

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева»
АРЗАМАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института:

_____ Глебов В.В.

« 22 » июня 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.09 Микроэлектромеханические системы

(индекс и наименование дисциплины по учебному плану)

для подготовки бакалавров/магистров

Направление подготовки _____ **12.03.01 Приборостроение**
(код и направление подготовки)

Направленность _____ **Информационно-измерительная техника и технологии**
(наименование профиля, программы магистратуры)

Форма обучения _____ **очная, заочная**
(очная, очно-заочная, заочная)

Год начала подготовки _____ **2019**

Объем дисциплины _____ **288/8**
(часов/з.е)

Промежуточная аттестация _____ **зачет, экзамен,**
(экзамен, зачет с оценкой, зачет)

Выпускающая кафедра _____ **Авиационные приборы и устройства**
(наименование кафедры)

Кафедра-разработчик _____ **Авиационные приборы и устройства**
(наименование кафедры)

Разработчик(и): _____ **Карасева Т.В., к.т.н., доцент**
(ФИО, ученая степень, ученое звание)

г. Арзамас
2021 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 12.03.01 Приборостроение, утвержденного приказом Минобрнауки России от 19.09.2017 г. № 945, на основании учебного плана, принятого Ученым советом АПИ НГТУ, протокол от 09.06.2021 г. № 4

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры-разработчика, протокол от 18.06.2021 г. № 4/1

Заведующий кафедрой _____ Гуськов А.А.
(подпись) (ФИО)

Рабочая программа рекомендована к утверждению УМК АПИ НГТУ,
протокол от 22.06.2021 г. № 15

Зам. директора по УР _____ Шурыгин А.Ю.
(подпись)

Рабочая программа зарегистрирована в учебном отделе № 12.03.01-35

Начальник УО _____ Мельникова О.Ю.
(подпись)

Заведующая отделом библиотеки _____ Старостина О.Н.
(подпись)

Оглавление

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	4
1.1. Цель освоения дисциплины (модуля)	4
1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля)	4
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.....	4
3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	4
4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	9
4.1 Распределение трудоемкости дисциплины по видам работ по семестрам	9
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам, темам.....	9
5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ).....	14
5.1. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания.....	14
5.2. Оценочные средства для контроля освоения дисциплины	29
5.2.1 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в ходе текущего контроля успеваемости	29
5.2.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта в ходе промежуточной аттестации по дисциплине	35
5.3. Процедура оценивания результатов обучения по дисциплине	39
6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	42
6.1 Основная литература	42
6.2 Дополнительная литература	42
6.3 Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям	42
7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	43
7.1 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля), включая электронные библиотечные и информационно-справочные системы	43
7.2 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства необходимого для освоения дисциплины.....	43
8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ	43
9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ).....	43
10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	45
10.1 Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии.....	45
10.2 Методические указания для занятий лекционного типа	45
10.3. Методические указания по освоению дисциплины на лабораторных работах.....	45
10.4 Методические указания по освоению дисциплины на занятиях семинарского типа	46
10.5 Методические указания по самостоятельной работе обучающихся	46
10.6. Методические указания для выполнения РГР.....	46
10.7. Методические указания для выполнения курсовой работы	46
10.8 Методические указания по обеспечению образовательного процесса	47

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1.1. Цель освоения дисциплины (модуля)

Целью изучения данной дисциплины является подготовка студента к выполнению профессиональных задач в рамках трудовой деятельности по профессиональному стандарту 29.007 «Специалист по проектированию микро- и наноразмерных электромеханических систем» в рамках обобщенной трудовой функции «Определение возможных вариантов реализации электронных компонентов микромеханической системы»

1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля)

Задачи освоения дисциплины являются

- подготовка студента к анализу различных возможностей использования готовых решений банка знаний, аналогичных текущих требований микроэлектромеханических систем;
- подготовка студента к формированию набора возможных способов реализации чувствительных элементов и отдельных блоков микроэлектромеханических систем;
- подготовка студента к разработке спецификации блоков и определению окончательной архитектуры микроэлектромеханических систем.
- подготовка студента к определению окончательной архитектуры микроэлектромеханической системы

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Учебная дисциплина «Микроэлектромеханические системы» включена в перечень дисциплин вариативной части (части, формируемой участниками образовательных отношений), определяющих направленность ОП. Дисциплина реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОП ВО и УП.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Электроника и микропроцессорная техника», «Аналоговые и цифровые измерительные устройства», «Основы проектирования приборов и систем», «Основы автоматического управления», «Компьютерные технологии в приборостроении».

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины «Микроэлектромеханические системы», необходимы при подготовке выпускной квалификационной работы.

Рабочая программа дисциплины «Микроэлектромеханические системы» для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья разрабатывается индивидуально с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся.

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Процесс изучения дисциплины «Микроэлектромеханические системы» направлен на формирование элементов профессиональных компетенций ПКС-1, 2, 4, 5 в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по направлению подготовки 12.03.01 Приборостроение.

Таблица 3.1 – Формирование компетенций дисциплинами. Очное обучение

Код компетенции/наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно	Семестры формирования дисциплины.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ПКС-1								
Введение в специальность	+							
Основы проектирования и систем						+	+	

Код компетенции/наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно	Семестры формирования дисциплины.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Микроэлектромеханические системы							+	+
Преддипломная практика								+
Подготовка к процедуре защиты и защита ВКР								+
Нормативная техническая документация (факультатив)								
Инженерное творчество (факультатив)								
ПКС-2								
Электротехника			+	+				
Компьютерные технологии в приборостроении					+	+		
Электроника и микропроцессорная техника					+	+		
Элементы приборов и систем					+			
Измерительные преобразователи					+			
Аналоговые и цифровые измерительные устройства						+		
Гироскопические приборы и системы							+	
САПР в приборостроении							+	
Микроэлектромеханические системы							+	+
Преддипломная практика								
Подготовка к процедуре защиты и защита ВКР								+
ПКС-4								
Элементы приборов и систем					+			
Измерительные преобразователи					+			
Аналоговые и цифровые измерительные устройства						+		
Основы проектирования приборов и систем						+	+	
Измерительные информационные системы							+	
Гироскопические приборы и системы							+	
Микроэлектромеханические системы							+	+
Надежность и качество средств измерений								+
Надежность приборов и систем								+
Преддипломная практика								+
Подготовка к процедуре защиты и защита ВКР								+
ПКС-5								
Производственно-технологическая практика						+		
Технология приборостроения							+	+
Микроэлектромеханические системы							+	+
Подготовка к процедуре защиты и защита ВКР								+

Таблица 3.1¹ – Формирование компетенций дисциплинами. Заочное обучение

Код компетенции/наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно	Семестры формирования дисциплины.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПКС-1										
Введение в специальность	+									
Основы проектирования и систем								+		
Микроэлектромеханические системы									+	
Преддипломная практика										+
Подготовка к процедуре защиты и защита ВКР										+
Нормативная техническая документация										
Инженерное творчество										
ПКС-2										
Электротехника					+					
Компьютерные технологии в приборостроении						+				
Электроника и микропроцессорная техника							+			
Элементы приборов и систем							+			
Измерительные преобразователи							+			
Аналоговые и цифровые измерительные устройства								+		
Гироскопические приборы и системы									+	
Микроэлектромеханические системы									+	
САПР в приборостроении										+
Преддипломная практика										+
Подготовка к процедуре защиты и защита ВКР										+
ПКС-4										
Элементы приборов и систем							+			
Измерительные преобразователи							+			
Аналоговые и цифровые измерительные устройства								+		
Основы проектирования приборов и систем								+		
Измерительные информационные системы								+		
Гироскопические приборы и системы									+	
Микроэлектромеханические системы									+	
Надежность и качество средств измерений										+
Надежность приборов и систем										+
Преддипломная практика										+
Подготовка к процедуре за-										+

Код компетенции/наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно	Семестры формирования дисциплины.									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
щиты и защита ВКР										
ПКС-5										
Производственно-технологическая практика						+				
Технология приборостроения									+	
Микроэлектромеханические системы									+	
Подготовка к процедуре защиты и защита ВКР										+

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине «Микроэлектромеханические системы», соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП, представлен в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине		
ПКС-1 Способность к выработке технических требований к проектируемым приборам и системам, и анализу возможностей использования ранее известных решений, отвечающих современным требованиям	ИПКС-1.1 - Формирует технические требования к проектируемым приборам и системам.	Знать: – знать и совершенствовать свои знания по известным физическим принципам действия информационных устройств в рамках создания микроэлектромеханических систем;	Уметь: - уметь осуществлять обзор прототипных изделий и уметь выбирать тактико-технические требования к заданиям; - уметь формулировать технические требования к блокам микроэлектромеханических систем	Владеть: - навыками работы со справочными материалами и компьютерными базами данных по разработке микросистемных приборов; - навыками анализа возможности использования готовых решений банка знаний, аналогичных текущим требованиям
	ИПКС-1.2 - Анализирует возможности использования готовых решений банка знаний, отвечающих современным требованиям			
	ИПКС-1.3 - Находит и анализирует актуальные технические проблемы и пути их решения.			
ПКС-2 Способность рассчитывать и проектировать типовые системы и приборы, детали и узлы при многовариантном подходе к способам реализации ЧЭ	ИПКС-2.3 - Формирует набор возможных способов реализации ЧЭ и отдельных блоков измерительных систем. ИПКС-2.5 - Рассчитывает и	– знать основы проектирования микросистемных информационных средств - знать основы микросистемной техники - знать базовые принципы функционирования и конструкции типовых микроэлектромеханических	- уметь разбивать функциональное описание микроэлектромеханической системы на практически используемые технические реализации и подблоки; - уметь разбивать поведенческое описание микроэлектромеха-	- навыками формирования набора возможных способов реализации чувствительных элементов и отдельных блоков микроэлектромеханических систем

Код	Код и наимено-	Планируемые результаты обучения по дисциплине		
и отдельных блоков приборов и систем на базе принципа декомпозиции структуры и блочного подхода к конструированию	проектирует типовые приборы и системы ИПКС-2.6 - Разбивает функциональное и поведенческое описание измерительных систем на практически используемые технические реализации и подблоки.	систем; - знать методы расчета параметров и основных характеристик моделей, используемых при проектировании микроэлектромеханических систем	нической системы на практически используемые технические реализации и подблоки;	
ПКС-4 Способность разрабатывать функциональные, структурные и принципиальные схемы приборов и систем	ИПКС-4.1 - Владеет принципами построения и функционирования приборов и систем. ИПКС-4.2 - Разрабатывает спецификации блоков, приборов и систем на основе принципов детализации и обобщения ИПКС-4.3 - Определяет окончательную архитектуру информационно-измерительных систем, обеспечивая необходимые показатели качества	- знать принципы построения и функционирования микроэлектромеханических систем; - знать физические и математические модели приборов и схем микроэлектромеханических устройств различного функционального назначения;	- уметь осуществлять компьютерное моделирование приборных устройств и систем; - уметь создавать техническую документацию с применением современных средств разработки;	- навыками оптимальных решений при создании микро-системных приборов; - навыками разработки спецификации блоков микроэлектромеханических систем; - определение окончательной архитектуры микроэлектромеханических систем
ПКС-5 Способен определять этапы изготовления деталей и узлов приборов и систем и формировать последовательность необходимых для их изготовления технологических операций	ИПКС-5.1 - Производит выбор типового технологического процесса и технологической базы изготовления деталей и узлов приборов и систем ИПКС-5.2 - Составляет описание основных этапов изготовления и	- знать основы микро-механики - знать основные свойства материалов, используемых в типовых конструкциях микроэлектромеханических систем	- уметь собирать и анализировать научно-техническую информацию по используемым конструкциям микроэлектромеханических систем, принципам их работы, используемым материалам и методам изготовления	

Код	Код и наимено-	Планируемые результаты обучения по дисциплине		
	набора техно- логических операций изго- товления дета- лей и узлов приборов и систем			

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

4.1 Распределение трудоемкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зач. ед. или 288 часов, распределение часов по видам работ по семестрам представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Распределение трудоемкости дисциплины по видам работ по семестрам для студентов очной / заочной формы обучения

Вид учебной работы	Трудоемкость в час		
	Всего час.	В т.ч. по семестрам	
		№ 7 семестра/ № 9 семестра	№ 8 семестра/ № 10 семестра
Формат изучения дисциплины	с использованием элементов электронного обучения		
Общая трудоемкость дисциплины по учебному плану	288/288	126/288	162/-
1. Контактная работа:	126/56	65/56	61/-
1.1. Аудиторная работа, в том числе:	118/48	62/48	56/-
занятия лекционного типа (Л)	56/22	28/22	28/-
занятия семинарского типа (ПЗ – семинары, практические занятия и др.)	34/18	18/18	16/-
лабораторные работы (ЛР)	28/8	16/8	12/-
1.2. Внеаудиторная, в том числе	8/8	3/8	5/-
курсовая работа (проект) (КР/КП), расчетно-графическая работа (РГР), контрольная работа (к.р.) (консультация, защита)	2/2	-/2	2/-
текущий контроль, консультации по дисциплине	4/4	3/4	1/-
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)	2/2	-/2	2/-
2. Самостоятельная работа (СРС)	162/232	61/232	101/-
реферат/эссе (подготовка)			
расчётно-графическая работа (РГР) (подготовка)			
контрольная работа			
курсовая работа/проект (КР/КП) (подготовка)	36/36	-/36	36/-
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиум и т.д.)	72/183	43/183	29/-
Подготовка к экзамену (контроль)*	36/13	-/13	36/-
Подготовка к зачету / зачету с оценкой (контроль)	18/-	18/-	-/-

