

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

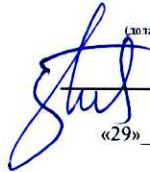
Кафедра №13

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель направления

доц., к.т.н., доц.

(должность, уч. степень, звание)



В.К. Пономарев

(подпись)

«29» 05 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Микромеханические приборы и устройства»
 (Название дисциплины)

Код направления	24.05.06
Наименование направления	Системы управления летательными аппаратами
Наименование направленности	Приборы систем управления летательных аппаратов
Форма обучения	очная

Санкт-Петербург 2023 г.

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил(а)

доц., к.т.н.

должность, уч. степень, звание



Н.А. Овчинникова

инициалы, фамилия

Программа одобрена на заседании кафедры № 13

«29» 05 2023 г., протокол № 9

Заведующий кафедрой № 13

к.т.н., доц.

должность, уч. степень, звание



Н.А. Овчинникова

инициалы, фамилия

Ответственный за ОП 24.05.06(01)

доц., к.т.н., доц.

должность, уч. степень, звание



В.К. Пономарев

инициалы, фамилия

Заместитель директора института (факультета) № 1 по методической работе

Ст. преподаватель

должность, уч. степень, звание



В.Е. Таратун

инициалы, фамилия

Аннотация

Дисциплина «Микромеханические приборы и устройства» входит в вариативную часть образовательной программы подготовки студентов по направлению «24.05.06 «Системы управления летательными аппаратами» направленность «Приборы систем управления летательных аппаратов». Дисциплина реализуется кафедрой №13.

Целью дисциплины «Микромеханические приборы и устройства» является изучение принципов построения, проектирования и изготовления микромеханических приборов и устройств, обладающих уникальными массогабаритными и стоимостными характеристиками, ознакомление с областями их применения и перспективами развития.

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 изучением принципа действия и проведением расчетов микромеханических инерциальных чувствительных элементов.

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

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

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 5 зачетных единицы, 180 часов.

Язык обучения по дисциплине «русский».

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

1.1. Цели преподавания дисциплины

Целью дисциплины «Микромеханические приборы и устройства» является изучение принципов построения, проектирования и изготовления микромеханических приборов и устройств, образующих новый класс инерциальных чувствительных элементов, обладающих уникальными массогабаритными и стоимостными характеристиками, ознакомление с областями их применения и перспективы развития.

1.2. Дисциплина входит в состав части, формируемой участниками образовательных отношений, образовательной программы высшего образования

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.

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	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

	промышленности с заданными техническими требованиями	
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 базируется на знаниях, ранее приобретенных студентами при изучении следующих дисциплин:

- Введение в специальность;
- Математика;
- Теоретическая механика;
- Физика;
- Электроника;
- Технология приборостроения;
- Гироскопические приборы и системы.
- Основы моделирования приборов и систем.

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

3. Объем дисциплины в ЗЕ/академ. час

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
Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/(час)	5/ 180	5/ 180
<i>Из них часов практической подготовки</i>	34	34
<i>Аудиторные занятия, всего час., В том числе</i>	68	68
лекции (Л), (час)	34	34
Практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)		

лабораторные работы (ЛР), (час)	34	34
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)		
Экзамен, (час)	36	36
<i>Самостоятельная работа</i> , всего , (час)	76	76
Вид промежуточной аттестации	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 (час)	ЛР (час)	КП (час)	СРС (час)
Семестр 9					
Раздел 1. Микромеханические датчики и актуаторы Тема 1.1. Датчики давления Тема 1.2 МЕМС - датчики магнитного поля Тема 1.3 МЕМС – актуаторы	4				10
Раздел 2. Теоретические основы микромеханических гироскопов (ММГ) и акселерометров (ММА) Тема 2.1 Основные структуры и модели динамики ММГ LL, RR и R типов Тема 2.2. Основные схемы и принципы функционирования ММГ Тема 2.3 Основные схемы и принципы функционирования микромеханических акселерометров Тема 2.4 Статика и динамика ММГ и ММА. Тема 2.5 Основные технологические процессы производства ММГ и ММА	8		12		20
Раздел 3. Микромеханические инерциальные модули и системы ориентации и навигации Тема 3.1 Микромеханические	8		6		20

