

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_  
(подпись) Суслин А. В.  
ФИО  
« 31 » 05 2022

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Направление/специальность подготовки	15.03.02 Технологические машины и оборудование
Специализация/профиль/программа подготовки	Компьютерное проектирование технологий и оборудование механообрабатывающих производств
Уровень высшего образования	Бакалавриат
Форма обучения	Очная
Факультет	Е Оружие и системы вооружения
Выпускающая кафедра	Е7 МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА
Кафедра-разработчик рабочей программы	Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ	
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА					
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ		
3	6	4	144	51	17	17	17	93	0	0	93	ЭКЗ.	

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

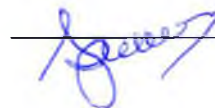
**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

**15.03.02 Технологические машины и оборудование**

год набора группы: 2022

Программу составил:

Кафедра Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И  
УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ  
Егоренков Леонид Семенович, к.т.н., заведующий кафедрой



Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ**

Заведующий кафедрой Егоренков Л.С., к.т.н., снс



Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**Е7 МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА**

Заведующий кафедрой Санников В.А., д.т.н., проф.



# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

## **Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## **Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПСК-2.1 — способность использовать методы стандартных и специальных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей материалов и готовых машиностроительных изделий, прогрессивные методы эксплуатации изделий
УК-1 — способность осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПСК-2.1**

*знания:*

конструкций, принципов работы и области применения МЭМС;  
технологий изготовления МЭМС;

*умения:*

ориентироваться в многообразии технологических основ производства микромеханических приборов;

самостоятельно работать с нормативно-технической документацией;

*навыки:*

применять знания о динамике ЧЭ микромеханических приборов, уравнений движения и передаточных функций микроакселерометров.

### **УК-1**

*знания:*

методов выполнения проектных расчетов элементов МЭМС;

*умения:*

разрабатывать элементную базу МЭМС, удовлетворяющую функциональным требованиям;

*навыки:*

применять профессиональные знания нормативной документации, используемой при разработке МЭМС.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ** является дисциплиной **части**, формируемой участниками образовательных отношений блока 1, программы подготовки по направлению 15.03.02 *Технологические машины и оборудование*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ, ВВЕДЕНИЕ В ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МЕХАНИКА КОМПОЗИТОВ, ИНЖЕНЕРНОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА, МЕТРОЛОГИЯ И ОСНОВЫ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ.**

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ДЕТАЛИ МАШИН И ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ, ИСПЫТАНИЯ ИЗДЕЛИЙ, ИСПЫТАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, МЕТОДОЛОГИЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЙ ТЕХНИКИ, ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНЫХ РЕШЕНИЙ, ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ, ПРАКТИКУМ ПО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ, ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ (ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ) ПРАКТИКА, УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.**