4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам, темам

Таблица 4.2 – Содержание дисциплины, структурированное по темам для студентов очного/заочного обучения

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Содержание разделов, тем, занятий	Вид СРС
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов		
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия			
7 семестр /9 семестр							
ПКС 1 ИПКС 1.1	Раздел 1. Общие сведения						
	Тема 1.1. Структура МЭМС	2/1			6/8	Определение МЭМС. Состав МЭМС. Области применения МЭМС. Основные параметры МЭМС. Структура информационно-измерительного канала.	Проработка теоретического материала по курсу [6.1.1], [6.1.2], [6.2.1],
	Тема 1.2. Конструкционные материалы МЭМС	2/1			4/6	Монокристаллический и поликристаллический кремния. Кремниевые компанды: оксид кремния, карбид кремния, нитрид кремния. Металлы в МЭМС: основные проводники и материалы для формирования подслоев.	
	Итого по 1 разделу	6/2	-/-	-/-	10/14		
ПКС-2 ИПКС-2.3 ИПКС 2.6	Раздел 2. Конструкции микромеханических чувствительных элементов.						
	Тема 2.1 Чувствительные элементы микромеханических акселерометров	4/2	4/4	8/8	8/12	Типы и состав чувствительных элементов микромеханических акселерометров. Конструирование осевых и маятниковых микромеханических подвижных узлов приборов. Передаточные функций осевых и маятниковых чувствительных элементов. Расчёт параметров передаточных функций для упругих систем с вязкостным и гистерезисным демпфированием.	Проработка теоретического материала по курсу [6.1.1], [6.1.2], [6.2.1],
	Тема 2.2 Чувствительные элементы микромеханических датчиков давления	4/2		4/4	8/12	Типы и состав чувствительных элементов микромеханических датчиков давления. Конструирование микромеханических подвижных узлов датчиков давления. Передаточные функций чувствительных элементов микромеханических датчиков давления. Расчёт параметров передаточных функций кремниевых мембран датчиков давления.	
	Тема 2.3 Чувствительные элементы микромеханических гироскопов	2/-	6/-		3/6	Типы и состав чувствительных элементов микромеханических гироскопов. Конструирование микромеханических подвижных узлов микромеханических гироскопов LL-типа, LR – типа, RR-типа.	
	Итого по 2 разделу	10/4	10/4	12/12	21/30		Решение задач по темам и подготовка к лабораторным работам [6.1.1], [6.1.2], [6.2.1]
Раздел 3. Конструирование микромеханических первичных преобразователей							

	Тема 3.1 Первичные преобразователи перемещений микроэлектромеханических систем	6/2		6/6	8/12	Емкостные преобразователи перемещений. Принцип действия, конструкционные решения, определение основных характеристик преобразователя. Оценка температурных напряжений. Преобразователи перемещений на МДП-транзисторе. Принцип действия, конструкционные решения, определение основных характеристик преобразователя.	Проработка теоретического материала по курсу [6.1.1], [6.1.2], [6.2.1],
	Тема 3.2 Первичные преобразователи деформаций микроэлектромеханических систем	6/2	6/4		10/16	Тензорезисторные преобразователи деформации. Принцип действия, конструкционные решения, определение основных характеристик преобразователя. Преобразователи деформаций на поверхностно-акустических волнах и на струне. Принцип действия, конструкционные решения, определение основных характеристик преобразователей.	Решение задач по темам и подготовка к лабораторным работам[6.1.1], [6.1.2], [6.2.1]
	Итого по 3 разделу	12/4	6/4	6/6	18/28		
	ИТОГО за семестр	28/–	16/–	18/–	61/		
8 семестр / 9 семестр							
ПКС-2 ИПКС-2.3 ИПКС-2.5 ИПКС 2.6	Раздел 4. Конструирование микромеханических актюаторов						
	Тема 4.1 Электростатические микромеханические преобразователи	4/2		8/-	8/16	Формирование электростатической силы по трем координатным направлениям. Формирование электростатической силы в направлении X при конструировании микродвигателей микромеханических гироскопов. Формирование электростатической силы в направлении оси Y при конструировании микромеханических акселерометров и датчиков давления. Конструкционные решения, определение основных характеристик преобразователей.	Проработка теоретического материала по курсу [6.1.1], [6.1.2], [6.2.1],
	Тема 4.2. Магнитоэлектрические микромеханические преобразователи	2/2	6/		4/8	Формирование магнитоэлектрической силы. Конструкционные решения, определение основных характеристик преобразователей. Конструкционные материалы и технологические особенности при их изготовлении.	Решение задач по темам и подготовка к лабораторным работам[6.1.1], [6.1.2], [6.2.1]
	Тема 4.3 Электромагнитные микромеханические преобразователи	2/2			4/8	Формирование электромагнитной силы в направлении X при конструировании микромеханических гироскопов. Формирование электромагнитной силы в направлении оси Y при конструировании микромеханических акселерометров и датчиков давления. Конструкционные решения, определение основных характеристик преобразователей.	
	Тема 4.4 Электронные средства обработки сигналов микромеханических приборов	2/-			4/8	Схемы с аналоговым и частотным выходом для конструирования микромеханических акселерометров и датчиков давления. Схемы с ШИМ модулятором на выходе. Обеспечение режима движения, режима чувствительности и обработки сигнала с помощью электронных средств при конструировании микромеханического гироскопа.	
	Итого по 4 разделу	10/6	6/–	8/-	20/40		
ПКС-5 ИПКС 5.1 ИПКС 5.2	Раздел 5. Технологические основы формирования микроэлектромеханических систем						
	Тема 5.1 Формирование конфигурации элементов	3/1			10/20	Формирование защитных покрытий: методы окисления и методы осаждения. Литография: фотолитография, рентгенолитография, электронно-	Проработка теоретического мате-

						лучевая литография. Размерная обработка: объемная и поверхностная микрообработка, LIGA –технология, SIGA-технология, HART-технология и микростереолитография.	риала по курсу [6.1.1], [6.1.2], [6.2.1],
	Тема 5.2 Технология формирования МЭМС	3/1			10/20	Технология формирования активных микроэлектронных элементов МЭМС. Сборка микроэлектромеханических систем	
	Итого по разделу 5	6/2	-/-	-/-	20/40		
ПКС 1 ИПКС 1.2 ИПКС 1.3 ПКС 4 ИПКС 4.1 ИПКС 4.2 ИПК 4.3	Раздел 6. Конструкторские решения микроэлектромеханических систем (измерительные свойства)						
	Тема 6.1 Микромеханические акселерометры.	4/2	6/-		/	Структурные и измерительные цепи осевых и маятниковых микромеханических акселерометров прямого измерения. Определение передаточной функции осевых и маятниковых микромеханических акселерометров прямого измерения. Конструктивные решения микромеханических акселерометров прямого измерения. Структурные и измерительные цепи осевых и маятниковых микромеханических акселерометров компенсационного типа с магнитоэлектрическим и электростатическим актюатором. Определение передаточной функции осевых и маятниковых микромеханических акселерометров компенсационного типа. Конструктивные решения микромеханических акселерометров компенсационного типа.	Проработка теоретического материала по курсу [6.1.1], [6.1.2], [6.2.1], Решение задач по темам и подготовка к лабораторным работам[6.1.1], [6.1.2], [6.2.1]
	Тема 6.2 Микромеханические датчики давления	4/2		4/-		Структурные и измерительные цепи микромеханических датчиков давления прямого измерения. Определение передаточной функции микромеханических датчиков давления прямого измерения. Конструктивные решения микромеханических датчиков давления прямого измерения. Структурные и измерительные цепи микромеханических датчиков давления компенсационного типа с магнитоэлектрическим и электростатическим актюатором. Определение передаточной функции микромеханических датчиков давления компенсационного типа. Конструктивные решения микромеханических датчиков давления компенсационного типа.	
	Тема 6.3 Микромеханические гироскопы	4/-		4/		Структурные и измерительные цепи микромеханических гироскопов. Определение передаточной функции микромеханических гироскопов. Конструктивные решения микромеханических гироскопов.	
	Итого по разделу 6	12/4	6/-	8/-	25/44		
ПКС-1, ИПКС 1.1; ИПКС 1.2; ИПКС 1.3; ПКС-2, ИПКС 2.3; ИПКС 2.5; ИПКС 2.6; ПКС-4, ИПКС 4.1; ИПКС 4.2; ИПКС 4.3;	Выполнение курсовой работы				36/36		

ПКС 5; ИПКС 5.1; ИПКС 5.2							
	ИТОГО за семестр	28/	12 /	16/	101/		
	ИТОГО по дисциплине	56/22	28 /8	34/18	162/232		

Таблица 4.3 - Используемые активные и интерактивные образовательные технологии

Вид занятий	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий
Лекции	Технология развития критического мышления Дискуссионные технологии
Практические занятия, лабораторные работы	Технология развития критического мышления Дискуссионные технологии Тестовые технологии Технологии работы в малых группах Технология коллективной работы Информационно-коммуникационные технологии

Таблица 4.4 Лабораторные работы

№ ЛР	№ раздела	Наименование лабораторных работ	Кол-во часов
1	2	3	4
1	2 Тема 2.1	Температурные исследования статических характеристик микромеханических акселерометров	4
2	2 Тема 2.3	Исследование статической характеристики микромеханического датчика угловой скорости камертонного типа	6
3	3 Тема 3.2	Исследование статической характеристики микромеханического датчика избыточного давления с тензопреобразователем	6
4	4 Тема 4.2	Исследование статической характеристики микромеханического компенсационного акселерометра с магнитоэлектрической обратной связью	6
5	6 Тема 6.1	Исследование динамических и частотных характеристик микромеханического акселерометра при гармонических и ШСВ виброиспытаниях	6
Итого			28

Таблица 4.5 Практические занятия (семинары)

№ ПЗ	№ раздела	Тема	Кол-во часов
1	2	3	4
1	2	Расчет осевого микромеханического чувствительного элемента	4
2	2	Расчет маятникового микромеханического чувствительного элемента	4
3	2	Расчет микромеханической мембраны датчика давления	4
4	3	Демпфирование неперфорированных микромеханических чувствительных элементов маятникового типа	4
5	3	Расчет микромеханического емкостного преобразователя перемещений с чувствительным элементом осевого типа	2
6	4	Расчет электростатического преобразователя силы микромеханического датчика давления	8
7	6	Демпфирование с помощью механических поглотителей виброэнергии	4
8	6	Динамическая модель микромеханической мембраны с жестким центром	4
Итого			34

5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания

Оценочные процедуры в рамках текущего контроля проводятся преподавателем дисциплины. На лекциях оценивается активность участия в дискуссионных обсуждениях, ответы на вопросы преподавателя при работе в интерактивном режиме. Практические занятия проводятся в форме решения задач по конкретным темам курса как совместно с преподавателем, так и самостоятельно студентами. При решении задач преподавателем оценивается выбор метода и алгоритма решения, правильность решения, затраченное время, качество оформления, умение представить и объяснить решение, ответы на вопросы преподавателя. Одной из основных форм и методов оценки текущей успеваемости являются лабораторные работы. При их выполнении оцениваются навыки и умения, а также уровень соответствующих знаний. Выполнение студентами лабораторных работ регистри-

руется преподавателем в журнале. Лабораторные работы проводятся согласно утвержденному расписанию учебных занятий. Отработка пропущенных студентами лабораторных работ осуществляется по графику, как правило, в конце семестра. Замена пропущенных студентами лабораторных работ другими видами учебных занятий не допускается. Защита отчетов является одной из форм текущего контроля успеваемости студентов (контроль знаний). Процедура приема лабораторных работ включает в себя проверки: достоверности полученных измерений и результатов обработки данных; знаний студентом основных понятий, определений и теоретических положений, применяемых к данной лабораторной работе; знаний студентом методики выполнения лабораторной работы; умений студентом объяснить полученные результаты; степени самостоятельности выполнения лабораторной работы. Защита лабораторных работ предполагает проведение самооценки и внутригрупповой оценки, критического анализа используемых для оценки методов.

Самостоятельная работа студента включает самостоятельную проработку теоретического материала по темам и разделам курса, выполнение индивидуальных заданий в рамках курсовой работы по конкретным темам курса.

Текущая аттестация проводится в форме устного опроса на практических занятиях по теоретическим материалам при защите решений индивидуальных задач. По итогам изучения отдельных тем и разделов курса текущая аттестация проводится в форме тестирования в СДО Moodle. Тесты в СДО Moodle представлены в виде теста с возможностью выбора ответа из множества. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе текущей аттестации представлены в табл. 5.1.

Студент допускается к промежуточной аттестации (зачет, экзамен), если в результате изучения разделов дисциплины в рамках текущего контроля по каждой теме выполнено не менее 60 процентов заданий.

Промежуточная аттестация студентов очной формы обучения проводится в форме зачета (7 семестр) и экзамена (8 семестр), а также защиты курсовой работы. Промежуточная аттестация студентов заочной формы обучения проводится в форме защиты курсовой работы и экзамена (9 семестр).

Зачет проводится в устной форме. Билет к зачету включает в себя один теоретический вопрос и одну задачу. Время на подготовку – 30 мин. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе промежуточной аттестации (очная форма обучения, зачет, 7 семестр) представлены в табл. 5.2. Для зачета студенту необходимо набрать не менее 6-и баллов*.

