


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

Кафедра №13

«УТВЕРЖДАЮ»
Руководитель направления
доц., к.т.н., доц.
(должность, уч. степень,
звание)


В.К. Пономарев
(подпись)
«14» июня 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Проектирование микромеханических инерциальных
чувствительных элементов»
(Название дисциплины)

Код направления	24.04.02
Наименование направления	Системы управления движением и навигация
Наименование направленности	Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации
Форма обучения	очная

Санкт-Петербург 2022г.

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил(а)

доц., к.т.н., доц.
должность, уч. степень, звание


подпись, дата

Н.А. Овчинников
инициалы, фамилия

Программа одобрена на заседании кафедры № 13
«14» июня 2022 г, протокол № 10

Заведующий кафедрой № 13

доц., к.т.н., доц.
должность, уч. степень, звание


подпись, дата

Н.А. Овчинникова
инициалы, фамилия

Ответственный за ОП 24.04.02(01)

доц., к.т.н., доц.
должность, уч. степень, звание


подпись, дата

В.К. Пономарев
инициалы, фамилия

Заместитель директора института (факультета) № 1 по методической работе

Ст. преподаватель
должность, уч. степень, звание


подпись, дата

В.Е. Таратун
инициалы, фамилия

Аннотация

Дисциплина «Проектирование микромеханических инерциальных чувствительных элементов» входит в образовательную программу высшего образования по направлению подготовки/ специальности 24.04.02 «Системы управления движением и навигация» направленности «Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации». Дисциплина реализуется кафедрой «№13».

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

ПК-1 «Способен формировать новые направления научных исследований и опытно- конструкторских разработок».

Целью дисциплины «Проектирование микромеханических инерциальных чувствительных элементов» является получения студентами необходимых навыков в принципах построения, проектирования и изготовления микромеханических гироскопов и акселерометров (ММГ и ММА), которые образуют новый класс инерциальных чувствительных элементов, обладающих уникальными массогабаритными и стоимостными характеристиками, а также ознакомление с областями их применения и перспективы развития.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, лабораторные работы, практические занятия, самостоятельная работа студента, консультации, курсовое проектирование.

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

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет базисных единиц, 216 часов.

Язык обучения по дисциплине «русский».

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

1.1. Цели преподавания дисциплины

Целью дисциплины «Проектирование микромеханических инерциальных чувствительных элементов» является получения студентами необходимых навыков в принципах построения, проектирования и изготовления микромеханических гироскопов и акселерометров (ММГ и ММА), которые образуют новый класс инерциальных чувствительных элементов, обладающих уникальными массогабаритными и стоимостными характеристиками, а также ознакомление с областями их применения и перспективы развития.

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 образовательной программы

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-1 Способен формировать новые направления научных исследований и опытно-конструкторских разработок	ПК-1.3.1 знать современные тенденции развития приборов и систем ориентации, стабилизации и навигации летательных аппаратов и техники в целом ПК-1.У.1 уметь на основе новых знаний формировать новые направления научных исследований и опытно-конструкторских разработок ПК-1.В.1 владеть современными методами аналитического анализа, математического и имитационного моделирования, постановки экспериментальных исследований

2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина базируется на знаниях, ранее приобретенных студентами при изучении следующих дисциплин:

- Введение в специальность;
- Математика;
- Теоретическая механика;
- Физика;
- Теоретические основы электротехники и электроники;
- Технология приборостроения;
- Гироскопические приборы и системы.

Знания, полученные при изучении материала данной дисциплины, имеют как самостоятельное значение, так и используются при подготовке выпускной квалификационной работы магистра.

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
		№3
1	2	3
Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час)	6/ 216	6/ 216
Из них часов практической подготовки	51	51
Аудиторные занятия, всего час.	85	85
в том числе:		
лекции (Л), (час)	34	34
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)	17	17
лабораторные работы (ЛР), (час)	17	17
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)	17	17
экзамен, (час)	45	45
Самостоятельная работа, всего (час)	86	86
Вид промежуточной аттестации: зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.**)	Экз.	Экз.

