. Матвеев, В.Я. Распопов; ред. В. Я. Распопов. – СПб.: Изд-во ГНЦ РФ - ЦНИИ «Электроприбор», 2009. – 278 с.	1
629.7 М 59	Микросистемы ориентации беспилотных летательных аппаратов [Текст] / Р.В. Алалуев [и др.], ред. В. Я. Распопов. – М.: Машиностроение, 2011. – 184 с.	6
621.396.9 А73	Анучин О.Н., Емельянцева Г.И. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов. – СПб.: Издательство "Государственный Научный Центр Российской Федерации", 1999. – 357 с.	3
629.76/.78 С 29	Селезнев, В. П. Основы космической навигации [Текст] / В. П. Селезнев. – 2-е изд., испр. – М.: ЛИБРОКОМ, 2012. – 479 с.	18
629.7.05 А65	Теория инерциальной навигации. Корректируемые системы [Текст] / В.Д.Андреев. – М.: Наука, 1967. – 647 с.	4



**7. Перечень электронных образовательных ресурсов  
информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

URL адрес	Наименование
<a href="http://www.gningi.ru/index.php/publications/navigation-and-gidrographiy">http://www.gningi.ru/index.php/publications/navigation-and-gidrographiy</a>	Журнал «Навигация и гидрография»
<a href="http://avia.tgizd.ru/">http://avia.tgizd.ru/</a>	Журнал "Авиакосмическое приборостроение"
<a href="http://www.mai.ru/science/trudy/published.php">http://www.mai.ru/science/trudy/published.php</a>	Журнал "Труды МАИ"

**8. Перечень информационных технологий**

8.1. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Перечень используемого программного обеспечения представлен в таблице 10.

Таблица 10– Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

8.2. Перечень информационно-справочных систем,используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень используемых информационно-справочных систем представлен в таблице 11.

Таблица 11– Перечень информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

**9. Материально-техническая база**

Состав материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине, представлен в таблице12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории (при необходимости)
1	Лекционная аудитория	13-03а
2	Мультимедийная лекционная аудитория	13-04
3	Дисплейный класс	13-03б

## 10. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

10.1. Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Вид промежуточной аттестации	Перечень оценочных средств
Экзамен	Список вопросов к экзамену; Экзаменационные билеты; Задачи; Тесты.

10.2. В качестве критериев оценки уровня сформированности (освоения) компетенций обучающимися применяется 5-балльная шкала оценки сформированности компетенций, которая приведена в таблице 14. В течение семестра может использоваться 100-балльная шкала модульно-рейтинговой системы Университета, правила использования которой, установлены соответствующим локальным нормативным актом ГУАП.

Таблица 14 – Критерии оценки уровня сформированности компетенций

Оценка компетенции 5-балльная шкала	Характеристика сформированных компетенций
«отлично» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обучающийся глубоко и всесторонне усвоил программный материал;</li> <li>– уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает;</li> <li>– опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно привязывает усвоенные научные положения с практической деятельностью направления;</li> <li>– умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи;</li> <li>– делает выводы и обобщения;</li> <li>– свободно владеет системой специализированных понятий.</li> </ul>
«хорошо» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обучающийся твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его, опираясь на знания основной литературы;</li> <li>– не допускает существенных неточностей;</li> <li>– увязывает усвоенные знания с практической деятельностью направления;</li> <li>– аргументирует научные положения;</li> <li>– делает выводы и обобщения;</li> <li>– владеет системой специализированных понятий.</li> </ul>
«удовлетворительно» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обучающийся усвоил только основной программный материал, по существу излагает его, опираясь на знания только основной литературы;</li> <li>– допускает несущественные ошибки и неточности;</li> <li>– испытывает затруднения в практическом применении знаний направления;</li> <li>– слабо аргументирует научные положения;</li> <li>– затрудняется в формулировании выводов и обобщений;</li> <li>– частично владеет системой специализированных понятий.</li> </ul>
«неудовлетворительно» «не зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обучающийся не усвоил значительной части программного материала;</li> <li>– допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении проблем в конкретном направлении;</li> <li>– испытывает трудности в практическом применении знаний;</li> <li>– не может аргументировать научные положения;</li> <li>– не формулирует выводов и обобщений.</li> </ul>

10.3. Типовые контрольные задания или иные материалы.