Курсовая работа является комплексной конструкторской работой студента, которая подводит итоги его знаниям и умениям, полученным при изучении данной дисциплины, так и предшествующих дисциплин. Решение поставленной задачи развивает полученные навыки в процессе конструирования микроэлектромеханических приборов и устройств и заставляет студента решать конкретные технические проблемы, закрепляя и углубляя теоретические знания. Работа студента над курсовой работой подготавливает его к выполнению выпускной квалификационной работы, прививает и развивает навыки: анализа различных возможностей использования готовых решений банка знаний, аналогичных текущих требований микроэлектромеханических систем, формирования набора возможных способов реализации чувствительных элементов и отдельных блоков микроэлектромеханических систем; по разработке спецификации блоков и определению окончательной архитектуры микроэлектромеханических систем, определения окончательной архитектуры микроэлектромеханической системы. А также работы с разнообразной нормативно-технической документацией и справочной литературой.

Объем и содержание курсовой работы определяется заданием, содержащим, помимо исходных данных, также предъявляемые к нему технические требования и особые условия, связанные с условиями эксплуатации.

Оценка курсовой работы проходит по пятибалльной системе. Курсовая работа представляется в виде пояснительной записки, а ее защита происходит в форме устной беседы с преподавателем. Для успешной сдачи курсовой работы студент должен по предложенному заданию проанализировать исходные данные и предложить некоторые конструкторские решения, провести расчет основных параметров элементов и узлов МЭМС. При этом студент знаком с основными направлениями развития микроэлектромеханических систем. Хорошо ориентируется в теоретических аспектах. Знаком с современной проектной и конструкторской базой по реализации МЭМС и знает основные алгоритмы оценки параметров элементов, узлов и систем в целом.

Экзамен проводится в устной форме. Экзаменационный билет включает в себя два теоретических вопроса и одну задачу. Время на подготовку – 45 мин. При промежуточном контроле (экзамене) успеваемость студентов оценивается по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Экзамен для студентов заочного отделения может проводиться в виде итогового теста. Тестирование проводится с использованием СДО MOODLE. Контрольный тест содержит 25 тестовых вопросов, время на проведение тестирования 35 минут.

Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе промежуточной аттестации (очная (заочная) форма обучения, экзамен, 8 (9) семестр) представлены в табл. 5.3. Шкала соответствия набранных баллов** и экзаменационной оценки представлена в табл. 5.4.

*Количество баллов рассчитывается в соответствии с таблицей 5.2.

**Количество баллов рассчитывается в соответствии с таблицей 5.3.

Таблица 5.1 – Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе текущей аттестации

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора компетенции	Показатели контроля успеваемости	Критерии и шкала оценивания		Форма контроля
			1 балл	0 баллов	
ПКС-1 Способность к выработке технических требований к проектируемым приборам и системам, и анализу возможностей использования ранее известных решений, отвечающих современным требованиям	ИПКС-1.1 - Формирует технические требования к проектируемым приборам и системам. ИПКС-1.2 - Анализирует возможности использования готовых решений банка знаний, отвечающих современным требованиям ИПКС-1.3 - Находит и анализирует актуальные технические проблемы и пути их решения.	Знать: – знать и совершенствовать свои знания по известным физическим принципам действия информационных устройств в рамках создания микроэлектромеханических систем;	Набрано не менее 60% при выполнении каждого теста *	Набрано менее 60% при выполнении каждого теста	Тестирование по разделам дисциплины СДО MOODLE
		Уметь: - уметь осуществлять обзор прототипных изделий и уметь выбирать тактико-технические требования к заданиям; - уметь формулировать технические требования к блокам микроэлектромеханических систем	Практические и лабораторные задания выполнены качественно, оформлены в срок и студент показал достаточные знания при защите работы**	Практические и лабораторные задания не выполнены и не оформлены. Студенту не хватает теоретических знаний для выполнения задания. Он не ориентируется в материале; не отвечает на поставленные вопросы; не владеет базовым аппаратом.	Контроль выполнения практических и лабораторных заданий (ПЗ и ЛР)
		Владеть: - навыками работы со справочными материалами и компьютерными базами данных по разработке микросистемных приборов; - навыками анализа возможности использования готовых решений банка знаний, аналогичных текущим требованиям	Практические и лабораторные задания выполнены качественно, оформлены в срок и студент показал достаточные знания при защите работы**	Практические и лабораторные задания не выполнены и не оформлены. Студенту не хватает теоретических знаний для выполнения задания. Он не ориентируется в материале; не отвечает на поставленные вопросы; не владеет базовым аппаратом.	Контроль выполнения практических и лабораторных заданий (ПЗ и ЛР)
ПКС-2 Способность рассчитывать и проектировать типовые системы и приборы, детали и узлы при многовариантном подходе к способам реализации ЧЭ и отдельных блоков при-	ИПКС-2.3 - Формирует набор возможных способов реализации ЧЭ и отдельных блоков измерительных систем. ИПКС-2.5 - Рассчитывает и проектирует типовые приборы и системы ИПКС-2.6 - Разбивает	Знать: – знать основы проектирования микросистемных информационных средств - знать основы микросистемной техники	Набрано не менее 60% при выполнении каждого теста *	Набрано менее 60% при выполнении каждого теста	Тестирование по разделам дисциплины СДО MOODLE
		Уметь: - уметь разбивать функциональное описание микроэлектромеханической системы на практически используемые технические реализации и подблоки;	Практические и лабораторные задания выполнены качественно, оформлены в срок и сту-	Практические и лабораторные задания не выполнены и не оформлены. Студенту не хватает	Контроль выполнения практических и лабораторных за-

боров и систем на базе принципа декомпозиции структуры и блочного подхода к конструированию	функциональное и поведенческое описание измерительных систем на практически используемые технические реализации и подблоки	- уметь разбивать поведенческое описание микро-электромеханической системы на практически используемые технические реализации и подблоки;	дент показал достаточные знания при защите работы**	теоретических знаний для выполнения задания. Он не ориентируется в материале; не отвечает на поставленные вопросы; не владеет базовым аппаратом.	даний (ПЗ и ЛР)
		Владеть: - навыками формирования набора возможных способов реализации чувствительных элементов и отдельных блоков микроэлектромеханических систем	Практические и лабораторные задания выполнены качественно, оформлены в срок и студент показал достаточные знания при защите работы**	Практические и лабораторные задания не выполнены и не оформлены. Студенту не хватает теоретических знаний для выполнения задания. Он не ориентируется в материале; не отвечает на поставленные вопросы; не владеет базовым аппаратом.	Контроль выполнения практических и лабораторных заданий (ПЗ и ЛР)
ПКС-4 Способность разрабатывать функциональные, структурные и принципиальные схемы приборов и систем	ИПКС-4.1 - Владеет принципами построения и функционирования приборов и систем. ИПКС-4.2 - Разрабатывает спецификации блоков, приборов и систем на основе принципов детализации и обобщения ИПКС-4.3 - Определяет окончательную архитектуру информационно-измерительных систем, обеспечивая необходимые показатели качества	Знать: - знать принципы построения и функционирования микроэлектромеханических систем; - знать физические и математические модели приборов и схем микроэлектромеханических устройств различного функционального назначения; - знать в своей области необходимые компьютерные программы проектирования, оптимизации и обработки получаемой информации;	Набрано не менее 60% при выполнении каждого теста *	Набрано менее 60% при выполнении каждого теста	Тестирование по разделам дисциплины СДО MOODLE
		Уметь: - уметь осуществлять компьютерное моделирование приборных устройств и систем; - уметь создавать техническую документацию с применением современных средств разработки;	Практические и лабораторные задания выполнены качественно, оформлены в срок и студент показал достаточные знания при защите работы**	Практические и лабораторные задания не выполнены и не оформлены. Студенту не хватает теоретических знаний для выполнения задания. Он не ориентируется в материале; не отвечает на поставленные вопросы; не владеет базовым аппаратом.	Контроль выполнения практических и лабораторных заданий (ПЗ-и ЛР)
		Владеть: - навыками оптимальных решений при создании микросистемных приборов; - навыками разработки спецификации блоков микроэлектромеханических систем; - определение окончательной архитектуры микро-	Практические и лабораторные задания выполнены качественно, оформлены в срок и студент показал достаточные знания при защите	Практические и лабораторные задания не выполнены и не оформлены. Студенту не хватает теоретических знаний для выполнения задания.	Контроль выполнения практических и лабораторных заданий (ПЗ-и ЛР)

		электромеханических систем	работы**	Он не ориентируется в материале; не отвечает на поставленные вопросы; не владеет базовым аппаратом.	
ПКС-5 Способен определять этапы изготовления деталей и узлов приборов и систем и формировать последовательность необходимых для их изготовления технологических операций	ИПКС-5.1 - Производит выбор типового технологического процесса и технологической базы изготовления деталей и узлов приборов и систем ИПКС-5.2 - Составляет описание основных этапов изготовления и набора технологических операций изготовления деталей и узлов приборов и систем	Знать: - знать базовые принципы функционирования и конструкции типовых микроэлектромеханических систем; - знать основы микромеханики - знать основные свойства материалов, используемых в типовых конструкциях микроэлектромеханических систем - знать методы расчета параметров и основных характеристик моделей, используемых при проектировании микроэлектромеханических систем	Набрано не менее 60% при выполнении каждого теста *	Набрано не менее 60% при выполнении каждого теста	Тестирование по разделам дисциплины СДО MOODLE
		Уметь: - уметь собирать и анализировать научно-техническую информацию по используемым конструкциям микроэлектромеханических систем, принципам их работы, используемым материалам и методам изготовления	Практические и лабораторные задания выполнены качественно, оформлены в срок и студент показал достаточные знания при защите работы**	Практические и лабораторные задания не выполнены и не оформлены. Студенту не хватает теоретических знаний для выполнения задания. Он не ориентируется в материале; не отвечает на поставленные вопросы; не владеет базовым аппаратом.	Контроль выполнения практических и лабораторных заданий (ПЗ и ЛР)
		Владеть:			

Таблица 5.2 – Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе промежуточной аттестации (зачет, 7 семестр для студентов очной формы обучения)

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора компетенции	Показатели контроля успеваемости	Критерии и шкала оценивания			Форма контроля
			2 балла	1 балл	0 баллов	
ПКС-1 Способность к выработке технических требований к проектируемым приборам и системам, и анализу возможностей использования ранее известных решений, отвечающих современным требованиям	ИПКС-1.1 - Формирует технические требования к проектируемым приборам и системам. ИПКС-1.2 - Анализирует возможности использования готовых решений банка знаний, отвечающих современным требованиям ИПКС-1.3 - Находит и анализирует актуальные технические проблемы и пути их решения.	Знать: – знать и совершенствовать свои знания по известным физическим принципам действия информационных устройств в рамках создания микроэлектромеханических систем;	ответ на вопрос абсолютно правильный и полный	ответ на вопрос не полный, при ответе допускает неточности и ошибки, но в ходе дискуссии их исправляет, демонстрируя имеющиеся знания в рамках изучаемой и смежных дисциплин	нет ответа на теоретический вопрос или при ответе путает понятия	Ответ на теоретический вопрос билета
		Уметь: - уметь осуществлять обзор прототипных изделий и уметь выбирать тактико-технические требования к заданиям; - уметь формулировать технические требования к блокам микроэлектромеханических систем	абсолютно правильно и полно выполняет задание; в ходе дискуссии грамотно и полно обосновывает свои решения, демонстрируя умения анализа готовых решений в рамках банка знаний и работы со справочными материалами и базами данных	определены некоторые навыки работы со справочными материалами и базой данных в рамках реализации МЭМС, присутствуют неточности или ошибки в предлагаемых реализациях, допускает некоторые неточности при обосновании своих решений, но в ходе дискуссии их исправляет, демонстрируя некоторые навыки анализа возможных решений с учетом требований задания	выполнение задания отсутствует или в решении допущены грубые принципиальные ошибки, приведшие к неверному результату; в ходе дискуссии демонстрирует отсутствие умений и владений общими принципами, методами и алгоритмами решения поставленной задачи	Выполнение задания билета
		Владеть: - навыками работы со справочными материалами и компьютерными базами данных по разработке микросистемных приборов; - навыками анализа возможности использования готовых решений банка знаний, аналогичных текущим требованиям				
ПКС-2 Способность рассчитывать и проектировать типовые системы и приборы, детали и	ИПКС-2.3 - Формирует набор возможных способов реализации ЧЭ и отдельных блоков измерительных систем.	Знать: – знать основы проектирования микросистемных информационных средств - знать основы микросистемной техники	ответ на вопрос абсолютно правильный и полный	ответ на вопрос не полный, при ответе допускает неточности и ошибки, но в ходе дискуссии их	нет ответа на теоретический вопрос или при ответе путает понятия	Ответ на теоретический вопрос билета