4. Содержание дисциплины

4.1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий

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

Таблица 3 – Разделы, темы дисциплины и их трудоемкость

Разделы, темы дисциплины	Лекции (час)	ПЗ (СЗ) (час)	ЛР (час)	КП (час)	СРС (час)
Семестр 3					

<p>Раздел 1. Теоретические основы микромеханических гироскопов (ММГ) и акселерометров (ММА)</p> <p>Тема 1.1 Основные структуры и модели динамики ММГ LL, RR и R типов</p> <p>Тема 1.2. Основные схемы и принципы функционирования ММГ</p> <p>Тема 1.3 Основные схемы и принципы функционирования микромеханических акселерометров</p> <p>Тема 1.4 Статика и динамика ММГ и ММА.</p> <p>Тема 1.5 Основные технологические процессы производства ММГ и ММА</p>	8	10	13		20
<p>Раздел 2. Расчет и проектирование элементов ММГ и ММА.</p> <p>Тема 2.1. Выбор конструкции и расчет механических характеристик чувствительного элемента ММГ и ММА.</p> <p>Тема 2.2. Проектирование датчиков измерения механических колебаний чувствительного элемента и приложения управляющих воздействий.</p>	12	2	2		22
<p>Раздел 3. Схемотехническое проектирование электронных модулей ММГ и ММА.</p> <p>Тема 3.1. Проектирование системы возбуждения первичных колебаний.</p> <p>Тема 3.2. Проектирование системы формирования выходного сигнала.</p>	10	2	2		22
<p>Раздел 4. Методики экспериментальных исследований характеристик ММГ и ММА.</p>	4	3			22
<p>Выполнение курсовой работы</p>				17	
<p>Итого:</p>	34	17	17	17	86
<p>Итого в семестре:</p>	34	17	17	17	86

4.2. Содержание разделов и тем лекционных занятий

Содержание разделов и тем лекционных занятий приведено в таблице 4.

Таблица 4 - Содержание разделов и тем лекционных занятий

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий
1	<p>Раздел 1. Теоретические основы микромеханических гироскопов (ММГ) и акселерометров (ММА)</p> <p>Тема 1.1 Основные структуры и модели динамики ММГ LL, RR и R типов. Динамика взаимодействия первичных и вторичных колебаний ММГ LL и RR типов. Волновые твердотельные гироскопы (ММГ R -типа).</p> <p>Тема 1.2. Основные схемы и принципы функционирования ММГ.</p> <p>Структурные схемы, передаточные функции, масштабные коэффициенты преобразования ММГ LL, RR и R типов. Основные погрешности ММГ.</p> <p>Тема 1.3. Основные схемы и принципы функционирования микромеханических акселерометров (ММА).</p> <p>Классификация ММА (одномерные и двумерные, осевые и маятниковые, прямого преобразования и компенсационного типа).</p> <p>Тема 1.4 Статика и динамика ММГ и ММА.</p> <p>Модели динамики, структурные схемы, передаточные функции, масштабные коэффициенты преобразования, рабочая полоса частот, основные погрешности ММГ и ММА.</p> <p>Тема 1.5. Основные технологические процессы производства ММГ и ММА.</p> <p>Обобщенный технологический процесс производства ММГ и ММА. Основные технологические операции производства, включающие: литографию, получение слоев различных материалов, травление, микросборочные операции, испытание изделий.</p>
2	<p>Раздел 2. Расчет и проектирование элементов ММГ и ММА.</p> <p>Тема 2.1. Выбор конструкции и расчет механических характеристик чувствительного элемента ММГ и ММА.</p> <p>Проектирование конструкции механического модуля ММГ и ММА. Выбор конструкционного материала. Вычисление массы и моментов инерции чувствительного элемента. Вычисление сил и моментов диссипации. Расчет собственных частот колебаний чувствительного элемента. Использование программы Ansis для определения механических характеристик системы «чувствительный элемент – упругий подвес».</p> <p>Тема 2.2. Проектирование датчиков измерения механических колебаний чувствительного элемента и приложения</p>