инерциальные модули Тема 3.2 Микромеханические системы ориентации и навигации					
Раздел 4. Элементная база и основы технологии производства ММГ и ММА Тема 4.1 Элементная база ММГ и ММА Тема 4.2 Характеристики материалов используемых при производстве ММГ и ММА Тема 4.3 Основные технологические процессы производства ММГ и ММА	10		12		16
Раздел 5. Методики экспериментальных исследований характеристик ММГ и ММА.	4		4		10
Итого в семестре:	34		34		76
Итого:	34	0	34	0	76

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. Микромеханические датчики и актуаторы</p> <p>Тема 1.1. Датчики давления</p> <p>Датчики давления прямого преобразования. Анизотропия электрического сопротивления полупроводниковых тензорезисторов. Топология тензорезисторов. Чувствительность тензорезистивных схем. Демпфирование колебаний. Динамика колебаний и передаточные функции. Датчики давления компенсационного типа. Датчики с электростатической обратной связью. Датчики с магнитоэлектрической обратной связью.</p> <p>Тема 1.2 МЕМС - датчики магнитного поля</p> <p>Свойства проводимости металлических пленок. Топология магниторезисторов. Чувствительность магниторезисторов. Схемотехника преобразователей. 3 – осевые магнитометры. Преобразование базисов магнитных измерений. МЕМС – компасы.</p> <p>Тема 1.3 МЕМС – актуаторы</p> <p>Назначение. Область применения. Цифровое микрозеркальное устройство (DMD). Принцип действия, топология. DLP – проекторы. Пьезоструйные актуаторы для принтеров. Микромеханические переключатели. Микротранспортеры. Микротурбины. Микроинструменты для глазной хирургии.</p>

2	<p>Раздел 2. Теоретические основы микромеханических гироскопов (ММГ) и акселерометров (ММА)</p> <p>Тема 2.1 Основные структуры и модели динамики ММГ LL, RR и R типов.</p> <p>Динамика взаимодействия первичных и вторичных колебаний ММГ LL и RR типов. Волновые твердотельные гироскопы (ММГ R -типа).</p> <p>Тема 2.2. 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 2.3. 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 2.4 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 2.5. 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>
3	<p>Раздел 3. Микромеханические инерциальные модули и системы ориентации и навигации</p> <p>Тема 3.1 Микромеханические инерциальные модули. Назначение, функциональность, основные элементы, основные характеристики.</p> <p>Тема 3.2 Микромеханические системы ориентации и навигации. Назначение, функциональность, принцип построения, основные характеристики.</p>
4	<p>Раздел 4. Элементная база и основы технологии производства ММГ и ММА</p> <p>Тема 4.1 Электростатические датчики сил и моментов, емкостные и тензометрические преобразователи микроперемещений, элементы упругих подвесов чувствительных элементов, системы возбуждения ММГ.</p> <p>Тема 4.2 Физико-химические свойства кремния, как основного конструкционного материала для изготовления чувствительных элементов ММГ и ММА. Материалы .</p> <p>Тема 4.3 Обобщенный технологический процесс производства ММГ и ММА.</p> <p>Основные технологические операции производства, включающие: литографию, получение слоев различных материалов, травление, микросборочные операции, испытание изделий.</p>

5	<p>Раздел 5. 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
Учебным планом не предусмотрено				

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 9			
1	Исследование МЕМС – датчика давления	4	1
2	Исследование МЕМС – компаса	4	1
4	Исследование статистических характеристик ММГ LL – типа	8	2
9	Исследование статистических характеристик двумерного ММА осевого типа	8	4
11	Моделирование системы возбуждения ММГ	8	4
	Зачетное занятие	2	
Всего		34	

4.5. Курсовое проектирование (работа)

Учебным планом не предусмотрено

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 9, час
1	2	3
Самостоятельная работа, всего	76	76

изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	40	40
курсовое проектирование (КП, КР)		
подготовка отчетов по лабораторным работам	20	20
выполнение реферата (Р)		
Подготовка к текущему контролю (ТК)	16	16
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. 8-10.

6. Перечень печатных и электронных учебных изданий

Перечень основной литературы 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 М59	Микросистемы ориентации беспилотных летательных аппаратов [Текст] / Р. В. Алалуев [и др.] ; ред. В. Я. Распопов. - М. : Машиностроение, 2011. - 184 с.	6
681.2 Р24	Приборы первичной информации : Микромеханические приборы [Текст] : учебное пособие / В. Я. Распопов ; Тул. гос. ун-т. - Тула : [б. и.], 2002. - 390 с.	6
681.58 М52	Меркурьев И.В., Подалков В.В. Динамика микромеханического и волнового твердотельного гироскопа.- М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.–228 с.	6
531 Л84	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
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 электронных образовательных 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
3dnews.ru/600098	Алексей Дрожжин. MEMS: Микроэлектромеханические системы.