узлы при многовариантном подходе к способам реализации ЧЭ и отдельных блоков приборов и систем на базе принципа декомпозиции структуры и блочного подхода к конструированию	ИПКС-2.5 - Рассчитывает и проектирует типовые приборы и системы ИПКС-2.6 - Разбивает функциональное и поведенческое описание измерительных систем на практически используемые технические реализации и подблоки	Уметь: - уметь разбивать функциональное описание микроэлектромеханической системы на практически используемые технические реализации и подблоки; - уметь разбивать поведенческое описание микроэлектромеханической системы на практически используемые технические реализации и подблоки; Владеть: - навыками формирования набора возможных способов реализации чувствительных элементов и отдельных блоков микроэлектромеханических систем	абсолютно правильно и полно выполняет предложенное задание; в ходе дискуссии грамотно и полно обосновывает свои решения, демонстрируя умения разбивки функционального и поведенческого описаний МЭМС, и владение навыками формирования необходимого набора возможных способов реализации различных элементов МЭМС	исправляет, демонстрируя имеющиеся знания в рамках изучаемой и смежных дисциплин определены основные направления выполнения задания, в решении присутствуют неточности или ошибки, допускает некоторые неточности при обосновании своих решений, но в ходе дискуссии их исправляет, демонстрируя умения разбивки функционального и поведенческого описаний МЭМС, и владений некоторыми навыками формирования необходимого набора возможных способов реализации различных элементов МЭМС	При выполнении задания отсутствует правильный ответ или допущены грубые принципиальные ошибки, приведшие к неверному результату; в ходе дискуссии демонстрирует отсутствие умений разбивки поведенческого описания МЭМС и владений навыков формирования необходимого набора возможных способов реализации различных элементов МЭМС	Выполнение задания билета
ПКС-4 Способность разрабатывать функциональные, структурные и принципиальные схемы приборов и систем	ИПКС-4.1 - Владеет принципами построения и функционирования приборов и систем. ИПКС-4.2 - Разрабатывает спецификации блоков, приборов и систем на основе принципов детализации и обобщения ИПКС-4.3 - Определяет окончательную архитектуру информационно-	Знать: - знать принципы построения и функционирования микроэлектромеханических систем; - знать физические и математические модели приборов и схем микроэлектромеханических устройств различного функционального назначения; - знать в своей области необходимые компьютерные программы проектирования, оптимизации и обработки получаемой информации;	ответ на вопрос абсолютно правильный и полный	ответ на вопрос не полный, при ответе допускает неточности и ошибки, но в ходе дискуссии их исправляет, демонстрируя имеющиеся знания в рамках изучаемой и смежных дисциплин	нет ответа на теоретический вопрос или при ответе путает понятия	Ответ на теоретический вопрос билета

	измерительных систем, обеспечивая необходимые показатели качества	Уметь: - уметь осуществлять компьютерное моделирование приборных устройств и систем; – уметь создавать техническую документацию с применением современных средств разработки;	абсолютно правильно и полно выполняет задание; в ходе дискуссии грамотно и полно обосновывает свои решения, демонстрируя умения применять компьютерное моделирование для решения и навыки выбора оптимальных решений при создании МЭМС, а также в определении их окончательной структуры	определены основные подходы при выполнении задания, в решении присутствуют неточности или ошибки, допускает некоторые неточности при обосновании своих решений, но в ходе дискуссии их исправляет, демонстрируя умения применять компьютерное моделирование для решения и некоторые навыки выбора оптимальных решений при создании МЭМС, а также в определении окончательной структуры	решение задания отсутствует или в решении допущены грубые принципиальные ошибки, приведшие к неверному результату; в ходе дискуссии демонстрирует отсутствие умений и владений навыками выбора оптимальных решений при создании МЭМС, а также в определении окончательной структуры	Выполнение задания билета
		Владеть: – навыками оптимальных решений при создании микросистемных приборов; - навыками разработки спецификации блоков микроэлектромеханических систем; - определение окончательной архитектуры микроэлектромеханических систем				

Таблица 5.2' – Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе промежуточной аттестации (экзамен, 8 семестр для студентов очной формы обучения, 9 семестр для студентов заочной формы обучения)

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора компетенции	Показатели контроля успеваемости	Критерии и шкала оценивания			Форма контроля
			2 балла	1 балл	0 баллов	
ПКС-1 Способность к выработке технических требований к проектируемым приборам и системам, и анализу возможностей использования ранее известных решений, отвечающих	ИПКС-1.1 - Формирует технические требования к проектируемым приборам и системам. ИПКС-1.2 - Анализирует возможности использования готовых решений банка знаний, отвечающих современным требованиям	Знать: – знать и совершенствовать свои знания по известным физическим принципам действия информационных устройств в рамках создания микроэлектромеханических систем;	ответ на вопрос абсолютно правильный и полный	ответ на вопрос не полный, при ответе допускает неточности и ошибки, но в ходе дискуссии их исправляет, демонстрируя имеющиеся знания в рамках изучаемой и смежных дисциплин	нет ответа на теоретический вопрос или при ответе путает понятия	Ответ на теоретический вопрос билета

щих современным требованиям	ИПКС-1.3 - Находит и анализирует актуальные технические проблемы и пути их решения.	Уметь: - уметь осуществлять обзор прототипных изделий и уметь выбирать тактико-технические требования к заданиям; - уметь формулировать технические требования к блокам микроэлектромеханических систем	абсолютно правильно и полно выполняет задание; в ходе дискуссии грамотно и полно обосновывает свои решения, демонстрируя умения анализа готовых решений в рамках банка знаний и работы со справочными материалами и базами данных	определены некоторые навыки работы со справочными материалами и базой данных в рамках реализации МЭМС, присутствуют не точности или ошибки в предлагаемых реализациях, допускает некоторые не точности при обосновании своих решений, но в ходе дискуссии их исправляет, демонстрируя некоторые навыки анализа возможных решений с учетом требований задания	выполнение задания отсутствует или в решении допущены грубые принципиальные ошибки, приведшие к неверному результату; в ходе дискуссии демонстрирует отсутствие умений и владений общими принципами, методами и алгоритмами решения поставленной задачи	Решение задания билета
		Владеть: - навыками работы со справочными материалами и компьютерными базами данных по разработке микросистемных приборов; - навыками анализа возможности использования готовых решений банка знаний, аналогичных текущим требованиям				
ПКС-2 Способность рассчитывать и проектировать типовые системы и приборы, детали и узлы при многовариантном подходе к способам реализации ЧЭ и отдельных блоков приборов и систем на базе принципа декомпозиции структуры и блочного подхода к конструированию	ИПКС-2.3 - Формирует набор возможных способов реализации ЧЭ и отдельных блоков измерительных систем. ИПКС-2.5 - Рассчитывает и проектирует типовые приборы и системы ИПКС-2.6 - Разбивает функциональное и поведенческое описание измерительных систем на практически используемые технические реализации и подблоки	Знать: – знать основы проектирования микросистемных информационных средств - знать основы микросистемной техники	ответ на вопрос абсолютно правильный и полный	ответ на вопрос не полный, при ответе допускает неточности и ошибки, но в ходе дискуссии их исправляет, демонстрируя имеющиеся знания в рамках изучаемой и смежных дисциплин	нет ответа на теоретический вопрос или при ответе путает понятия	Ответ на теоретический вопрос билета
		Уметь: - уметь разбивать функциональное описание микроэлектромеханической системы на практически используемые технические реализации и подблоки; - уметь разбивать поведенческое описание микроэлектромеханической системы на практически используемые технические реализации и подблоки;				

		Владеть: - навыками формирования набора возможных способов реализации чувствительных элементов и отдельных блоков микроэлектромеханических систем	бивки функционального и поведенческого описаний МЭМС, и владение навыками формирования необходимого набора возможных способов реализации различных элементов МЭМС	решений, но в ходе дискуссии их исправляет, демонстрируя умения разбивки функционального и поведенческого описаний МЭМС, и владений некоторыми навыками формирования необходимого набора возможных способов реализации различных элементов МЭМС	в ходе дискуссии демонстрирует отсутствие умений разбивки поведенческого описания МЭМС и владений навыков формирования необходимого набора возможных способов реализации различных элементов МЭМС	
ПК-4 Способность разрабатывать функциональные, структурные и принципиальные схемы приборов и систем	ИПК-4.1 - Владеет принципами построения и функционирования приборов и систем. ИПК-4.2 - Разрабатывает спецификации блоков, приборов и систем на основе принципов детализации и обобщения ИПК-4.3 - Определяет окончательную архитектуру информационно-измерительных систем, обеспечивая необходимые показатели качества	Знать: - знать принципы построения и функционирования микроэлектромеханических систем; - знать физические и математические модели приборов и схем микроэлектромеханических устройств различного функционального назначения; - знать в своей области необходимые компьютерные программы проектирования, оптимизации и обработки получаемой информации;	ответ на вопрос абсолютно правильный и полный	ответ на вопрос не полный, при ответе допускает неточности и ошибки, но в ходе дискуссии их исправляет, демонстрируя имеющиеся знания в рамках изучаемой и смежных дисциплин	нет ответа на теоретический вопрос или при ответе путает понятия	Ответ на теоретический вопрос билета
		Уметь: - уметь осуществлять компьютерное моделирование приборных устройств и систем; – уметь создавать техническую документацию с применением современных средств разработки;	абсолютно правильно и полно выполняет задание; в ходе дискуссии грамотно и полно обосновывает свои решения, демонстрируя умения применять компьютерное моделирование для решения и навыки выбора оптимальных решений при создании МЭМС, а также в определении их окончательной	определены основные подходы при выполнении задания, в решении присутствуют неточности или ошибки, допускает некоторые неточности при обосновании своих решений, но в ходе дискуссии их исправляет, демонстрируя умения применять компьютерное моделирование для решения и некоторые навыки	решение задания отсутствует или в решении допущены грубые принципиальные ошибки, приведшие к неверному результату; в ходе дискуссии демонстрирует отсутствие умений и владений навыками выбора оптимальных решений при создании МЭМС, а также в опреде-	Выполнение задания билета
		Владеть: – навыками оптимальных решений при создании микросистемных приборов; - навыками разработки спецификации блоков микроэлектромеханических систем; - определение окончательной архитектуры микроэлектромеханических систем				

			структуры	выбора оптимальных решений при создании МЭМС, а также в определении окончательной структуры	лении окончательной структуры	
ПКС-5 Способен определять этапы изготовления деталей и узлов приборов и систем и формировать последовательность необходимых для их изготовления технологических операций	ИПКС-5.1 - Производит выбор типового технологического процесса и технологической базы изготовления деталей и узлов приборов и систем ИПКС-5.2 - Составляет описание основных этапов изготовления и набора технологических операций изготовления деталей и узлов приборов и систем	Знать: - знать базовые принципы функционирования и конструкции типовых микроэлектромеханических систем; - знать основы микромеханики - знать основные свойства материалов, используемых в типовых конструкциях микроэлектромеханических систем - знать методы расчета параметров и основных характеристик моделей, используемых при проектировании микроэлектромеханических систем	ответ на вопрос абсолютно правильный и полный	ответ на вопрос не полный, при ответе допускает неточности и ошибки, но в ходе дискуссии их исправляет, демонстрируя имеющиеся знания в рамках изучаемой и смежных дисциплин	нет ответа на теоретический вопрос или при ответе путает понятия	Ответ на теоретический вопрос билета
		Уметь: - уметь собирать и анализировать научно-техническую информацию по используемым конструкциям микроэлектромеханических систем, принципам их работы, используемым материалам и методам изготовления	абсолютно правильно и полно выполнено задание; в ходе дискуссии грамотно и полно обосновывает свои варианты, демонстрируя умения анализа	определены методы реализации элементов МЭМС, при выполнении присутствуют неточности или ошибки, допускает некоторые неточности при обосновании, но в ходе дискуссии их исправляет, демонстрируя некоторые умения	выполнение задания отсутствует или в решении допущены грубые принципиальные ошибки, приведшие к неверному результату; в ходе дискуссии демонстрирует отсутствие умений и владений общими принципами анализа имеющейся информации	Выполнение задания билета

Таблица 5.2^{II} – Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе промежуточной аттестации (курсовая работа)

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора	Показатели контроля успеваемости	Критерии и шкала оценивания				Форма контроля
			неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	отлично	

	компетенции						
ПКС-1 Способность к выработке технических требований к проектируемым приборам и системам, и анализу возможностей использования ранее известных решений, отвечающих современным требованиям	ИПКС-1.1 - Формирует технические требования к проектируемым приборам и системам. ИПКС-1.2 - Анализирует возможности использования готовых решений банка знаний, отвечающих современным требованиям ИПКС-1.3 - Находит и анализирует актуальные технические проблемы и пути их решения.	Знать: – знать и совершенствовать свои знания по известным физическим принципам действия информационных устройств в рамках создания микроэлектромеханических систем; Уметь: - уметь осуществлять обзор прототипных изделий и уметь выбирать тактико-технические требования к заданиям; - уметь формулировать технические требования к блокам микроэлектромеханических систем Владеть: - навыками работы со справочными материалами и компьютерными базами данных по разработке микросистемных приборов; - навыками анализа возможности использования готовых решений банка знаний, аналогичных текущим требованиям	представлена не полная работа; недостаточно усвоены базовые теоретические положения в рамках учебной программы; доклад читается, не может четко ответить на вопросы;	в работе представлена разработка микроэлектромеханического преобразователя со всеми необходимыми разделами с обобщением по нормативным требованиям и собственными выводами; полученные результаты доказывают усвоение базовых теоретических положений в рамках учебной программы; отсутствует последовательность изложения, не может четко ответить на ряд вопросов;	в работе представлены: достаточный анализ поставленной проектной задачи по разработке микроэлектромеханического преобразователя, разработка схем на уровне узлов и элементов МЭМС по заданному техническому заданию, проведен достаточный и правильный расчет. Результаты проектирования и конструирования соответствуют техническому заданию, расчет проведен в полном объеме, разработан полный перечень соответствующей технической документации с незначительными ошибками (спецификации, технические условия). В работе представлены все необходимые конструктивные исследования на основе литературных источников; усвоены теоретические положения в рамках учебной программы; четкая композиция доклада, изложение логичное, отвечает на большинство вопросов;	в работе представлены: полный анализ поставленной проектной задачи, разработка схем на уровне узлов и элементов МЭМС по техническому заданию, проведен полный и правильный расчет. Результаты проектирования и конструирования соответствуют техническому заданию, проведен в полном объеме проектный расчет и разработан полный перечень соответствующей технической документации. Самостоятельное усвоение знаний сверх учебной программы; четкая композиция доклада, изложение выразительное, компактное, логичное, отвечает на вопросы или на большинство вопросов;	Выполнение и защита курсового проекта
ПКС-2 Способность рассчитывать и проектировать типовые системы и приборы, детали и узлы при многовариантном подходе к способам реализации ЧЭ и отдельных блоков приборов и систем на базе принципа декомпозиции структуры и блочного подхода к конструированию	ИПКС-2.3 - Формирует набор возможных способов реализации ЧЭ и отдельных блоков измерительных систем. ИПКС-2.5 - Рассчитывает и проектирует типовые приборы и системы ИПКС-2.6 - Разбивает функциональное и поведенческое описание	Знать: – знать основы проектирования микросистемных информационных средств - знать основы микросистемной техники Уметь: - уметь разбивать функциональное описание микроэлектромеханической системы на практически используемые технические реализации и подблоки; - уметь разбивать поведенческое описание микроэлектромеханической системы на практически используемые технические реализа-					