	<p>управляющих воздействий.</p> <p>Проектирование конструкций емкостных датчиков колебаний чувствительного элемента и расчет его электрических характеристик. Выбор схемы преобразователя «емкость – напряжение» с одиночными датчиками и датчиками дифференциального типа. Расчет характеристик преобразователя. Проектирование электростатических датчиков управляющих сил и моментов, расчет энергетических характеристик.</p>
3	<p>Раздел 3. Схемотехническое проектирование электронных модулей ММГ и ММА.</p> <p>Тема 3.1. Проектирование системы возбуждения первичных колебаний.</p> <p>Формирование контура возбуждения по схеме автогенератора и расчет его основных характеристик. Проектирование системы возбуждения с использованием задающего генератора. Формирование контура фазовой подстройки частоты колебаний. Проектирование системы стабилизации амплитуды первичных колебаний. Синтез регулятора системы стабилизации амплитуды при управлении амплитудой импульсов возбуждения. Проектирование регулятора с широтно-импульсной модуляцией управляющих импульсов.</p> <p>Тема 3.2. Проектирование системы формирования выходного сигнала.</p> <p>Проектирование функциональной схемы формирования выходного сигнала ММГ и ММА в приборах прямого измерения. Электрический расчет схемы и определение основных метрологических характеристик. Анализ и выбор способа и схемы управления расстройкой частот первичных и вторичных колебаний. Реализация компенсационной схемы формирования выходного сигнала. Выбор параметров контура компенсации. Использование программ MathCAD и MATLAB для анализа и верификации проекта.</p>
4	<p>Раздел 4. Методики экспериментальных исследований характеристик ММГ и ММА.</p> <p>Цели и задачи лабораторных и натурных экспериментов. Технологическое и специальное оборудование для производства испытаний. Автоматизация экспериментальных исследований. Методы обработки данных эксперимента. Оценка случайных погрешностей выходного сигнала ММГ и ММА методом вариации Алана.</p>

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий
1	<p>Раздел 1. Теоретические основы микромеханических гироскопов (ММГ) и акселерометров (ММА)</p> <p>Тема 1.1 Основные структуры и модели динамики ММГ LL, RR и R типов. Динамика взаимодействия первичных и вторичных колебаний ММГ LL и RR типов. Волновые твердотельные гироскопы (ММГ R -типа).</p> <p>Тема 1.2. Основные схемы и принципы функционирования ММГ.</p> <p>Структурные схемы, передаточные функции, масштабные коэффициенты преобразования ММГ LL, RR и R типов. Основные погрешности ММГ.</p> <p>Тема 1.3. Основные схемы и принципы функционирования микромеханических акселерометров (ММА).</p> <p>Классификация ММА (одномерные и двумерные, осевые и маятниковые, прямого преобразования и компенсационного типа).</p> <p>Тема 1.4 Статика и динамика ММГ и ММА.</p> <p>Модели динамики, структурные схемы, передаточные функции, масштабные коэффициенты преобразования, рабочая полоса частот, основные погрешности ММГ и ММА.</p> <p>Тема 1.5. Основные технологические процессы производства ММГ и ММА.</p> <p>Обобщенный технологический процесс производства ММГ и ММА. Основные технологические операции производства, включающие: литографию, получение слоев различных материалов, травление, микросборочные операции, испытание изделий.</p>
2	<p>Раздел 2. Расчет и проектирование элементов ММГ и ММА.</p> <p>Тема 2.1. Выбор конструкции и расчет механических характеристик чувствительного элемента ММГ и ММА.</p> <p>Проектирование конструкции механического модуля ММГ и ММА. Выбор конструкционного материала. Вычисление массы и моментов инерции чувствительного элемента. Вычисление сил и моментов диссипации. Расчет собственных частот колебаний чувствительного элемента. Использование программы Ansis для определения механических характеристик системы «чувствительный элемент – упругий подвес».</p> <p>Тема 2.2. Проектирование датчиков измерения механических колебаний чувствительного элемента и приложения управляющих воздействий.</p> <p>Проектирование конструкций емкостных датчиков колебаний чувствительного элемента и расчет его электрических</p>