Вопросы (задачи) для экзамена представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Вопросы (задачи) для экзамена

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена	Код индикатора
1.	Конструктивные схемы акселерометров.	ПК-2.3.1
2.	Принципы действия акселерометров.	ПК-2.3.1
3.	Характеристики акселерометров.	ПК-2.3.1
4.	Акселерометры прямого измерения.	ПК-2.3.1
5.	Акселерометры компенсационного измерения.	ПК-2.3.1
6.	Осевые акселерометры.	ПК-2.3.1
7.	Маятниковые акселерометры.	ПК-2.3.1
8.	Струнные акселерометры.	ПК-2.3.1
9.	Общая характеристика гироскопов.	ПК-2.3.1
10.	Лазерные гироскопы.	ПК-2.3.1
11.	Волоконно-оптические гироскопы.	ПК-2.3.1
12.	Волновые твердотельные гироскопы.	ПК-2.3.1
13.	Динамически настраиваемые гироскопы.	ПК-2.3.1
14.	Микромеханические гироскопы.	ПК-2.3.1
15.	Инерциальный способ определения координат местоположения объекта.	ПК-2.3.1
16.	Инерциальная навигация на плоской поверхности.	ПК-2.3.1
17.	Навигация на сферической Земле.	ПК-2.3.1
18.	Маятник, не возмущаемый ускорениями точки подвеса. Период Шулера.	ПК-2.3.1
19.	Особенности измерения ускорения акселерометр.	ПК-2.3.1
20.	Фигура Земли.	ПК-2.3.1
21.	Виды координат, применяемые в ИНС.	ПК-2.3.1
22.	Системы координат, применяемые в ИНС.	ПК-2.3.1
23.	Гравитационное поле и поле силы тяжести.	ПК-2.3.1
24.	Принципы построения инерциальных навигационных систем.	ПК-2.3.1
25.	Классификация инерциальных навигационных систем.	ПК-2.3.1
26.	Платформенные ИНС полуаналитического типа.	ПК-2.3.1
27.	Структурные схемы платформенных ИНС.	ПК-2.3.1
28.	Платформенные ИНС геометрического типа.	ПК-2.3.1
29.	Схема вычислений декартовых инерциальных координат при движении вблизи Земли.	ПК-2.3.1
30.	Упрощенный вариант ИНС в декартовых координатах.	ПК-2.3.1
31.	Схема вычислений географических координат.	ПК-2.У.1 ПК-4.У.1 ПК-4.У.2
32.	Способы обеспечения географической ориентации акселерометров.	ПК-2.В.1
33.	Схема вычислений географических координат при движении относительно сферической Земли.	ПК-2.У.1 ПК-4.У.1 ПК-4.У.2
34.	Схема вычислений навигационных параметров для эллипсоидной аппроксимации Земли.	ПК-2.У.1 ПК-4.У.1 ПК-4.У.2
35.	Основные параметры ортодромических траекторий.	ПК-2.В.1

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена	Код индикатора
		ПК-4.В.1 ПК-8.В.1
36.	Схема вычисления ортодромических координат при движении относительно сферической Земли.	ПК-2.У.1 ПК-4.У.1 ПК-4.У.2
37.	Схема вычисления ортодромических координат при движении относительно эллипсоидной Земли.	ПК-2.У.1 ПК-4.У.1 ПК-4.У.2
38.	Назначение и классификация гиростабилизаторов.	ПК-2.3.1
39.	Принцип действия одноосного силового гиростабилизатора.	ПК-2.3.1
40.	Кинематическая схема гиростабилизированной платформы инерциальной навигационной системы.	ПК-2.3.1
41.	Классификация погрешностей инерциальных навигационных систем.	ПК-2.3.1
42.	Влияние неточной начальной выставки платформы.	ПК-2.3.1
43.	Влияние погрешностей акселерометра.	ПК-2.3.1
44.	Влияние собственного дрейфа гироскопа.	ПК-2.3.1
45.	Построитель вертикали.	ПК-2.3.1
46.	Выставка платформенной инерциальной навигационной системы.	ПК-2.В.1 ПК-4.В.1 ПК-8.В.1
47.	Принцип действия БИНС.	ПК-2.3.1
48.	Классификация БИНС.	ПК-2.3.1
49.	БИНС с акселерометрами и ДУС.	ПК-2.3.1
50.	Акселерометрические БИНС.	ПК-2.3.1
51.	БИНС на неуправляемых гироскопах.	ПК-2.3.1
52.	БИНС с углами Эйлера-Крылова.	ПК-2.3.1
53.	БИНС с двумя уравнениями Пуассона.	ПК-2.3.1
54.	БИНС с одним уравнением Пуассона.	ПК-2.3.1
55.	БИНС с параметрами Родрига-Гамильтона.	ПК-2.3.1
56.	БИНС на основе решения кинематического уравнения в кватернионах.	ПК-2.3.1
57.	Начальная выставка БИНС.	ПК-2.В.1 ПК-4.В.1 ПК-8.В.1
58.	Ошибки БИНС в случае неточного определения вертикали.	ПК-2.3.1
59.	Ошибки БИНС, вызванные погрешностями акселерометров.	ПК-2.3.1
60.	Ошибки БИНС, вызванные дрейфом гироскопов.	ПК-2.3.1
61.	Векторная модель ошибок БИНС.	ПК-2.3.1
62.	Скалярная модель ошибок БИНС.	ПК-2.3.1
63.	Принципы построения комплексных систем навигации.	ПК-2.3.1
64.	Непрерывный фильтр Калмана в комплексных навигационных системах.	ПК-2.У.1 ПК-4.У.1 ПК-4.У.2
65.	Дискретный фильтр Калмана в комплексных навигационных системах.	ПК-2.У.1 ПК-4.У.1