нию	ние измерительных систем на практически используемые технические реализации и подблоки	ции и подблоки; Владеть: - навыками формирования набора возможных способов реализации чувствительных элементов и отдельных блоков микроэлектромеханических систем				
ПКС-4 Способность разрабатывать функциональные, структурные и принципиальные схемы приборов и систем	ИПКС-4.1 - Владеет принципами построения и функционирования приборов и систем. ИПКС-4.2 - Разрабатывает спецификации блоков, приборов и систем на основе принципов детализации и обобщения ИПКС-4.3 - Определяет окончательную архитектуру информационно-измерительных систем, обеспечивая необходимые показатели качества	Знать: - знать принципы построения и функционирования микроэлектромеханических систем; - знать физические и математические модели приборов и схем микроэлектромеханических устройств различного функционального назначения; - знать в своей области необходимые компьютерные программы проектирования, оптимизации и обработки получаемой информации; Уметь: - уметь осуществлять компьютерное моделирование приборных устройств и систем; – уметь создавать техническую документацию с применением современных средств разработки; Владеть: – навыками оптимальных решений при создании микросистемных приборов; - навыками разработки спецификации блоков микроэлектромеханических систем; - определение окончательной архитектуры микроэлектромеханических систем Знать: - знать базовые принципы функционирования и конструкции типовых микроэлектромеханических систем; - знать основы микромеханики				
ПКС-5 Способен определять этапы изготовления деталей и узлов приборов и систем и формировать по-	ИПКС-5.1 - Производит выбор типового технологического процесса и технологической базы изготовления					

следовательность необходимых для их изготовления технологических операций	деталей и узлов приборов и систем ИПКС-5.2 - Со- ставляет описание основных этапов изготовления и набора технологи- ческих операций изготовления де- талей и узлов при- боров и систем	- знать основные свойства мате- риалов, используемых в типовых конструкциях микроэлектромеха- нических систем - знать методы расчета парамет- ров и основных характеристик моделей, используемых при про- ектировании микроэлектромеха- нических систем Уметь: - уметь собирать и анализировать научно-техническую информацию по используемым конструкциям микроэлектромеханических сис- тем, принципам их работы, ис- пользуемым материалам и мето- дам изготовления					
---	--	--	--	--	--	--	--

Таблица 5.3 – Соответствие набранных баллов и оценки за экзамен в рамках проводимой промежуточную аттестацию

Баллы за текущую успеваемость*	Баллы за промежуточную аттестацию		Оценка
	Суммарное количество баллов**	Баллы за решение задач**	
0	0...2	0	«неудовлетворительно»
6	3	не менее 1	«удовлетворительно»
6	4...5	не менее 2	«хорошо»
6	6	не менее 2	«отлично»

*) количество баллов рассчитывается в соответствии с таблицей 5.1.;

**) количество баллов рассчитывается в соответствии с таблицей 5.2.

5.2. Оценочные средства для контроля освоения дисциплины

5.2.1 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в ходе текущего контроля успеваемости

Типовые задания к практическим (семинарским) занятиям (темы докладов/сообщений)

№ 1 Расчет осевого микромеханического чувствительного элемента

1. Определить жесткость упругих подвесов исходя из заданного диапазона измеряемого ускорения.
2. Определить толщину подвесов для упругих элементов.
3. Оценить вариацию жесткости по технологическим допускам на конструктивные параметры $\Delta h_{\Pi} = \pm 1$ мкм; $\Delta A = \Delta B = \Delta a_{\Pi} = \Delta b_{\Pi} = \pm 5$ мкм.
4. Определить передаточную функцию чувствительного элемента. Определить коэффициенты передаточной функции

№ 2 Расчет маятникового микромеханического чувствительного элемента

1. Определить жесткость упругих подвесов исходя из заданного диапазона измеряемого ускорения.
2. Определить толщину подвесов для упругих элементов.
3. Оценить вариацию жесткости по технологическим допускам на конструктивные параметры $\Delta h_{\Pi} = \pm 1$ мкм; $\Delta A = \Delta B = \Delta a_{\Pi} = \Delta b_{\Pi} = \pm 5$ мкм.
4. Определить передаточную функцию чувствительного элемента. Определить коэффициенты передаточной функции.
5. Определить температурную погрешность чувствительного элемента и подобрать оптимальную толщину напыления алюминиевой пленки на стеклянную неподвижную обкладку

№ 3 Расчет микромеханической мембраны датчика давления

1. Определить жесткость мембраны исходя из заданного диапазона измерения ($P_{\max}$)/
2. Определить толщину для кремниевой мембраны h_m .
3. Оценить вариацию жесткости исходя из технологической погрешностей воспроизведения конструктивных параметров:

$$\Delta h_m = \pm 1 \text{ мкм; } \Delta A = \Delta B = \Delta a_{\text{ж}} = \Delta b_{\text{ж}} = \pm 5 \text{ мкм.}$$

4. Определить передаточную функцию идеальной кремниевой мембраны. Найти коэффициенты передаточной функции с учетом анизотропных свойств исходного материала.
5. Определить угловые жесткости кремниевой мембраны и оценить ошибку крутизны статической характеристики мембраны.

6. Определить угловые коэффициенты демпфирования.

№4 Динамическая модель микромеханической мембраны с жестким центром

1. Определить толщину мембраны исходя из заданного диапазона измеряемого давления.
2. Определить идеальную передаточную функцию кремниевой мембраны.
3. Определить полную передаточную функцию с учетом появления дополнительных степеней свободы (линейные + угловые).

№ 5 Демпфирование перфорированных микромеханических чувствительных элементов маятникового типа

1. Определить жесткость упругого подвеса работающего на изгиб.
2. Определить коэффициент демпфирования перфорированного чувствительного элемента.
3. Определить передаточную функцию чувствительного элемента маятникового типа
4. Определить измерительные емкости при действующем ускорении.
5. Определить выходное напряжение U_1 с выхода усилителя ОУ1.
6. Определить передаточную функцию емкостного преобразователя.

№ 6 Расчет микромеханического емкостного преобразователя перемещений с чувствительным элементом осевого типа

1. Определить жесткость подвесов исходя из конструктивных параметров ЧЭ.
2. Определить перемещение подвижного узла по величине действующего ускорения.
3. Определить передаточную функцию ЧЭ.
4. Определить измерительные емкости при действующем ускорении.
5. Определить выходное напряжение U_1 с выхода усилителя ОУ1.
6. Определить передаточную функцию емкостного преобразователя.

№ 7 Расчет электростатического преобразователя силы микромеханического датчика давления

1. Определить жесткость мембраны исходя из конструктивных параметров ЧЭ.
2. Определить перемещение подвижного жесткого центра по величине действующего давления.
3. Определить передаточную функцию кремниевой мембраны.
4. Определить измерительные емкости при действующем давлении.
5. Определить величину опорного напряжения $U_{оп}$
6. Определить передаточную функцию емкостного преобразователя.
7. Определить электростатические силы для конденсаторов C_1 и C_2 . Определить разностную силу. Определить передаточную функцию канала обратной связи..

Вторая часть

1. Определить зазор между электродами h_0 .
2. Определить жесткость, обеспечиваемую электростатическими силами цепи обратной связи.
3. Определить толщину мембраны.
4. Определить жесткость упругих перемычек.
5. Определить массу мембраны с учетом анизотропии.
6. Определить передаточную функцию микромеханического датчика давления.

№ 8 Демпфирование с помощью механических поглотителей виброэнергии

1. Вычислить массу внешнего контура и центрального подвижного узла.
2. Определить силы инерции, действующие на внешнюю рамку и центральный подвижный узел.
3. Определить осевые жесткости для внешней рамки и центрального подвижного узла.
4. Определить коэффициенты демпфирования для внешней рамки и центрального подвижного узла.
5. Определить передаточную функцию для двойного чувствительного элемента.

6. Определить коэффициент связи.
7. Определить относительные коэффициенты демпфирования для внешнего контура и для центрального подвижного узла

Типовые задания для лабораторных работ

Лабораторная работа №1 «Исследование статической характеристики микромеханического компенсационного акселерометра с магнитоэлектрической обратной связью»

Ход работы:

- 1) Ознакомиться с описанием и принципиальной схемой акселерометра, конструкцией лабораторной установки;
- 2) Подать питание на приборы, убедиться в исправности оборудования;
- 3) Установить акселерометр в исходное положение (по лимбу и световой шкале делительной головки), проконтролировать минимальный выходной сигнал датчика по вольтметру;
- 4) Задавать угловые положения акселерометру поворотом кронштейна делительной головки через 10 угловых градусов в диапазоне от 0 до 90 угловых градусов. При каждом угловом положении фиксировать выходной сигнал;
- 5) По достижении крайнего значения, задавать углы в обратном порядке до 0 градусов с повторной фиксацией значений;
- 6) Вычислить значения выходного сигнала в каждой точке углового положения (по формуле математического ожидания);
- 7) Повторить действия с п. 4 по п.6 в диапазоне от 0 до – 90 угловых градусов
Выполнить перерасчет углов наклона в значение проекции ускорения свободного падения на измерительную ось акселерометра;
- 8) Выполнить построение экспериментальной статической характеристики в диапазоне от -90 до +90 угловых градусов;
- 9) Рассчитать уравнение линеаризующей характеристики методом наименьших квадратов (МНК по прилагаемой методике) отдельно в диапазоне -90...0 и 0...90 угловых градусов;
- 10) Построить графики полученных линейных характеристик (В координатах экспериментальной статической характеристики);
- 11) Рассчитать значения относительной погрешности линеаризации в диапазоне от -90 до +90 угловых градусов (через каждые 10 градусов наклона);
- 12) Построить график относительной погрешности;
- 13) Проанализировать результаты, сделать выводы и предположения о характере и причинах нелинейности, различиях в чувствительности по диапазонам;
- 14) Оформить отчет;
- 15) Ответить на вопросы преподавателя.

Лабораторная работа №2 «Исследование статической характеристики микромеханического датчика избыточного давления с тензопреобразователем»

Ход работы

- 1) Ознакомиться с описанием и принципиальной схемой датчика, конструкцией лабораторной установки;
- 2) Подать питание на приборы, убедиться в исправности оборудования;
- 3) Установить относительное давление в пневмосистеме равным нулю, открыв атмосферный клапан ручного насоса (контролируя по показаниям манометра), проконтролировать минимальный выходной сигнал датчика по вольтметру;
- 4) Закрыть атмосферный клапан насоса, перевести клапан режима насоса в режим «Давление»;
- 5) Задавать давление в пневмосистеме вращением руки насоса. Давление задавать в диапазоне от 0 до 200 кГс/см² с шагом 10 кГс/см². При каждом значении давления фиксировать выходной сигнал;
- 6) По достижении крайнего значения, зафиксировать максимальное давление и поддерживать его в течении 30 минут;
- 7) Плавно открывая атмосферный клапан насоса стравливать давление в системе до нуля с шагом 10 кГс/см². При каждом значении давления фиксировать выходной сигнал;
- 9) Выполнить построение экспериментальной статической характеристики в диапазоне в

диапазоне от 0 до 200 кГс/см²;

10) Рассчитать уравнение линеаризующей характеристики методом наименьших квадратов (МНК по прилагаемой методике) отдельно для набора и для сброса давления;

11) Построить графики полученных линейных характеристик (В координатах экспериментальной статической характеристики);

12) Рассчитать значения относительной погрешности линеаризации в диапазоне измерения (через каждые 10 кГс/см² градусов наклона);

13) Построить график относительной погрешности линейности;

14) Проанализировать результаты, сделать выводы и предположения о характере и причинах нелинейности, различиях в чувствительности, гистерезисе при наборе и сбросе давления;

15) Оформить отчет

16) Ответить на вопросы преподавателя.

Лабораторная работа №3 «Исследование статической характеристики микромеханического датчика угловой скорости камертонного типа»

Ход работы

1) Ознакомиться с описанием и принципиальной схемой датчика, конструкцией установки;

2) Подать питание на приборы, убедиться в исправности оборудования

3) Установить положение ДУС по центру стола поворотной установки

4) Установить эксцентрик задатчика скорости поворотной установки в минимальное положение скорости (значение контролировать по лимбу эксцентрика).

5) Не включая тумблера направления на поворотной установке, зафиксировать нулевой сигнал ДУС

6) Включить тумблер направления вращения по «часовой стрелке».

7) Задавать угловые скорости датчику вращением эксцентрика регулятора скорости в диапазоне от 0 до 150 град/сек с шагом 10 град/сек. При каждом значении угловой скорости фиксировать выходной сигнал;

8) По достижении максимальной скорости вращения вращением ручки регулятора убавлять скорость до нуля с шагом 10 град/сек с повторной фиксацией значений выходного сигнала

9) Вычислить значения выходного сигнала в каждой точке угловой скорости (по формуле математического ожидания);

10) Повторить действия п. 6 - 10 в диапазоне от 0 до - 150 град/сек.