	<p>характеристик. Выбор схемы преобразователя «емкость – напряжение» с одиночными датчиками и датчиками дифференциального типа. Расчет характеристик преобразователя. Проектирование электростатических датчиков управляющих сил и моментов, расчет энергетических характеристик.</p>
3	<p>Раздел 3. Схемотехническое проектирование электронных модулей ММГ и ММА.</p> <p>Тема 3.1. Проектирование системы возбуждения первичных колебаний.</p> <p>Формирование контура возбуждения по схеме автогенератора и расчет его основных характеристик. Проектирование системы возбуждения с использованием задающего генератора. Формирование контура фазовой подстройки частоты колебаний. Проектирование системы стабилизации амплитуды первичных колебаний. Синтез регулятора системы стабилизации амплитуды при управлении амплитудой импульсов возбуждения. Проектирование регулятора с широтно-импульсной модуляцией управляющих импульсов.</p> <p>Тема 3.2. Проектирование системы формирования выходного сигнала.</p> <p>Проектирование функциональной схемы формирования выходного сигнала ММГ и ММА в приборах прямого измерения. Электрический расчет схемы и определение основных метрологических характеристик. Анализ и выбор способа и схемы управления расстройкой частот первичных и вторичных колебаний. Реализация компенсационной схемы формирования выходного сигнала. Выбор параметров контура компенсации. Использование программ MathCAD и MATLAB для анализа и верификации проекта.</p>
4	<p>Раздел 4. Методики экспериментальных исследований характеристик ММГ и ММА.</p> <p>Цели и задачи лабораторных и натурных экспериментов. Технологическое и специальное оборудование для производства испытаний. Автоматизация экспериментальных исследований. Методы обработки данных эксперимента. Оценка случайных погрешностей выходного сигнала ММГ и ММА методом вариации Алана.</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)	№ раздела дисциплины
Семестр 3				
1	Расчет масштабных коэффициентов преобразования ММГ RR- типа	Решение задач	2	1
2	Расчет масштабных коэффициентов преобразования ММГ LL- типа	Решение задач	3	1
3	Оценка инструментальных погрешностей ММГ	Решение задач	2	1
4	Расчет параметров осевого ММА прямого преобразования	Решение задач	2	2
5	Расчет масштабного коэффициента преобразования ММА компенсационного типа	Решение задач	3	2
6	Расчет параметров системы автогенераторного возбуждения ММГ RR типа	Решение задач	3	3
7	Расчет системы управления частотой расстройки ММГ	Решение задач	2	3
Всего:			17	

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)	№ раздела дисциплины
Семестр 3			
1	Экспериментальное исследование ММГ LL – типа	3	1
2	Моделирование измерительного канала ММГ RR – типа	2	3
3	Моделирование динамики ММГ R – типа	2	3
4	Экспериментальное исследование двумерного ММА осевого типа	4	1
5	Моделирование системы возбуждения ММГ	3	3
6	Обработка экспериментальных данных	3	3
Всего:		17	

4.5. Курсовое проектирование (работа)

Целью курсового проекта является привитие у студентов навыков общего подхода к задачам проектирования микромеханических инерциальных чувствительных элементов, а также навыков самостоятельной инженерной работы при решении конкретных задач по их разработке и эксплуатации.

Примерные темы заданий на курсовую работу приведены в разделе 10 РПД.

4.6. Самостоятельная работа студентов

Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

Вид самостоятельной работы	Всего, час	Семестр 3, час
1	2	3
Самостоятельная работа, всего	86	86
изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	46	46
курсовое проектирование (КП, КР)	30	30
выполнение реферата (Р)		
Подготовка к текущему контролю (ТК)	10	10
домашнее задание (ДЗ)		
контрольные работы заочников (КРЗ)		

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы студентов 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	Библиографическая ссылка / URL адрес	Количество экземпляров в библиотеке
681.2 Р 24	Распопов В.Я. Микромеханические приборы. Тула, 2002, 367 с.	6
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