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности
- ОПК-10 — Способен контролировать и обеспечивать производственную и экологическую безопасность на рабочих местах
- ОПК-11 — Способен применять методы контроля качества технологических машин и оборудования, проводить анализ причин нарушений их работоспособности и разрабатывать мероприятия по их предупреждению
- ОПК-2 — Способен применять основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации при решении задач профессиональной деятельности
- ОПК-4 — Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
- ОПК-9 — Способен внедрять и осваивать новое технологическое оборудование
- УК-1 — Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
- УК-2 — Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
- УК-6 — Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме				Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум	Практические занятия		ПСК-2.1	УК-1
3	6	<b>Раздел 1. Конструкции и принципы работы микроэлектромеханических приборов.</b> 1.1 Место микросистемной техники в системе технических инноваций. Основные понятия и определения. 1.2 Осевые и маятниковые акселерометры.	31	10	3	4	3	21	15	15
3	6	<b>Раздел 2. Технологические основы производства микромеханических приборов.</b> 2.1 Материалы: кристаллы (кремний, арсенид галлия, кремниевые композиты), металлы. 2.2 Выращивание и депонирование тонких пленок (эпитаксия, диффузия, ионная имплантация), литография ( фотолитография, электроннолучевая, рентгеновская). 2.3 Травление (изотропное, анизотропное и другие виды). Контроль размерных параметров. 2.4 Изготовление микроструктур (базовые технологии формообразования, микроэлектронные элементы).	27	8	4	0	4	19	5	5
3	6	<b>Раздел 3. Элементная база микромеханических приборов.</b> 3.1 Упругие подвесы и мембраны (жесткость подвесов, главные формы и частоты малых колебаний ЧЭ. Влияние массы упругих элементов на частоты собственных колебаний). Сборка и испытания микроэлектромеханических приборов. 3.2 Прямые преобразователи (емкостные, на МДП-транзисторе, тензометрические, на поверхностно-акустических волнах и на струне). 3.3 Обратные преобразователи (актюаторы) электростатические. Магнитоэлектрические. Электромагнитные.	27	12	4	4	4	15	30	30
3	6	<b>Раздел 4. Динамика ЧЭ микроэлектромеханических приборов.</b> 4.1 Уравнение движения ЧЭ микроакселерометров. 4.2 Передаточные функции ЧЭ микроакселерометров. 4.3 Газовое демпфирование ЧЭ.	27	6	3	0	3	21	25	25
3	6	<b>Раздел 5. Измерительные свойства микромеханических приборов.</b> 5.1 Микроакселерометры прямого преобразования. 5.2 Микроакселерометры компенсационного преобразования.	32	15	3	9	3	17	25	25
Всего за 6 семестр			144	51	17	17	17	93	100	100
Всего по дисциплине			144	51	17	17	17	93	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Конструкции и принципы работы микроэлектромеханических приборов.	Емкостной акселерометр типа АЛЕ.	3
2	Раздел 2. Технологические основы производства микромеханических приборов.	Литография, травление.	2
3		Изготовление микроструктур.	2
4	Раздел 3. Элементная база микромеханических приборов.	Прямые и обратные преобразователи.	4
5	Раздел 4. Динамика ЧЭ микроэлектромеханических приборов.	Уравнение движения ЧЭ осевого микроакселерометра.	3
6	Раздел 5. Измерительные свойства микромеханических приборов.	Ошибки измерения микроакселерометрами.	3
<b>Всего за 6 семестр</b>			17

#### 3.3. Лабораторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного практикума	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Конструкции и принципы работы микроэлектромеханических приборов.	Определение основных характеристик пьезоэлектрического акселерометра (Ф-6).	4
2	Раздел 3. Элементная база микромеханических приборов.	Исследование емкостных измерительных преобразователей перемещения (Ф-5).	4
3	Раздел 5. Измерительные свойства	Исследование индуктивных	9

микромеханических приборов.	измерительных преобразователей (Ф-4).	
<b>Всего за 6 семестр</b>		17

### 3.4. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Конструкции и принципы работы микроэлектромеханических приборов.	Влияние массы упругих элементов на частоту собственных колебаний.	13
2		Повторение лекционного материала.	4
3		Подготовка к практическим занятиям.	4
4	Раздел 2. Технологические основы производства микромеханических приборов.	Базовые технологии формирования и сборка микроэлектромеханических приборов.	9
5		Повторение лекционного материала.	4
6		Подготовка к практическим занятиям.	6
7	Раздел 3. Элементная база микромеханических приборов.	Подготовка к практическим занятиям.	4
8		Преобразователи деформаций на поверхностно-акустических волнах и на струне.	7
9		Повторение лекционного материала.	4
10	Раздел 4. Динамика ЧЭ микроэлектромеханических приборов.	Повторение лекционного материала.	4
11		Газовое демпфирование ЧЭ микроакселерометров и микродатчиков давления.	10
12		Подготовка к практическим занятиям.	7
13	Раздел 5. Измерительные свойства микромеханических приборов.	Подготовка к практическим занятиям.	4
14		Повторение лекционного материала.	4
15		Коррекция частотных характеристик и ошибки измерения акселерометров.	9
Всего за 6 семестр			93

## 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
6				ВПЗ		ДР	ВПЗ		Колл	ДР		ВПЗ				ДР	Вопр. Экз

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ВПЗ – вопросы/задания по темам ПЗ;
- Колл – коллоквиум;
- Вопр. Экз – вопросы к экзамену.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- коллоквиум;
- вопросы к экзамену.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. В. Д. Вавилов. . Микросистемные датчики физических величин. Москва: Техносфера, 2018, эл. рес.
2. В. Я. Распопов. . Микромеханические приборы. М.: Машиностроение, 2007, эл. рес.
3. Р. Г. Джексон. . Новейшие датчики. М.: Техносфера, 2008, 45 экз.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