11) Выполнить построение экспериментальной статической характеристики в диапазоне от -150 до +150 град/сек;

10) Рассчитать уравнение линеаризующей характеристики методом наименьших квадратов (МНК по прилагаемой методике) отдельно в диапазоне -150...0 и 0...150 град/сек;

11) Построить графики полученных линейных характеристик (В координатах экспериментальной статической характеристики);

12) Рассчитать значения относительной погрешности линеаризации в диапазоне от -150 до +150 град/сек; (через каждые 10 град/сек);

13) Построить график относительной погрешности;

14) Проанализировать результаты, сделать выводы и предположения о характере и причинах нелинейности, различиях в чувствительности по диапазонам, наличии нулевого сигнала;

15) Оформить отчет

16) Ответить на вопросы преподавателя.

Лабораторная работа №4 «Исследование динамических и частотных характеристик микромеханического акселерометра при гармонических и шев-виброиспытаниях»

Ход работы

1) Ознакомиться с описанием и принципиальной схемой испытуемого датчика, конструкцией лабораторной виброустановки;

2) Подать питание на приборы, убедиться в исправности оборудования

3) Запустить интерфейсный системный блок, дождаться полной загрузки

4) Запустить процессорный системный блок, дождаться сигнала блока о готовности

5) Наклоном вибростола установить положение измерительной оси акселерометра перпен-

дикулярно горизонту

- 6) Запустить программу виброиспытаний (Scalar)
- 7) Выбрать режим испытаний при гармонической вибрации (Sine) колебаниях
- 8) В окне настроек установить режим качания (с постоянной скоростью), диапазон частот, и амплитуду качания.
- 9) Нажатием кнопки (Init) выполнить проверку условий
- 10) Режим претестирования, нажав кнопку (Pretest)
- 11) Дождаться окончания режима претестирования и сигнала системы о готовности к испытанию
- 12) Запустить испытание кнопкой «Старт»
- 13) Наблюдать графики выходного напряжения в реальном времени, напряжения от задаваемого ускорения (зафиксировать скриншоты для нескольких частот), построение графиков АЧХ и ФЧХ
- 14) По окончании испытания зафиксировать скриншоты графиков напряжения АЧХ и ФЧХ
- 15) Наклоном вибростола установить положение измерительной оси акселерометра параллельно горизонту.
- 16) Повторить выполнение пунктов работы с п.5 по п.13
- 17) Выполнить пункты с п.5 по п.7 установив режим испытания ШСВ (Random)
- 18) Выполнить испытания в режиме ШСВ при перпендикулярном положении оси датчика в соответствии с требованиями пунктов с п.8 по п.14
- 19) Выполнить испытания в режиме ШСВ при горизонтальном положении оси датчика в соответствии с требованиями пунктов с п.8 по п.14
- 20) Сравнить экспериментальные графики выходных сигналов, АЧХ, ФЧХ) Проанализировать результаты, сделать выводы и предположения о наличии резонансов и искажений частотных характеристиках, фазовых сдвигах выходного сигнала, частоте пропускания датчика, параметрах динамики.
- 21) Оформить отчет
- 22) Ответить на вопросы преподавателя.

Лабораторная работа №5 «Температурные исследования характеристик микромеханических акселерометров»

- 1) Ознакомиться с описанием и схемой испытуемых датчиков, конструкцией лабораторной климатической камеры;
- 2) Подать питание на приборы, убедиться в исправности оборудования
- 3) Вращением ручек поворотного кронштейна задать положение измерительных осей акселерометров совмещенное с ортогональной системой координат (оси X, Y горизонтально, ось Z - вертикально);
- 4) Плотнo закрыть отсек климатической камеры, закрыть уплотнителем технологический канал проводов, открыть дренажный клапан компрессорно-охладительного отсека установки;
- 5) Зафиксировать исходную температуру в камере, по показаниям терморегулятора;
- 6) Зафиксировать показания выходных сигналов по всем осям и у каждого акселерометра при текущей температуре;
- 7) Установить на терморегуляторе температуру - 40°C, включить установку и дождаться установки температуры в отсеке камеры;
- 8) Зафиксировать показания выходных сигналов по всем осям и у каждого акселерометра при установленной температуре;
- 9) Поочередно увеличивать температуру в отсеке камеры до +60°C (через 10°C) и, выждав установку температуры при каждом значении в течении 5 минут, фиксировать показания выходных сигналов по всем осям и у каждого акселерометра при установленной температуре;
- 10) По достижении максимальной температуры +60°C, снять показания, отключить компрессор и открыть отсек климатической камеры
- 11) Вращением ручек поворотного кронштейна задать положение измерительных осей акселерометров под углами 45 ко всем осям к ортогональной системе координат (оси X, Y, Z – наклон 45 градусов по отношению к первоначальному значению);
- 12) Повторить выполнение пунктов с п.7 по п. 10, но при обратном ходе температуры (от +60°C до - 40°C через каждые 10°C) с фиксацией показаний выходных сигналов по всем осям и у

каждого акселерометра при установленной температуре;

13) Выполнить построение графиков выходных сигналов как функций от температуры по каждой оси при условиях п.3 (для каждого акселерометра отдельная система координат графика)

14) Выполнить построение графиков выходных сигналов как функций от температуры по каждой оси при условиях п.11 (для каждого акселерометра отдельная система координат графика)

15) По окончании испытания выставить первоначальную температуру (см. п.5), открыть заглушку технологического канала проводов, дождаться просушки конденсата в камере. По окончании открыть отсек камеры.

16) Для каждого графика определить коэффициент среднего наклона температурной характеристики по методу наименьших квадратов МНК.

17) Сравнить графики температурной характеристики по одному акселерометру (при условии изменения угла пространственного положения) и по обоим акселерометрам (при одинаковых углах пространственного положения). Сравнить значения коэффициентов среднего наклона.

18) Проанализировать результаты, сделать выводы и предположения о наличии температурного дрейфа выходных сигналов акселерометров по осям, наличии расхождений в температурных характеристиках по акселерометрам, нелинейностях температурных характеристик в зонах «холода» и «тепла», расхождении наклонов температурной чувствительности при изменении углов пространственного положения

19) Оформить отчет

20) Ответить на вопросы преподавателя.

Типовые вопросы (задания) для устного (письменного) опроса

1. Приведите основные понятия и определения МЭМС.
2. Сравните характеристики микросистемных акселерометров с одномассовым и с двухмассовым ЧЭ.
3. Разработайте алгоритмы и компьютерные программы для исследования характеристик
4. Установите соотношение для настройки электростатического датчика обратной связи для случая, когда сами температурные коэффициенты линейно зависят от температуры.
5. Объясните влияние числа степеней свободы микромеханических подвижных узлов на точность датчиков ускорений.
6. Приведите необходимые условия эффективного применения электромагнитного преобразователя силы (момента) для микросистемного применения.
7. Объясните особенности преобразователей перемещений на полевом эффекте.
8. Объясните принцип действия и математическое описание работы пьезоэлектрического гироскопа.
9. Каким образом выполняют температурную коррекцию в тензометрическом преобразователе на ПАВ
10. Что является информационным параметром в микросистемном датчике влажности.

Типовые тестовые задания

Вопрос 1

Пока нет ответа

Балл: 1,00

С помощью какого элемента МЭМС формируется необходимая форма выходного сигнала

Выберите один ответ:

- ☐ Микродатчик
- ☐ Микроэлектроника
- ☐ Актуатор
- ☐ Микроструктура

Вопрос 1

Пока нет ответа

Балл: 1,00

У какого кремния проявляется анизотропность свойств

Выберите один ответ:

- ☐ Анизотропность у кремния не проявляется
- ☐ У поликристаллического кремния
- ☐ У аморфного кремния
- ☐ У монокристаллического кремния

Вопрос 1

Пока нет ответа

Балл: 1,00

Как располагаются подвесы в Z-образных чувствительных элементах

Выберите один ответ:

- ☐ Совпадают с осями X и Z
- ☐ Параллельны осям X и Z
- ☐ Параллельны оси Z
- ☐ Совпадают с осью Y

Вопрос 1

Пока нет ответа

Балл: 1,00

Какой преобразователь основан на изменении сопротивления в рамках канала проводимости

Выберите один ответ:

- ☐ Струнный преобразователь
- ☐ Преобразователь на полевом эффекте
- ☐ Тензорестивный преобразователь
- ☐ Преобразователь на поверхностно-акустических волнах

5.2.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта в ходе промежуточной аттестации по дисциплине

Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине: зачет/экзамен/защита курсовой работы. Возможно проведение промежуточной аттестации в устно-письменной форме по экзаменационным билетам, по результатам накопительного рейтинга или в форме компьютерного тестирования.

Защита курсовой работы. Результаты защиты курсовой работы выставляются по пятибалльной системе оценивания («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»).

Перечень вопросов к защите курсовой работы (ПКС-1, ИПКС 1.1; ИПКС 1.2; ИПКС 1.3; ПКС-2, ИПКС 2.3; ИПКС 2.5; ИПКС 2.6; ПКС-4, ИПКС 4.1; ИПКС 4.2; ИПКС 4.3; ПКС 5; ИПКС 5.1; ИПКС 5.2):

1. Определите тип используемого чувствительного элемента.
2. Определите тип первичного преобразователя.
3. Дайте пояснения по принципу действия первичного преобразователя.
4. Определите основные характеристики монокристаллического кремния для формирования чувствительного элемента.
5. С помощью каких технологических процессов формируются механические элементы и элементы электронного преобразователя.
6. Определите основные элементы реализации электронного блока.

7. Дайте пояснения по принципу действия проектируемого микромеханического преобразователя.
8. Дайте пояснения по структурной схеме микромеханического преобразователя.
9. Дайте пояснения по полученным статическим и динамическим характеристикам проектируемого микромеханического преобразователя.
10. Поясните природу основных погрешностей микромеханического преобразователя.

Перечень вопросов и заданий для подготовки к зачету (ПКС-1, ИПКС 1.1; ИПКС 1.2; ИПКС 1.3; ПКС-2, ИПКС 2.3; ИПКС 2.5; ИПКС 2.6; ПКС-4, ИПКС 4.1; ИПКС 4.2; ИПКС 4.3)

1. Определение МЭМС. Состав МЭМС.
2. Области применения МЭМС.
3. Основные параметры МЭМС.
4. Структура информационно-измерительного канала
5. Монокристаллический и поликристаллический кремния.
6. Кремневые компаунды: оксид кремния, карбид кремния, нитрид кремния.
7. Металлы в МЭМС: основные проводники и материалы для формирования подслоев
8. Типы и состав чувствительных элементов микромеханических акселерометров.
9. Конструирование осевых и маятниковых микромеханических подвижных узлов приборов.
10. Передаточные функций осевых и маятниковых чувствительных элементов.
11. Расчёт параметров передаточных функций для упругих систем с вязкостным и гистерезисным демпфированием
12. Типы и состав чувствительных элементов микромеханических датчиков давления.
13. Конструирование микромеханических подвижных узлов датчиков давления.
14. Передаточные функций чувствительных элементов микромеханических датчиков давления.
15. Расчёт параметров передаточных функций кремниевых мембран датчиков давления
16. Типы и состав чувствительных элементов микромеханических гироскопов.
17. Конструирование микромеханических подвижных узлов микромеханических гироскопов LL-типа, LR – типа, RR-типа.
18. Емкостные преобразователи перемещений. Принцип действия, конструкционные решения, определение основных характеристик преобразователя. Оценка температурных напряжений.
19. Преобразователи перемещений на МДП-транзисторе. Принцип действия, конструкционные решения, определение основных характеристик преобразователя
20. Тензорезисторные преобразователи деформации. Принцип действия, конструкционные решения, определение основных характеристик преобразователя.
21. Преобразователи деформаций на поверхностно-акустических волнах и на струне.
22. Принцип действия, конструкционные решения, определение основных характеристик преобразователей
23. Структурные и измерительные цепи осевых и маятниковых микромеханических акселерометров прямого измерения.
24. Определение передаточной функции осевых и маятниковых микромеханических акселерометров прямого измерения
25. Структурные и измерительные цепи микромеханических датчиков давления прямого измерения.
26. Определение передаточной функции микромеханических датчиков давления прямого измерения

Перечень вопросов и заданий для подготовки к экзамену (ПКС-1, ИПКС 1.1; ИПКС 1.2; ИПКС 1.3; ПКС-2, ИПКС 2.3; ИПКС 2.5; ИПКС 2.6; ПКС-4, ИПКС 4.1; ИПКС 4.2; ИПКС 4.3; ПКС 5; ИПКС 5.1; ИПКС 5.2):

1. МЭМС. Структура, взаимодействие компонентов. Микродатчики. Актюаторы. Преобразователи.
2. Области применения микромеханических систем. Определяющие параметры.
3. Структура информационно-измерительного канала МЭМС.