681.2 P24	Приборы первичной информации : Микромеханические приборы [Текст] : учебное пособие / В. Я. Распопов ; Тул. гос. ун-т. - Тула : [б. и.], 2002. - 390 с.	6
681.58 М 52	Меркурьев И.В., Подалков В.В. Динамика микромеханического и волнового твердотельного гироскопа.- М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.–228 с.	6
531 Л 84	Прикладная теория гироскопов [Текст] : учебник / Д. П. Лукьянов, В. Я. Распопов, Ю. В. Филатов ; Концерн "ЦНИИ "Электроприбор". - СПб. : Изд-во ЦНИИ "Электроприбор", 2015. - 316 с.	35
	Евстифеев М.И., Панферов А.И., Пономарев В.К., Северов Л.А., Скорина С.Ф. Микромеханические инерциальные чувствительные элементы. Микромеханические гироскопы. – СПб, ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», ГУАП, 2007, 87 с. Электронное учебное пособие. Ресурс кафедры.	
	Лукьянов Д.П. Микромеханические акселерометры и микропроцессоры на ПАВ. – СПб, ГЭУ «ЛЭТИ», ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2005, 92 с. Электронное учебное пособие. Ресурс кафедры.	
	Б. Варадан, К. Виной, К. Джоли. ВЧ МЭМС и их применение. – М: Техносферы, 2004. booksgid.com/...vch-mjems-i-ikh-primeneniye.html padabum.com/d.php?id=53300	
629.7 С28	Северов Л.А. Механика гироскопических систем: Учебное пособие. – М.: МАИ (ТУ), 1996. – 212 с.	45

7. Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети ИНТЕРНЕТ

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети ИНТЕРНЕТ, необходимых для освоения дисциплины приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети ИНТЕРНЕТ, необходимых для освоения дисциплины

URL адрес	Наименование

8. Перечень информационных технологий

8.1.Перечень программного обеспечения

Перечень используемого программного обеспечения представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование
1	MATLAB
2	ANSIS

8.2. Перечень информационно-справочных систем

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 представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории
2	Мультимедийная лекционная аудитория	Б.М. а. 13-04
5	Специализированная лаборатория «Микромеханических инерциальных чувствительных элементов»	Б.М. а. 13-03а
6	Стенд	

10. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

10.1. Состав оценочных средств приведен в таблице 13

Таблица 13 - Состав фонда оценочных средств для промежуточной аттестации

Вид промежуточной аттестации	Примерный перечень оценочных средств
Экзамен	Список вопросов к экзамену; Тесты.
Выполнение курсовой работы	Экспертная оценка на основе требований к содержанию курсовой работы по дисциплине.

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	Характеристика сформированных компетенций
5-балльная шкала	
«отлично» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> – обучающийся глубоко и всесторонне усвоил программный материал; – уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает; – опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно привязывает усвоенные научные положения с практической деятельностью направления; – умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи; – делает выводы и обобщения; – свободно владеет системой специализированных понятий.

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

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	Классификация ММГ и ММА.	ПК-1.3.1
2	Принцип действия ММГ различных типов.	ПК-1.3.1
3	Модификации и принцип действия ММА.	ПК-1.3.1
4	Математическая модель динамики движения чувствительного элемента ММГ LL-типа.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
5	Математическая модель динамики движения чувствительного элемента ММГ RR-типа.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
6	Установившейся режим работы ММГ. Связь параметров колебаний с физическими параметрами чувствительного	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1,

	элемента.	ПК-1.В.1
7	Частотные характеристики ММГ и рабочая полоса частот.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
8	Связь амплитудных и фазовых соотношений вторичных колебаний ММГ в установившемся режиме.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
9	Статические и динамические характеристики ММА.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
10	Источники ошибок в ММГ и ММА.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
11	Аналитические методы расчета механических характеристик ММГ и ММА.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
12	Принцип действия емкостных датчиков перемещений чувствительного элемента в ММГ и ММА. Основные соотношения. Вопросы проектирования.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
13	Электростатические датчики управляющей силы и момента. Расчет энергетических характеристик и линейности преобразования.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
14	Преобразователи «емкость - напряжение». Виды преобразователей и расчетные соотношения.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
15	Структуры систем автогенераторного возбуждения первичных колебаний в ММГ. Расчет параметров установившихся колебаний.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
16	Структура и принцип работы системы возбуждения первичных колебаний в ММГ с опорным генератором.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
17	Формирование контура фазовой подстройки частоты опорного генератора. Выбор параметров контура.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
18	Принципы формирования выходного сигнала в ММГ и ММА в приборах прямого измерения. Схемотехника измерительного канала.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
19	Формирования выходного сигнала в ММГ и ММА в приборах компенсационного типа.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
20	Стабилизация амплитуды первичных колебаний ММГ управлением амплитудой импульсов возбуждения.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1,