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
	ПО Матлаб

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 вращения одноосный	

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

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.
«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 (таблица 15)

Таблица 15 – Вопросы (задачи) для экзамена

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена	Код индикатора
1	Классификация ММГ и ММА.	ПК-2.3.1
2	Принцип действия ММГ различных типов.	ПК-2.3.1

3	Модификации и принцип действия ММА.	ПК-2.3.1
4	Математическая модель динамики движения чувствительного элемента ММГ LL-типа.	ПК-2.3.1
5	Математическая модель динамики движения чувствительного элемента ММГ RR-типа.	ПК-2.3.1
6	Установившейся режим работы ММГ. Связь параметров колебаний с физическими параметрами чувствительного элемента.	ПК-2.3.1,
7	Частотные характеристики ММГ и рабочая полоса частот.	ПК-2.3.1,
8	Связь амплитудных и фазовых соотношений вторичных колебаний ММГ в установившемся режиме.	ПК-2.3.1,
9	Статические и динамические характеристики ММА.	ПК-2.3.1, ПК-4.У.1, ПК-4.У.2, ПК-4.В.1, ПК-8.В.1
10	Источники ошибок в ММГ и ММА.	ПК-2.3.1,
11	Аналитические методы расчета механических характеристик ММГ и ММА.	ПК-2.3.1,
12	Принцип действия емкостных датчиков перемещений чувствительного элемента в ММГ и ММА. Основные соотношения. Вопросы проектирования.	ПК-2.3.1,
13	Электростатические датчики управляющей силы и момента. Расчет энергетических характеристик и линейности преобразования.	ПК-2.3.1,
14	Преобразователи «емкость - напряжение». Виды преобразователей и расчетные соотношения.	ПК-2.3.1,
15	Структуры систем автогенераторного возбуждения первичных колебаний в ММГ. Расчет параметров установившихся колебаний.	ПК-2.3.1,
16	Структура и принцип работы системы возбуждения первичных колебаний в ММГ с опорным генератором.	ПК-2.3.1,
17	Формирование контура фазовой подстройки частоты опорного генератора. Выбор параметров контура.	ПК-2.3.1,
18	Принципы формирования выходного сигнала в ММГ и ММА в приборах прямого измерения. Схемотехника измерительного канала.	ПК-2.3.1,
19	Формирования выходного сигнала в ММГ и ММА в приборах компенсационного типа.	ПК-2.3.1,
20	Стабилизация амплитуды первичных колебаний ММГ управлением амплитудой импульсов возбуждения.	ПК-2.3.1,
21	Стабилизация амплитуды первичных колебаний ММГ управлением длительностью импульсов возбуждения.	ПК-2.3.1,
22	Сопряжение частот первичных и вторичных колебаний. Схемотехника и варианты решения задачи.	ПК-2.3.1,

23	Основные технологические процессы производства ММГ и ММА.	ПК-2.3.1,
24	Методики экспериментальных исследований характеристик ММГ и ММА.	ПК-2.3.1, ПК-4.У.1, ПК-4.У.2, ПК-4.В.1, ПК-8.В.1
№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена	Код индикатора
1	Классификация ММГ и ММА.	ПК-2.3.1
2	Принцип действия ММГ различных типов.	ПК-2.3.1
3	Модификации и принцип действия ММА.	ПК-2.3.1
4	Математическая модель динамики движения чувствительного элемента ММГ LL-типа.	ПК-2.3.1
5	Математическая модель динамики движения чувствительного элемента ММГ RR-типа.	ПК-2.3.1
6	Установившейся режим работы ММГ. Связь параметров колебаний с физическими параметрами чувствительного элемента.	ПК-2.3.1,
7	Частотные характеристики ММГ и рабочая полоса частот.	ПК-2.3.1,
8	Связь амплитудных и фазовых соотношений вторичных колебаний ММГ в установившемся режиме.	ПК-2.3.1,
9	Статические и динамические характеристики ММА.	ПК-2.3.1, ПК-4.У.1, ПК-4.У.2, ПК-4.В.1, ПК-8.В.1
10	Источники ошибок в ММГ и ММА.	ПК-2.3.1,
11	Аналитические методы расчета механических характеристик ММГ и ММА.	ПК-2.3.1,
12	Принцип действия емкостных датчиков перемещений чувствительного элемента в ММГ и ММА. Основные соотношения. Вопросы проектирования.	ПК-2.3.1,
13	Электростатические датчики управляющей силы и момента. Расчет энергетических характеристик и линейности преобразования.	ПК-2.3.1,
14	Преобразователи «емкость - напряжение». Виды преобразователей и расчетные соотношения.	ПК-2.3.1,
15	Структуры систем автогенераторного возбуждения первичных колебаний в ММГ. Расчет параметров установившихся колебаний.	ПК-2.3.1,
16	Структура и принцип работы системы возбуждения первичных колебаний в ММГ с опорным генератором.	ПК-2.3.1,
17	Формирование контура фазовой подстройки частоты опорного генератора. Выбор параметров контура.	ПК-2.3.1,
18	Принципы формирования выходного сигнала в ММГ и ММА	ПК-2.3.1,