4. Технологические процессы при формировании МЭМС (объемная микромеханическая обработка, глубокое реактивное ионное травление, поверхностная микромеханическая обработка, LIGA-технология).
5. Достоинства МЭМС. Конструкционная база МЭМС. Кремний как конструкционный материал.
6. Кремниевая объемная микрообработка. Кремниевая поверхностная микрообработка.
7. LIGA-технология, SLIGA-технология, HART-технология, микростереолитография.
8. Изготовление микроэлектронных средств.
9. Сборка микромеханических приборов (термокомпрессионная сварка, микроконтактная сварка).
10. Чувствительные элементы первичных преобразователей МЭМС. Осевые и маятниковые ЧЭ микромеханических акселерометров.
11. Чувствительные элементы датчиков давления.
12. Прямые и обратные преобразователи.
13. Емкостные преобразователи перемещений.
14. Преобразователь перемещений на МДП - транзисторе с оторванным затвором.
15. Тензорезисторные преобразователи деформаций.
16. Преобразователи деформаций на поверхностно-акустических волнах и на струне.
17. Электростатические преобразователи.
18. Микродвигатели и микрогироскопы.
19. Магнитоэлектрические преобразователи.
20. Электромагнитные преобразователи.
21. Принципы построения и конструкции акселерометров (классификация по принципу измерения, основные характеристики).
22. Осевые акселерометры (акселерометры фирмы *Endevco*, *Analog Devices*, *ADXL*,).
23. Маятниковые акселерометры.
24. Трехосные акселерометры B290-TRIAD, акселерометры АЛЕ, Q-Flex, акселерометры “ТЕМП-АВИА”.
25. Маятниковые акселерометры работающие на кручение.
26. Уравнения движения маятникового чувствительного элемента акселерометра.
27. Уравнения движения осевого чувствительного элемента акселерометра
28. Уравнения движения и передаточная функция датчика давления.
29. Измерительные цепи и передаточные функции осевых акселерометров прямого измерения.
30. Измерительные цепи и передаточные функции маятниковых акселерометров прямого измерения.
31. Акселерометр с электростатической обратной связью.
32. Акселерометр с магнитоэлектрической обратной связью.
33. Структурная схема и передаточная функция акселерометра с магнитоэлектрической обратной связью.
34. Структурная схема и передаточная функция акселерометра с электростатической обратной связью.
35. Поликристаллический кремний, арсенид галлия, кремниевые компаунды – как конструкционные материалы МЭМС.
36. Металлические материалы применяемые в МЭМС.
37. Датчики давления прямого измерения. Измерительные цепи и передаточные функции.
38. Датчики давления с электростатической обратной связью.
39. Датчики давления с магнитоэлектрической обратной связью.
40. Динамическая модель интегральной мембраны с жестким центром.

Задания для промежуточной аттестации

1. Определите показатель жесткости для осевого чувствительного элемента микромеханического акселерометра, если масса составляет 15 мг, действующее ускорение – 5g, величина перемещения составляет 5 мкм. (147 Н/м).
2. Определить максимальный угол отклонения конца маятника чувствительного элемента микромеханического акселерометра при действии ускорения 2g, массе 18 мг, расстоянии до центра тяжести подвижной массы до жесткой заделки подвеса с корпусной пластиной 2,5 мм, угловой жесткости – 0,005 Нм ($1,76 \cdot 10^{-4}$ рад).

3. Определить показатель жесткости для мембраны микромеханического датчика давления, если диапазон измеряемого давления составляет 100 кПа, размеры мембраны 5*5 мм, величина перемещения мембраны составила 3 мкм ($8,33 \cdot 10^5$ Н/м).
4. Определите конструктивное решение для микромеханического акселерометра прямого измерения (чувствительный элемент осевого (маятникового) типа, первичный преобразователь – емкостной и электронный блок обработки сигнала).
5. Определите конструктивное решение для микромеханического датчика давления компенсационного типа (мембрана с жестким центром, первичный преобразователь – емкостной, электронный блок обработки сигнала, актюатор (обратный преобразователь) - магнитоэлектрический).
6. Определите структурную схему для акселерометра с осевым чувствительным элементом прямого измерения.
7. Определите структурную схему для акселерометра прямого измерения с маятниковым чувствительным элементом.

Примерный тест для итогового тестирования:

Вопрос 1 Пока нет ответа Балл: 1,00	Как располагается ось чувствительности линейного акселерометра Выберите один ответ: ☐ Совпадает с направлением измеряемого ускорения ☐ Располагается под некоторым углом к измеряемому ускорению ☐ Совпадает с направлением углового ускорения ☐ Перпендикулярна направлению измеряемого ускорения.
Вопрос 1 Пока нет ответа Балл: 1,00	Каким образом можно обеспечить линейность выходной характеристики при работе тензорезистивного преобразователя Выберите один или несколько ответов: ☐ Включить в противоположные плечи резисторы, работающие на один тип деформации и имеющие один тип проводимости ☐ Включить в противоположные плечи резисторы, работающие на один тип деформации, но имеющие разный тип проводимости ☐ Включить в смежные плечи резисторы, работающие на один тип деформации и имеющие один тип проводимости ☐ Включить в смежные плечи резисторы, у которых один будет работать на растяжение, другой на сжатие. Но оба будут иметь один тип проводимости
Вопрос 1 Пока нет ответа Балл: 1,00	Как располагаются подвесы в Z-образных чувствительных элементах Выберите один ответ: ☐ Совпадают с осями X и Z ☐ Параллельны осям X и Z ☐ Параллельны оси Z ☐ Совпадают с осью Y

5.3. Процедура оценивания результатов обучения по дисциплине

Процедура оценивания формируемых в рамках дисциплины компетенций (элементов компетенций) состоит из следующих этапов:

1. Текущий контроль (описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе текущей аттестации представлены в табл. 5.1, задания в п. 5.2.1).
2. Промежуточная аттестация (описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания на этапе промежуточной аттестации представлены в табл. 5.2, задания в п. 5.2.2).

Для всего перечня формируемых компетенций (элементов компетенций) дисциплины проводится процедура оценки результатов обучения (табл. 5.3).

Таблицы 5.3 – Процедура, критерии и методы оценивания результатов обучения

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов				Методы оценивания
	1 критерий – отсутствие усвоения «неудовлетворительно»	2 критерий – не полное усвоение «удовлетворительно»	3 критерий – хорошее усвоение «хорошо»	4 критерий – отличное усвоение «отлично»	
ПКС 1, ИПКС1.1, ИПКС 1.2, ИПКС 1.3					
Знать: – знать и совершенствовать свои знания по известным физическим принципам действия информационных устройств в рамках создания микроэлектромеханических систем;	Отсутствие усвоения знаний	Недостаточно уверенно понимает и может объяснять полученные знания	На достаточно высоком уровне понимает и может объяснять полученные знания	Отлично понимает и может объяснять полученные знания, демонстрирует самостоятельную познавательную деятельность	Участие в обсуждении дискуссионных материалов на лекциях Тестирование Промежуточная аттестация
Уметь: - уметь осуществлять обзор прототипных изделий и уметь выбирать тактико-технические требования к заданиям; - уметь формулировать технические требования к блокам микроэлектромеханических систем	Не демонстрирует умения	Не уверенно демонстрирует умения	Достаточно уверенно демонстрирует умения	Отлично демонстрирует умения	Выполнение курсовой работы.
Владеть: - навыками работы со справочными материалами и компьютерными базами данных по разработке микросистемных приборов; - навыками анализа возможности использования готовых решений банка знаний, аналогичных текущим требованиям	Не демонстрирует навыки	Не уверенно демонстрирует навыки	Достаточно уверенно демонстрирует навыки	Отлично демонстрирует самостоятельные навыки	Выполнение курсовой работы Тестирование. Промежуточная аттестация
ПКС- 2, ИПКС-2.3, ИПКС-2.5, ИПКС-2,6					
Знать: – знать основы проектирования микросистемных информационных средств - знать основы микросистемной техники	Отсутствие усвоения знаний	Недостаточно уверенно понимает и может объяснять полученные знания	На достаточно высоком уровне понимает и может объяснять полученные знания	Отлично понимает и может объяснять полученные знания, демонстрирует самостоятельную познавательную деятельность	Участие в обсуждении дискуссионных материалов на лекциях Тестирование Промежуточная аттестация
Уметь: - уметь разбивать функциональное описание микроэлектромеханической системы на практически используемые технические реализации и подблоки; - уметь разбивать поведенческое описание микроэлектромеханической системы на практически используемые технические реализации и подблоки;	Не демонстрирует умения	Не уверенно демонстрирует умения	Достаточно уверенно демонстрирует умения	Отлично демонстрирует умения	Промежуточная аттестация Практические занятия Лабораторные работы
Владеть: - навыками формирования набора возможных способов реализации чувствительных элементов и от-	Не демонстрирует навыки	Не уверенно демонстрирует навыки	Достаточно уверенно демонстрирует навыки	Отлично демонстрирует самостоятельные навыки	Промежуточная аттестация Практические занятия Лабораторные работы

дельных блоков микроэлектромеханических систем					
ПКС 4, ИПКС 4.1, ИПКС 4.2, ИПК 4.3					
Знать: - знать принципы построения и функционирования микроэлектромеханических систем; - знать физические и математические модели приборов и схем микроэлектромеханических устройств различного функционального назначения; - знать в своей области необходимые компьютерные программы проектирования, оптимизации и обработки получаемой информации;	Отсутствие усвоения знаний	Недостаточно уверенно понимает и может объяснять полученные знания	На достаточно высоком уровне понимает и может объяснять полученные знания	Отлично понимает и может объяснять полученные знания, демонстрирует самостоятельную познавательную деятельность	Участие в обсуждении дискуссионных материалов на лекциях Тестирование Промежуточная аттестация
Уметь: - уметь осуществлять компьютерное моделирование приборных устройств и систем; – уметь создавать техническую документацию с применением современных средств разработки;	Не демонстрирует умения	Не уверенно демонстрирует умения	Достаточно уверенно демонстрирует умения	Отлично демонстрирует умения	Промежуточная аттестация Практические занятия Лабораторные работы
Владеть: – навыками оптимальных решений при создании микросистемных приборов; - навыками разработки спецификации блоков микроэлектромеханических систем; - определение окончательной архитектуры микроэлектромеханических систем	Не демонстрирует навыки	Не уверенно демонстрирует навыки	Достаточно уверенно демонстрирует навыки	Отлично демонстрирует самостоятельные навыки	Промежуточная аттестация (курсовой работы) Практические занятия Лабораторные работы
ПКС 5, ИПКС 5.1, ИПКС 5.2					
Знать: - знать базовые принципы функционирования и конструкции типовых микроэлектромеханических систем; - знать основы микромеханики - знать основные свойства материалов, используемых в типовых конструкциях микроэлектромеханических систем - знать методы расчета параметров и основных характеристик моделей, используемых при проектировании микроэлектромеханических систем	Отсутствие усвоения знаний	Недостаточно уверенно понимает и может объяснять полученные знания	На достаточно высоком уровне понимает и может объяснять полученные знания	Отлично понимает и может объяснять полученные знания, демонстрирует самостоятельную познавательную деятельность	Участие в обсуждении дискуссионных материалов на лекциях Тестирование Промежуточная аттестация
Уметь: - уметь собирать и анализировать научно-техническую информацию по используемым конструкциям микроэлектромеханических систем, принципам их работы, используемым материалам и методам изготовления	Не демонстрирует умения	Не уверенно демонстрирует умения	Достаточно уверенно демонстрирует умения	Отлично демонстрирует умения	Промежуточная аттестация Практические занятия Лабораторные работы

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1 Основная литература

6.1.1. Вавилов В.Д. Теоретические основы микросистемных акселерометров и гироскопов [Текст]: Учебное пособие / В. Д. Вавилов. - Рекомендовано УМО вузов РФ по образованию в области приборостроения и оптоэлектроники для студ. спец.200103 "Авиационные приборы и измерительно-вычислительные комплексы", 200106 "Информационно-измерительная техника и технологии". - Н.Новгород: НГТУ, 2011. - 210 с. – 146 экз.

6.1.2. Вавилов, В.Д. Компьютерное моделирование характеристик микросистемных датчиков [Текст]: Учебное пособие / В. Д. Вавилов. - Рекомендовано УМО по образованию. - Н.Новгород: НГТУ, 2007. - 80 с. – 150 экз.

6.1.3. Распопов, В.Я. Микромеханические приборы [Текст]: Учебное пособие / В. Я. Распопов. - Допущено Министерством образования и науки РФ. - М.: Машиностроение, 2007. - 400 с. -23 экз.

6.1.4. Долгов, А. Н. Схемотехника интегральных датчиков: учебное пособие / А. Н. Долгов. — Саратов: Ай Пи Ар Медиа, 2020. — 149 с. — ISBN 978-5-4497-0431-3. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/91126.html> (дата обращения: 20.12.2021). — Режим доступа: для авторизир. Пользователей

6.1.5. Вавилов, В. Д. Микросистемные датчики физических величин: монография в двух частях / В. Д. Вавилов, С. П. Тимошенко, А. С. Тимошенко. — Москва: Техносфера, 2018. — 550 с. — ISBN 978-5-94836-498-8. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/84690.html> (дата обращения: 20.12.2021). — Режим доступа: для авторизир. Пользователей

6.2 Дополнительная литература

6.2.1. Вавилов, В.Д. Интегральные датчики [Текст]: Учебник / В. Д. Вавилов. - Рекомендовано УМО вузов РФ по образованию в области авиации, ракетостроения и космоса в кач. учебника. - Н.Новгород: НГТУ, 2003. - 503 с. 148 экз.

6.2.2. Фрайден, Дж. Современные датчики. Справочник [Текст] / Фрайден Дж.; Пер. с англ. Ю.А. Заболотной, под. ред. Е.Л.Свинцова. - М.: Техносфера, 2006; 2005. - 592 с. - (Мир электроники). – 50 экз.

6.2.3. Джексон, Р.Г. Новейшие датчики [Текст]: Пер. с англ. / Р. Г. Джексон ; Под ред. В.В. Лучинина. - М.: Техносфера, 2007. - 384 с. - (Мир электроники). – 16 экз.