не требуются.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <http://urait.ru> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов.;
2. <http://library.voenmeh.ru> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
3. <http://e.lanbook.com> — ЭБС Лань;
4. <http://ibooks.ru> — ЭБС Айбукс.ру - это большой выбор актуальной литературы для вашей библиотеки в электронном виде;
5. <http://www.tnt-ebook.ru> — TNT-EBOOK - Электронно-библиотечная система.

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
- <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

1. 7-Zip;
2. Adobe Reader;
3. Google Chrome;
4. PTC Mathcad Prime 5.0;
5. Matlab 2015a SP1;
6. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
7. FEMM.

### 5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.



## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Практические занятия:**

1. Интерактивная доска;
2. Проектор;
3. 7-Zip;
4. Adobe Reader;
5. Google Chrome;
6. PTC Mathcad Prime 5.0;
7. Matlab 2015a SP1;
8. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
9. FEMM.

### **6.3. Лабораторные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.4. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### Аннотация рабочей программы

Дисциплина **МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *15.03.02 Технологические машины и оборудование*. Дисциплина реализуется на факультете *Е Оружие и системы вооружения БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова* кафедрой **Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ**.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПСК-2.1 способность использовать методы стандартных и специальных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей материалов и готовых машиностроительных изделий, прогрессивные методы эксплуатации изделий;

УК-1 способность осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с терминологией, классификацией, конструкцией и принципами работы микромеханических осевых и маятниковых акселерометров. Даны описание и расчет прямых (датчиков перемещений и деформаций) и обратных (датчиков сил и моментов) преобразователей в микромеханическом исполнении. Рассмотрены конструктивные схемы и расчет упругих подвесов и мембран, динамика чувствительных элементов, включающая уравнения движения, передаточные функции, частотные характеристики и функциональные зависимости перемещений чувствительных элементов от измеряемой величины. Даны расчет газового и конструкционного демпфирования, теория и расчет измерительных цепей приборов прямого и компенсационного преобразований, а также основные погрешности измерений, примеры вычислений.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- коллоквиум;
- вопросы к экзамену.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч**. Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**17 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), лабораторный практикум (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**93 ч**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 93 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
<b>Раздел 1. Конструкции и принципы работы микроэлектромеханических приборов.</b>		
Влияние массы упругих элементов на частоту собственных колебаний.	В. Д. Вавилов. . Микросистемные датчики физических величин: Москва: Техносфера, 2018 (Главы 1-2)	13
Повторение лекционного материала.	Р. Г. Джексон. . Новейшие датчики: М.: Техносфера, 2008 (Выборочно по разделам)	4
Подготовка к практическим занятиям.	В. Я. Распопов. . Микромеханические приборы: М.: Машиностроение, 2007 (Глава 1, страницы 9-12, 18-47)	4
Итого по разделу 1		21
<b>Раздел 2. Технологические основы производства микромеханических приборов.</b>		
Базовые технологии формирования и сборки микроэлектромеханических приборов.	В. Д. Вавилов. . Микросистемные датчики физических величин: Москва: Техносфера, 2018 (Глава 1)	9
Повторение лекционного материала.	В. Я. Распопов. . Микромеханические приборы: М.: Машиностроение, 2007 (Глава 2, страницы 120-134)	4
Подготовка к практическим занятиям.		6
Итого по разделу 2		19
<b>Раздел 3. Элементная база микромеханических приборов.</b>		
Подготовка к практическим занятиям.	В. Д. Вавилов. . Микросистемные датчики физических величин: Москва: Техносфера, 2018 (Главы 3-4)	4
Преобразователи деформаций на поверхностно-акустических волнах и на струне.	В. Я. Распопов. . Микромеханические приборы: М.: Машиностроение, 2007 (Страницы 143-192)	7
Повторение лекционного материала.		4
Итого по разделу 3		15
<b>Раздел 4. Динамика ЧЭ микроэлектромеханических приборов.</b>		
Повторение лекционного материала.	В. Д. Вавилов. . Микросистемные датчики физических величин: Москва: Техносфера, 2018 (Главы 3, 6, 8)	4
Газовое демпфирование ЧЭ микроакселерометров и микродатчиков давления.	В. Я. Распопов. . Микромеханические приборы: М.: Машиностроение, 2007 (Страницы 196-244)	10
Подготовка к практическим занятиям.		7
Итого по разделу 4		21
<b>Раздел 5. Измерительные свойства микромеханических приборов.</b>		
Подготовка к практическим занятиям.	В. Д. Вавилов. . Микросистемные датчики физических величин: Москва: Техносфера, 2018 (Глава 8)	4
Повторение лекционного материала.	В. Я. Распопов. . Микромеханические приборы: М.: Машиностроение, 2007 (Глава 5, страницы 346-353)	4
Коррекция частотных характеристик и ошибки измерения акселерометров.		9