	в приборах прямого измерения. Схемотехника измерительного канала.	
19	Формирования выходного сигнала в ММГ и ММА в приборах компенсационного типа.	ПК-2.3.1,
20	Стабилизация амплитуды первичных колебаний ММГ управлением амплитудой импульсов возбуждения.	ПК-2.3.1,
21	Стабилизация амплитуды первичных колебаний ММГ управлением длительностью импульсов возбуждения.	ПК-2.3.1,
22	Сопряжение частот первичных и вторичных колебаний . Схемотехника и варианты решения задачи.	ПК-2.3.1,
23	Основные технологические процессы производства ММГ и ММА.	ПК-2.3.1,
24	Методики экспериментальных исследований характеристик ММГ и ММА.	ПК-2.3.1, ПК-4.У.1, ПК-4.У.2, ПК-4.В.1, ПК-8.В.1
25	Технологическое и специальное оборудование для производства испытаний.	ПК-2.3.1, ПК-4.У.1, ПК-4.У.2,
26	Автоматизация экспериментальных исследований. Методы обработки данных эксперимента.	ПК-2.3.1, ПК-4.У.1, ПК-4.У.2, ПК-4.В.1, ПК-8.В.1
27	Оценка случайных погрешностей выходного сигнала ММГ и ММА методом вариации Алана.	ПК-2.3.1, ПК-4.У.1, ПК-4.У.2, ПК-4.В.1, ПК-8.В.1
28	Датчики давления прямого преобразования.	ПК-2.3.1
29	Датчики давления компенсационного типа.	ПК-2.3.1
30	МЕМС - датчики магнитного поля.	ПК-2.3.1
31	Преобразование базисов магнитных измерений.	ПК-2.3.1
32	МЕМС – компасы.	ПК-2.3.1
33	Цифровое микрозеркальное устройство (DMD). DLP – проекторы.	ПК-2.3.1
34	Микротранспортеры. Микротурбины.	ПК-2.3.1

Вопросы (задачи) для зачета / дифференцированного зачета (таблица 16)

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

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

Темы и задание для выполнения курсовой работы / выполнения курсового проекта (таблица 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
	Учебным планом не предусмотрено

Вопросы для проведения промежуточной аттестации при тестировании (таблица 18)

Таблица 18 – Примерный перечень вопросов для тестов

№ п/п	Примерный перечень вопросов для тестов	Код индикатора
1	Назовите основные конструктивные элементы микромеханического гироскопа.	ПК-2.3.1
2	На измерении какого ускорения основан принцип работы микромеханического гироскопа?	ПК-2.3.1
3	Из каких элементов состоит чувствительный элемент микромеханического гироскопа?	ПК-2.3.1
4	Объясните принцип работы микромеханического гироскопа.	ПК-2.3.1
5	Объясните методы определения нелинейности.	ПК-2.3.1
6	Назовите области применения микромеханических акселерометров.	ПК-2.3.1
7	Объясните принцип работы микромеханического акселерометра.	ПК-2.3.1
8	Приведите классификацию измерительных преобразователей.	ПК-2.3.1
9	Перечислите основные факторы, которые учитываются при построении электронных схем емкостных преобразователей.	ПК-2.3.1

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.

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Целью дисциплины «Микромеханические инерциальные чувствительные элементы» 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.

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 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.

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 обучающимся 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».

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 для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация обучающихся предусматривает оценивание промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине в форме экзамена и завершается аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Система оценок при проведении 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