6.2.4. Липатов, Г. И. Компоненты микросистемной техники: учебное пособие / Г. И. Липатов. — Воронеж: Воронежский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019. — 83 с. — ISBN 978-5-7731-0799-6. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/93319.html> (дата обращения: 20.12.2021). — Режим доступа: для авторизир. Пользователей

6.3 Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям

6.3.1. Методические указания и задания к лабораторным работам по дисциплине «Микроэлектромеханические системы»; утверждены на заседании кафедры АПУ 04.06.2021 протокол № 4.

6.3.2. Методические указания и задания к практическим занятиям по дисциплине «Микроэлектромеханические системы»; утверждены на заседании кафедры АПУ 04.06.2021 протокол № 4.

6.3.3. Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Микроэлектромеханические системы»;

7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля), включая электронные библиотечные и информационно-справочные системы

7.1.1 Электронно-библиотечная система издательства «IPRbooks». Режим доступа: www.iprbookshop.ru.

7.1.2 Электронно-библиотечная система издательства «Лань». Режим доступа: <http://e.lanbook.com/>.

7.2 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства необходимого для освоения дисциплины

7.2.1 AutoCAD v.15.

7.2.2 Matlab/ Trace Mode 6.1

7.2.3 Microsoft Office

7.2.4 Labview

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ

В таблице 8.1 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к ограничениям здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования.

Таблица 8.1 – Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ

Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ	Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования
ЭБС «IPRbooks»	Специальное мобильное приложение IPR BOOKS WV-Reader
ЭБС «Лань»	Синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Учебные аудитории для проведения занятий по дисциплине (модулю), оснащены оборудованием и техническими средствами обучения.

В таблице 9.1 перечислены:

- учебные аудитории для проведения учебных занятий, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения;

- помещения для самостоятельной работы обучающихся, которые оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду АПИ НГТУ.

Таблица 9.1 – Оснащенность аудиторий и помещений для проведения занятий и самостоятельной работы студентов по дисциплине (модулю)

Наименование аудиторий и помещений для проведения занятий и самостоятельной работы	Оснащенность аудиторий и помещений для проведения занятий и самостоятельной работы
316 - Кабинет самоподготовки студентов г. Арзамас, ул. Калинина, дом 19	рабочих мест студента – 26 шт; ПК, с выходом на телевизор LG - 1 шт. ПК с подключением к интернету -5шт.
Аудитория 9 (Кафедра АПУ) г. Арзамас, ул. Калинина, дом 19	проектор Beng, компьютеры Pentium 4 - 1 шт., доска магнитно-маркерная, экран, мультимедийный проектор BenQMP622 посадочных мест - 32, шкаф для методической литературы - 3шт.
Аудитория 7 (кафедра АПУ) г. Арзамас, ул. Калинина, дом 19	Доска магнитно-маркерная, посадочных мест -22, шкаф для методической литературы, лабораторные столы - 6шт., вольтметр универсальный В7-78/1, генератор INSTEK GRS-6032A, персональный компьютер (Пакет Microsoft Office/ Matlab/ Trace Mode 6.1.). - 4шт. Оптическая делительная головка - ОДГ - 5 шт., Источники питания стабилизированные instek - 2 шт., Осциллограф GPS-1-1 шт., Малогабаритная поворотная установка МПУ-1 - 1 шт. Цифровой вольтметр В7-78/1 - 1 шт; Источник питания стабилизированный 5 в. - 1 шт; Вибростенд V-20 - 1 шт; Компьютер со встроенной системой Labview - 1 шт.
Аудитория 4 (кафедра АПУ) г. Арзамас, ул. Калинина, дом 19	Доска магнитно-маркерная, экран, мультимедийный проектор BenQMP622 , экран, Персональный компьютер-14 шт. с подключением к интернету (Пакет Microsoft Office/ Пакет прикладных программ MatLab, Ansys), Посадочных мест - 23, шкаф для методической литературы

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

10.1 Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

Контактная работа проводится в аудиторной и внеаудиторной форме, а также в электронной информационно-образовательной среде института (далее – ЭИОС). В случае проведения части контактной работы по дисциплине в ЭИОС (в соответствии с расписанием учебных занятий), трудоемкость контактной работа в ЭИОС эквивалентна аудиторной работе.

При преподавании дисциплины используются современные образовательные технологии, позволяющие повысить активность студентов при освоении материала курса и предоставить им возможность эффективно реализовать часы самостоятельной работы.

Весь лекционный материал курса, а также материалы для практических занятий находятся в свободном доступе в СДО MOODLE на странице курса и могут быть проработаны студентами до чтения лекций в ходе самостоятельной работы. Это дает возможность обсудить материал со студентами во время чтения лекций, активировать их деятельность при освоении материала.

На лекциях и практических занятиях реализуются интерактивные технологии, приветствуются вопросы и обсуждения, используется личностно-ориентированный подход, дискуссионные технологии, технологии работы в малых группах, что позволяет студентам проявить себя, получить навыки самостоятельного изучения материала, выровнять уровень знаний в группе.

Все вопросы, возникшие при самостоятельной работе над домашним заданием, подробно разбираются на практических занятиях и лекциях. Проводятся индивидуальные и групповые консультации с использованием, как встреч со студентами, так и современных информационных технологий, таких как форум, чат, внутренняя электронная почта СДО MOODLE.

Иницируется активность студентов, поощряется задание любых вопросов по материалу, практикуется индивидуальный ответ на вопросы студента.

Для оценки знаний, умений и уровня сформированности компетенции в процессе текущего контроля применяется система контроля и оценки успеваемости студентов, представленная в табл. 5.1. Промежуточная аттестация проводится в форме зачета с использованием системы контроля и оценки успеваемости студентов, представленной в табл. 5.2.

10.2 Методические указания для занятий лекционного типа

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины. Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложных и важных положениях изучаемого материала. Материалы лекций являются основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям и выполнения заданий самостоятельной работы, а также к мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.3. Методические указания по освоению дисциплины на лабораторных работах

Подготовку к каждой лабораторной работе студент должен начать с ознакомления с планом занятия, который отражает содержание предложенной темы. Каждая выполненная работа с оформленным отчетом и подлежит защите у преподавателя.

При оценивании лабораторных работ учитывается следующее:

- качество выполнения экспериментально-практической части работы и степень соответствия результатов работы заданным требованиям;
- качество оформления отчета по работе;
- качество устных ответов на контрольные вопросы при защите работы.

10.4 Методические указания по освоению дисциплины на занятиях семинарского типа

Практические (семинарские) занятия представляют собой детализацию лекционного теоретического материала, проводятся в целях закрепления курса и охватывают все основные разделы. Основной формой проведения практических занятий является обсуждение наиболее проблемных и сложных вопросов по отдельным темам, а также решение задач и разбор примеров в аудиторных условиях.

Практические (семинарские) занятия обеспечивают:

- проверку и уточнение знаний, полученных на лекциях;
- развитие умений и навыков дискуссионного обсуждения вопросов по учебному материалу дисциплины, выработки собственной позиции по актуальным вопросам (проблемам);
- подведение итогов занятий (результаты тестирования, готовность отчетов по практическим занятиям, готовность домашних заданий, выполненных в ходе самостоятельной работы).

Приводятся конкретные методические указания для обучающихся по подготовке доклада, выполнению реферата или эссе, требования к их оформлению, порядок сдачи.

10.5 Методические указания по самостоятельной работе обучающихся

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

В процессе самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение основной учебной и справочно-библиографической литературы, представленной в разделе 6.

Для выполнения самостоятельной работы при изучении дисциплины студенты могут использовать специализированные аудитории (см. табл. 9.1), оборудование которых обеспечивает доступ через «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде института и электронной библиотечной системе, где располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы.

Для обучающихся по заочной форме обучения самостоятельная работа является основным видом учебной деятельности.

10.6. Методические указания для выполнения РГР

Учебным планом не предусмотрено

10.7. Методические указания для выполнения курсовой работы

Выполнение курсовой работы способствует лучшему освоению обучающимися учебного материала, формирует практический опыт и умения по изучаемой дисциплине, способствует формированию у обучающихся готовности к самостоятельной профессиональной деятельности, является этапом к выполнению выпускной квалификационной работы.

Типовые задания на курсовую работу

1. Микроэлектромеханические тензорезисторные датчики линейных ускорений.
2. Микроэлектромеханические тензорезисторные датчики угловых ускорений.
3. Микроэлектромеханические акселерометры осевого типа.
4. Микроэлектромеханические акселерометры маятникового типа.
5. Микроэлектромеханические датчики абсолютного давления.
6. Микроэлектромеханические датчики избыточного давления.
7. Микроэлектромеханические гироскопы с чувствительным элементом LL-типа.
8. Микроэлектромеханические гироскопы с чувствительным элементом RR-типа.
9. Микроэлектромеханические акселерометры с магнитоэлектрической обратной связью.

10. Микроэлектромеханические акселерометры с электростатической обратной связью.
11. Микроэлектромеханические акселерометры с электромагнитной обратной связью.
12. Микроэлектромеханические датчики давления с магнитоэлектрической обратной связью.
13. Микроэлектромеханические датчики давления с электростатической обратной связью.
14. Блок чувствительных элементов на МЭМС.

Целью курсовой работы является оценка готовности студента к выполнению профессиональных задач в рамках трудовой деятельности по профессиональному стандарту 29.007 «Специалист по проектированию микро- и наноразмерных электромеханических систем» в рамках обобщенной трудовой функции «Определение возможных вариантов реализации электронных компонентов микромеханической системы».

Исходным документом для разработки является техническое задание. В нем упрощены некоторые технические требования (его назначение, требования к изделию, условия работы) и приведен эскиз чувствительного элемента. Упрощения вызваны учетом объекта работы, отведенного студентам учебным планом, и уровнем их знаний к началу курсового проектирования. Процесс проектирования проводится в соответствии со стадиями его выполнения, регламентированными ГОСТ 2.103-68, согласно которому разработку курсового проекта или курсовой работы можно разделить на следующие этапы:

- анализ аналогичных конструкций по заданию;
- разработка общей структуры и определение принципа действия с учетом технологических аспектов реализации микроэлектромеханического преобразователя;
- расчет основных узлов микроэлектромеханического преобразователя;
- разработка структурной и функциональной схем, на базе которых проводится моделирование для определения статических и динамических характеристик;
- оценка основных погрешностей проектируемого микроэлектромеханического преобразователя.

Пояснительная записка курсовой работе является текстовым документом, содержащим обоснование решений, все виды расчетов, программы, инструкции, спецификации, различные ведомости.

Пояснительная записка к курсовой работе должна включать:

- титульный лист;
- техническое задание;
- аннотацию;
- ведомость курсовой работы;
- содержание;
- введение;
- основную часть;
- заключение;
- список использованной литературы;
- спецификации;
- приложения (при необходимости).

В соответствии с ГОСТ 2.105-95 текст пояснительной записки выполняют одним из следующих способов:

- машинописным, соблюдая требования ГОСТ 13.1.002, шрифт пишущей машинки должен быть четким, высотой не менее 2,5 мм. Цифры и буквы необходимо писать четко, черным шрифтом;
- с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ (ГОСТ 2.004).
- Все расчеты выполняются в системе СИ. При этом для удобства расчетов используют производные единицы длины (мм) и напряжения (Н/мм²). Точность расчетов зависит от определяемой величины и, как правило, не превышает одного-двух знаков после запятой; точность выполнения некоторых расчетов указывается отдельно.

10.8 Методические указания по обеспечению образовательного процесса

1. Методические рекомендации по организации аудиторной работы. Приняты Учебно-

методическим советом НГТУ им. Р.Е. Алексеева, протокол № 2 от 22 апреля 2013 г. Электронный адрес:

https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org_structura/upravleniya/umu/docs/metod_docs_ngtu/metod_rekom_auditorii.PDF.

2. Методические рекомендации по организации и планированию самостоятельной работы студентов по дисциплине. Приняты Учебно-методическим советом НГТУ им. Р.Е. Алексеева, протокол № 2 от 22 апреля 2013 г. Электронный адрес: https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org_structura/upravleniya/umu/docs/metod_docs_ngtu/metod_rekom_srs.PDF.

3. Учебное пособие «Проведение занятий с применением интерактивных форм и методов обучения», Ермакова Т.И., Ивашкин Е.Г., 2013 г. Электронный адрес: https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org_structura/upravleniya/umu/docs/metod_docs_ngtu/provedenie-zanyatij-s-primeneniem-interakt.pdf.

4. Учебное пособие «Организация аудиторной работы в образовательных организациях высшего образования», Ивашкин Е.Г., Жукова Л.П., 2014 г. Электронный адрес: https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org_structura/upravleniya/umu/docs/metod_docs_ngtu/organizaciya-auditornoj-raboty.pdf.

Дополнения и изменения в рабочей программе дисциплины
на 20 ____/20 ____ уч. г.

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института:

Глебов В.В.

« ____ » _____ 20 ____ г.

В рабочую программу вносятся следующие изменения:

1)

2)

или делается отметка о нецелесообразности внесения каких-либо изменений на данный учебный
год

Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры, протокол от _____ № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (ФИО)

Утверждено УМК АПИ НГТУ, протокол от _____ № _____

Зам. директора по УР _____ Шурыгин А.Ю.
(подпись)

Согласовано:

Начальник УО _____ Мельникова О.Ю.
(подпись)

(в случае, если изменения касаются литературы):

Заведующая отделом библиотеки _____ Старостина О.Н.
(подпись)