		ПК-1.В.1
21	Стабилизация амплитуды первичных колебаний ММГ управлением длительностью импульсов возбуждения.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
22	Сопряжение частот первичных и вторичных колебаний . Схемотехника и варианты решения задачи.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
23	Основные технологические процессы производства ММГ и ММА.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
24	Методики экспериментальных исследований характеристик ММГ и ММА.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
25	Технологическое и специальное оборудование для производства испытаний.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
26	Автоматизация экспериментальных исследований. Методы обработки данных эксперимента.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1
27	Оценка случайных погрешностей выходного сигнала ММГ и ММА методом вариации Алана.	ПК-1.3.1, ПК-1.У.1, ПК-1.В.1

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

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

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для зачета / дифференцированного зачета
	Учебным планом не предусмотрено

Темы и задание для выполнения курсовой работы / выполнения курсового проекта представлены в таблице 17.

Таблица 17– Примерный перечень тем для выполнения курсовой работы / выполнения курсового проекта

№ п/п	Примерный перечень тем для выполнения курсовой работы / выполнения курсового проекта
1	Исследование динамики ММГ RR-типа
2	Исследование динамики ММГ LL-типа
3	Разработка математической модели и исследование колебаний резонатора в микромеханическом волновом гироскопе
4	Проектирование системы автогенераторного возбуждения ММГ
5	Проектирование системы возбуждения ММГ с опорным генератором
6	Проектирование измерительного канала прибора прямого измерения
7	Проектирование измерительного канала прибора компенсационного типа

8	Экспериментальное исследование метрологических характеристик ММА
9	Экспериментальное исследование метрологических характеристик ММГ

Вопросы для проведения промежуточной аттестации при тестировании представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Примерный перечень вопросов для тестов

№ п/п	Примерный перечень вопросов для тестов
	Не предусмотрено

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.

Планируемы результаты при освоении обучающимся 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:

- ознакомление студентов с физическими законами и принципами функционирования микромеханических гироскопов и акселерометров;
- изложение методов математического описания динамики движения микромеханических гироскопов и акселерометров различных типов и оценки их метрологических характеристик;
- ознакомление с методами возбуждения и стабилизации колебаний механических масс микромеханических гироскопов;
- изложение способов регистрации движения чувствительных масс в микромеханических гироскопах и акселерометрах и первичной обработки измерений;
- ознакомление с вопросами проектирования отдельных функциональных узлов микрогироскопов и акселерометров и – приборов в целом;
- изложение методов и способов формирования обратных связей в микромеханических гироскопах и акселерометрах компенсационного типа;
- ознакомление со средствами автоматизации исследования и проектирования МЭМС;
- ознакомление с вопросами технологии изготовления микромеханических приборов и устройств;
- изучение факторов, определяющих погрешности микромеханических гироскопов и акселерометров и способов их компенсации.

11.2.Методические указания для обучающихся по прохождению практических занятий

Практическое занятие является одной из основных форм организации учебного процесса, заключающаяся в выполнении обучающимися под руководством преподавателя комплекса учебных заданий с целью усвоения научно-теоретических основ учебной дисциплины, приобретения умений и навыков, опыта творческой деятельности.

Целью практического занятия для обучающегося является привитие обучающемуся умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Планируемые результаты при освоении обучающимся практических занятий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Функции практических занятий:

- познавательная;
- развивающая;
- воспитательная.

По характеру выполняемых обучающимся заданий по практическим занятиям подразделяются на:

- ознакомительные, проводимые с целью закрепления и конкретизации изученного теоретического материала;
- аналитические, ставящие своей целью получение новой информации на основе формализованных методов;
- творческие, связанные с получением новой информации путем самостоятельно выбранных подходов к решению задач.

Формы организации практических занятий определяются в соответствии со специфическими особенностями учебной дисциплины и целями обучения.