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена	Код индикатора
		ПК-4.У.2
66.	Классификация инерциально-спутниковые навигационные комплексы.	ПК-2.3.1
67.	Сравнительная характеристика ИНС и спутниковых навигационных систем.	ПК-2.В.1 ПК-4.В.1 ПК-8.В.1

Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для зачета / дифф. зачета	Код индикатора
	Учебным планом не предусмотрено	

Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы

№ п/п	Примерный перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы
	Учебным планом не предусмотрено

Вопросы для проведения промежуточной аттестации в виде тестирования представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Примерный перечень вопросов для тестов

№ п/п	Примерный перечень вопросов для тестов	Код индикатора
1.	<p>Тип 1 Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора.</p> <p>Какую форму имеет Земля?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сферы</li> <li>2. Эллипсоида</li> <li>3. Геоида</li> <li>4. Неопределенную</li> </ol> <p>Эталонный ответ <b>4. Неопределенную</b></p> <p>Вследствие неравномерного распределения масс в теле Земли, действия сил гравитации и вращения ее в пространстве поверхность Земли имеет неопределенную форму. Первое геометрическое приближение называют геоидом. Геоид это фигура Земли, образованная уровенной поверхностью, совпадающей с поверхностью Мирового океана в состоянии полного покоя и равновесия и продолженной под материками. Аппроксимацией геоида является геометрическая фигура называемая эллипсоидом. Для упрощенных расчетов эллипсоид заменяют сферой.</p>	ПК-2
2.	<p>Тип 2 Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора.</p>	ПК-2

	<p>Какие системы координат используют при разработке вычислительных алгоритмов функционирования инерциальных навигационных систем при движении объекта в воздушном пространстве</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Земная система координат</li> <li>2. Стартовая система координат</li> <li>3. Нормальная система координат</li> <li>4. Связанная система координат</li> <li>5. Скоростная система координат</li> <li>6. Полускоростная система координат</li> <li>7. Траекторная система координат</li> </ol> <p>Эталонный ответ</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><b>1. Земная система координат</b></li> <li><b>2. Стартовая система координат</b></li> <li><b>3. Нормальная система координат</b></li> <li><b>4. Связанная система координат</b></li> <li><b>5. Траекторная система координат</b></li> </ol> <p>Земная система координат используется для определения местоположения подвижного объекта в околоземном пространстве. При этом данные могут быть указаны либо в виде декартовых или в форме полярных координат (широта и долгота). Нормальная система координат вводится для определения ориентации объекта относительно земной поверхности. Начало нормальной системы может быть жестко привязано к земной поверхности ( условно неподвижная система) или располагаться в центре масс объекта (подвижная система). Существует несколько разновидностей этой системы. Например, если ось ОХ направляется по местному меридиану, то такую систему называют нормальной географической, если она направляется в заданную точку – ортодромической. Стартовая СК является частным случаем ортодромической СК. Положение связанной СК относительно нормальной СК определяет ориентацию объекта. Траекторная СК определяет положение вектора земной скорости относительно других СК. Скоростная и полускоростная СК, связаны с воздушной скоростью летательного аппарата. При рассмотрении вопросов навигационных определений эти системы не используют.</p>	
3.	<p>Тип 3 Задание закрытого типа на установление соответствия</p> <p>Установите соответствие между формулами вычисления составляющих кажущегося ускорения и их физическим содержанием</p>	ПК-2