Требования к проведению практических занятий

При проведении практических занятий преподаватель должен придерживаться следующего плана:

- изложить суть практического занятия и методику его выполнения;
- выдать индивидуальное задание каждому студенту группы;
- контролировать активность студентов в процессе выполнения задания;
- проверить результат выполнения задания и оценить полноту и качество выполнения по 100 бальной шкале рейтинга;
- отметить в журнале посещения персональное присутствие студентов;
- провести консультации по пропущенным темам практических занятий;
- проверить результаты самостоятельного освоения материала по пропущенным темам.

11.3. Методические указания для обучающихся по прохождению 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 у 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

Студенты разбиваются на подгруппы, по 3-4 человека. Перед проведением лабораторной работы обучающемуся следует внимательно ознакомиться с методическими указаниями по ее выполнению. В соответствии с заданием обучающиеся должны подготовить необходимые данные, получить от преподавателя допуск к выполнению лабораторной работы, выполнить указанную последовательность действий, получить требуемые результаты, оформить и защитить отчет по лабораторной работе.

Структура и форма отчета о лабораторной работе

Отчет о лабораторной работе должен включать в себя: титульный лист, формулировку задания, теоретические положения, используемые при выполнении лабораторной работы, описание процесса выполнения лабораторной работы, полученные результаты и выводы.

Требования к оформлению отчета о лабораторной работе

По каждой лабораторной работе выполняется отдельный отчет. Титульный лист оформляется в соответствии с шаблоном (образцом) приведенным на сайте ГУАП (www.guar.ru) в разделе «Сектор нормативной документации». Текстовые и графические материалы оформляются в соответствии с действующими ГОСТами и требованиями, приведенными на сайте ГУАП (www.guar.ru) в разделе «Сектор нормативной документации».

11.4. Методические указания для обучающихся по прохождению курсового проектирования/ работы

Курсовой проект/ работа проводится с целью формирования у обучающихся опыта комплексного решения конкретных задач профессиональной деятельности.

Курсовой проект/ работа позволяет обучающемуся:

- систематизировать и закрепить полученные теоретические знания и практические умения по профессиональным учебным дисциплинам и модулям в соответствии с требованиями к уровню подготовки, установленными программой учебной дисциплины, программой подготовки специалиста соответствующего уровня, квалификации;
- применить полученные знания, умения и практический опыт при решении комплексных задач, в соответствии с основными видами профессиональной деятельности по направлению/ специальности/ программе;
- углубить теоретические знания в соответствии с заданной темой;
- сформировать умения применять теоретические знания при решении нестандартных задач;
- приобрести опыт аналитической, расчётной, конструкторской работы и сформировать соответствующие умения;
- сформировать умения работы со специальной литературой, справочной, нормативной и правовой документацией и иными информационными источниками;
- сформировать умения формулировать логически обоснованные выводы, предложения и рекомендации по результатам выполнения работы;
- развить профессиональную письменную и устную речь обучающегося;
- развить системное мышление, творческую инициативу, самостоятельность, организованность и ответственность за принимаемые решения;
- сформировать навыки планомерной регулярной работы над решением поставленных задач.

Структура пояснительной записки курсовой работы / проекта

В соответствии с содержанием разделов программы № 1, № 2 содержание курсового проекта связано с расчетом, проектированием и моделированием микромеханических гироскопов и акселерометров.

1. Исходные данные на курсовой проект.
2. Схема и принцип действия проектируемого прибора.
3. Структурная схема, уравнения динамики, динамические характеристики проектируемого прибора.

4. Результаты проектирования по заданной теме.
5. Моделирование динамики с помощью программного обеспечения.
6. Оценка погрешностей.

Требования к оформлению пояснительной записки курсовой работы / проекта

Титульный лист оформляется в соответствии с шаблоном (образцом) приведенным на сайте ГУАП (www.guap.ru) в разделе «Сектор нормативной документации». Текстовые и графические материалы оформляются в соответствии с действующими ГОСТами и требованиями, приведенными на сайте ГУАП (www.guap.ru) в разделе «Сектор нормативной документации».

11.5. 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 является учебно-методический материал по дисциплине.

11.6. 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».

11.7. Методические указания для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация обучающихся предусматривает оценивание промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине в форме экзамена.

Система оценок и требования к методам проведения промежуточной аттестации осуществляется в соответствии с требованиями Положений «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».

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