	<table><tr><td>1. <math>a_1 = 2\Omega_z \times V</math>, где <math>\Omega_z</math> - угловая скорость вращения Земли, <math>V</math> – скорость движения объекта</td><td>а. Ускорение сил гравитации</td></tr><tr><td>2. <math>a_2 = \omega \times V</math>, где <math>\omega</math> - угловая скорость вращения объекта относительно центра Земли</td><td>б. Ускорение относительно поверхности Земли (относительное ускорение)</td></tr><tr><td>3. <math>a_3 = \Omega_z \times (\Omega_z \times R)</math>, где <math>R</math> – радиус Земли</td><td>в. Переносное ускорение, вызванное угловой скоростью вращения объекта относительно центра Земли</td></tr><tr><td>4. <math>a_4 = g</math>,</td><td>г. Переносное ускорение, вызванное угловой скоростью вращения Земли</td></tr><tr><td>5. <math>a_4 = \dot{V}</math>,</td><td>е. Ускорение Кориолиса</td></tr></table> <p>Эталонный ответ</p> <p>Ключ с ответами</p> <table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><td>е</td><td>в</td><td>г</td><td>а</td><td>б</td></tr></table>	1. $a_1 = 2\Omega_z \times V$ , где $\Omega_z$ - угловая скорость вращения Земли, $V$ – скорость движения объекта	а. Ускорение сил гравитации	2. $a_2 = \omega \times V$ , где $\omega$ - угловая скорость вращения объекта относительно центра Земли	б. Ускорение относительно поверхности Земли (относительное ускорение)	3. $a_3 = \Omega_z \times (\Omega_z \times R)$ , где $R$ – радиус Земли	в. Переносное ускорение, вызванное угловой скоростью вращения объекта относительно центра Земли	4. $a_4 = g$ ,	г. Переносное ускорение, вызванное угловой скоростью вращения Земли	5. $a_4 = \dot{V}$ ,	е. Ускорение Кориолиса	1	2	3	4	5	е	в	г	а	б	
1. $a_1 = 2\Omega_z \times V$ , где $\Omega_z$ - угловая скорость вращения Земли, $V$ – скорость движения объекта	а. Ускорение сил гравитации																					
2. $a_2 = \omega \times V$ , где $\omega$ - угловая скорость вращения объекта относительно центра Земли	б. Ускорение относительно поверхности Земли (относительное ускорение)																					
3. $a_3 = \Omega_z \times (\Omega_z \times R)$ , где $R$ – радиус Земли	в. Переносное ускорение, вызванное угловой скоростью вращения объекта относительно центра Земли																					
4. $a_4 = g$ ,	г. Переносное ускорение, вызванное угловой скоростью вращения Земли																					
5. $a_4 = \dot{V}$ ,	е. Ускорение Кориолиса																					
1	2	3	4	5																		
е	в	г	а	б																		
4.	<p>Тип 4 Задание закрытого типа на установление последовательности</p> <p>Расположите в правильном порядке действия при подготовке ИНС к работе</p> <p>а) Включение системы б) Балансировка в) Грубая выставка г) Гирокомпасирование д) Горизонтирование</p> <p>Ключ с ответами</p> <table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr><tr><td>а</td><td>в</td><td>д</td><td>г</td><td>б</td></tr></table>	1	2	3	4	5	а	в	д	г	б	ПК-2										
1	2	3	4	5																		
а	в	д	г	б																		
5.	<p>Тип 5 Задание открытого типа с развернутым ответом.</p> <p>Укажите преимущества и недостатки бесплатформенных инерциальных систем ориентации и навигации по отношению к платформенным системам</p> <p>Эталонный ответ</p> <p>Бесплатформенные инерциальных систем ориентации и навигации гораздо проще платформенных в конструктивном плане, поскольку не содержат элементов прецизионной электромеханики. В связи с этим они обладают более высокой надежностью и существенно</p>	ПК-2																				

	дешевле платформенных. Главный недостаток этих систем заключается в необходимости использования при их построении гироскопических датчиков и акселерометров с очень широким динамическим диапазоном, поскольку сигналы этих датчиков в составе бесплатформенных инерциальных систем ориентации и навигации содержат не только навигационную составляющую, но и компоненты, связанные с вращением объекта в пространстве. Измерительные устройства с широким динамическим диапазоном имеют более низкую точность измерения. В итоге область применения бесплатформенных инерциальных систем ориентации и навигации - это системы пониженной и средней точности.	
--	--	--

Перечень тем контрольных работ по дисциплине обучающихся заочной формы обучения, представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень контрольных работ

№ п/п	Перечень контрольных работ
	Не предусмотрено

10.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания индикаторов, характеризующих этапы формирования компетенций, содержатся в локальных нормативных актах ГУАП, регламентирующих порядок и процедуру проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ГУАП.

## 11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

11.1. Методические указания для обучающихся по освоению лекционного материала.

Основное назначение лекционного материала – логически стройное, системное, глубокое и ясное изложение учебного материала. Назначение современной лекции в рамках дисциплины не в том, чтобы получить всю информацию по теме, а в освоении фундаментальных проблем дисциплины, методов научного познания, новейших достижений научной мысли. В учебном процессе лекция выполняет методологическую, организационную и информационную функции. Лекция раскрывает понятийный аппарат конкретной области знания, её проблемы, дает цельное представление о дисциплине, показывает взаимосвязь с другими дисциплинами.

Планируемые результаты при освоении обучающимися лекционного материала:

- получение современных, целостных, взаимосвязанных знаний, уровень которых определяется целевой установкой к каждой конкретной теме;
- получение опыта творческой работы совместно с преподавателем;
- развитие профессионально-деловых качеств, любви к предмету и самостоятельного творческого мышления.
- появление необходимого интереса, необходимого для самостоятельной работы;
- получение знаний о современном уровне развития науки и техники и о прогнозе их развития на ближайшие годы;
- научиться методически обрабатывать материал (выделять главные мысли и положения, приходить к конкретным выводам, повторять их в различных формулировках);
- получение точного понимания всех необходимых терминов и понятий.



Лекционный материал может сопровождаться демонстрацией слайдов и использованием раздаточного материала при проведении коротких дискуссий об особенностях применения отдельных тематик по дисциплине.

Структура предоставления лекционного материала:

- изложение теоретических вопросов, связанных с рассматриваемой темой;
- описание методов и алгоритмов, применяемых в современных интегрированных системах ориентации и навигации;
- демонстрация примеров построения интегрированных систем;
- обобщение изложенного материала;
- ответы на возникающие вопросы по теме лекции.

## 11.2. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ

В ходе выполнения лабораторных работ обучающийся должен углубить и закрепить знания, практические навыки, овладеть современной методикой и техникой эксперимента в соответствии с квалификационной характеристикой обучающегося. Выполнение лабораторных работ состоит из экспериментально-практической, расчетно-аналитической частей и контрольных мероприятий.

Выполнение лабораторных работ обучающимся является неотъемлемой частью изучения дисциплины, определяемой учебным планом, и относится к средствам, обеспечивающим решение следующих основных задач обучающегося:

- приобретение навыков исследования процессов, явлений и объектов, изучаемых в рамках данной дисциплины;
- закрепление, развитие и детализация теоретических знаний, полученных на лекциях;
- получение новой информации по изучаемой дисциплине;
- приобретение навыков самостоятельной работы с лабораторным оборудованием и приборами.

### Задание и требования к проведению лабораторных работ

Лабораторные работы проводятся в соответствии методическими указаниями для каждой работы. Перед выполнением лабораторных работ проводится инструктаж по технике безопасности и предварительный опрос студентов на усвоение методики проведения экспериментов с использованием лабораторного оборудования и измерительных приборов. По результатам проведенных экспериментов составляется протокол, который заверяется преподавателем.

### Структура и форма отчета о лабораторной работе

1. титульный лист;
2. цель лабораторной работы;
3. описание исследуемой системы;
4. структура исследуемых параметров;
5. методика проведения экспериментальных исследований;
6. протокол эксперимента;
7. результаты обработки экспериментальных данных;
8. выводы по работе

### Требования к оформлению отчета о лабораторной работе

Отчет о лабораторной работе должен быть оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32 - 2001 представленными на сайте [http://guap.ru/guap/standart/titl\\_main.shtml](http://guap.ru/guap/standart/titl_main.shtml). Титульный лист лабораторной работы должен

быть оформлен в соответствии с требованиями, представленными на сайте [http://guap.ru/guap/standart/titl\\_main.shtml](http://guap.ru/guap/standart/titl_main.shtml)

11.3. Методические указания для обучающихся по прохождению самостоятельной работы

В ходе выполнения самостоятельной работы, обучающийся выполняет работу по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Для обучающихся по заочной форме обучения, самостоятельная работа может включать в себя контрольную работу.

В процессе выполнения самостоятельной работы, у обучающегося формируется целесообразное планирование рабочего времени, которое позволяет им развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, помогает получить навыки повышения профессионального уровня.

Методическими материалами, направляющими самостоятельную работу обучающихся являются:

- учебно-методический материал по дисциплине;
- методические указания по выполнению контрольных работ (для обучающихся по заочной форме обучения).

11.4. Методические указания для обучающихся по прохождению текущего контроля успеваемости.

Текущий контроль успеваемости предусматривает контроль качества знаний обучающихся, осуществляемого в течение семестра с целью оценивания хода освоения дисциплины.

Порядок прохождения текущего контроля успеваемости определяется Положениями ГУАП «О текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации студентов ГУАП, обучающихся по программы высшего образования» и «О модульно-рейтинговой системе оценки качества учебной работы студентов в ГУАП».

Система оценивания:

1 тип) Задание комбинированного типа с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора считается верным, если правильно указана цифра и приведены конкретные аргументы, используемые при выборе ответа. Полное совпадение с верным ответом оценивается 1 баллом, неверный ответ или его отсутствие – 0 баллов.

2 тип) Задание комбинированного типа с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора считается верным, если правильно указаны цифры и приведены конкретные аргументы, используемые при выборе ответов. Полное совпадение с верным ответом оценивается 1 баллом, если допущены ошибки или ответ отсутствует – 0 баллов.

3 тип) Задание закрытого типа на установление соответствия считается верным, если установлены все соответствия (позиции из одного столбца верно сопоставлены с позициями другого столбца). Полное совпадение с верным ответом оценивается 1 баллом, неверный ответ или его отсутствие – 0 баллов

4 тип) Задание закрытого типа на установление последовательности считается верным, если правильно указана вся последовательность цифр. Полное совпадение с верным ответом оценивается 1 баллом, если допущены ошибки или ответ отсутствует – 0 баллов.

5 тип) Задание открытого типа с развернутым ответом считается верным, если ответ совпадает с эталонным по содержанию и полноте. Правильный ответ за задание оценивается в 3 балла, если допущена одна ошибка \неточность\ ответ правильный, но не

полный - 1 балл, если допущено более 1 ошибки \ ответ неправильный \ ответ отсутствует – 0 баллов.

По итогам тестирования выставляется оценка: «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно». При получении менее 3-х баллов («неудовлетворительно») обучающемуся предоставляется возможность подготовиться и повторно пройти тестирование в сроки, предусмотренные учебным планом. К промежуточной аттестации допускаются обучающиеся, полностью выполнившие учебный план, предусмотренный рабочей программой дисциплины, по всем видам учебных занятий.

11.5. Методические указания для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация обучающихся предусматривает оценивание промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине. Она включает в себя:

– экзамен – форма оценки знаний, полученных обучающимся в процессе изучения всей дисциплины или ее части, навыков самостоятельной работы, способности применять их для решения практических задач. Экзамен, как правило, проводится в период экзаменационной сессии и завершается аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Система оценок при проведении текущего контроля и промежуточной аттестации осуществляется в соответствии с руководящим документом организации РДО ГУАП. СМК 3.76 «Положение о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации студентов и аспирантов, обучающихся по образовательным программам высшего образования в ГУАП» [https://docs.guap.ru/guap/2020/sto\\_smk-3-76.pdf](https://docs.guap.ru/guap/2020/sto_smk-3-76.pdf).

Лист внесения изменений в рабочую программу дисциплины

Дата внесения изменений и дополнений. Подпись внесшего изменения	Содержание изменений и дополнений	Дата и № протокола заседания кафедры	Подпись зав. кафедрой