Итого по разделу 5	17
--------------------	----

## ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонды оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- коллоквиум;
- вопросы к экзамену;
- экзамен.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### Вопросы/задания по темам ПЗ

Примерные варианты тематики вопросов/заданий по темам ПЗ:

- ёмкостный акселерометр типа АЛЕ;
- литография, травление. Изготовление микроструктур;
- прямые преобразователи и обратные преобразователи;
- уравнение движения ЧЭ осевого микроэлектроакселерометра;
- ошибки измерения микроакселерометрами.

Ответы оцениваются преподавателем по четырёхбалльной системе; оцениваются корректность и полнота ответа.

Оценка выставляется согласно следующим критериям:

«отлично» - глубокое усвоение материала - полные, последовательные, грамотные и логически излагаемые ответы при видоизменении вопроса, правильно обоснованные решения, владение разносторонними навыками и приемами;

«хорошо» - знание программного материала - грамотное изложение, без существенных неточностей в ответе на вопрос, правильное применение теоретических знаний, владение необходимыми навыками при выполнении практических задач;

«удовлетворительно» - усвоение основного материала - при ответе допускаются неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушение последовательности в изложении материала, затруднения в выполнении практических заданий;

«неудовлетворительно» - незнание материала, при ответе возникают ошибки, затруднения при выполнении практических работ.

Контрольное мероприятие считается пройденным успешно при получении обучающимися оценки не ниже, чем "удовлетворительно".

Полученные оценки учитываются при выставлении оценки по итогам экзамена по дисциплине.

### Коллоквиум

Проводится в устной форме. На коллоквиум выносится часть материала экзамена; оценка за коллоквиум учитывается при выставлении оценки по итогам экзамена по дисциплине.

Ответ оценивается преподавателем по четырёхбалльной системе; оцениваются корректность и полнота ответа.

Оценка выставляется согласно следующим критериям:

«отлично» - глубокое усвоение материала - полные, последовательные, грамотные и логически излагаемые ответы при видоизменении вопроса, правильно обоснованные решения, владение разносторонними навыками и приемами;

«хорошо» - знание программного материала - грамотное изложение, без существенных неточностей в

ответе на вопрос, правильное применение теоретических знаний, владение необходимыми навыками при выполнении практических задач;

«удовлетворительно» - усвоение основного материала - при ответе допускаются неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушение последовательности в изложении материала, затруднения в выполнении практических заданий;

«неудовлетворительно» - незнание материала, при ответе возникают ошибки, затруднения при выполнении практических работ.

По результатам сдачи обучающимся коллоквиума преподаватель выставляет оценку согласно вышеуказанным критериям, при этом контрольное мероприятие считается пройденным успешно в случае получения обучающимся оценки не ниже, чем "удовлетворительно".

Перечень выносимых на коллоквиум вопросов:

1. Основные факторы развития микросистемной техники.
2. Классифицируйте микросистемную технику с учетом сложности и массогабаритных характеристик.
3. Как влияют компоненты микросистемной техники на характеристики измерительных и исполнительных средств нового поколения.
4. Опишите основные характеристики сенсоров.
5. Какими факторами определяется погрешность измерений сенсоров.
6. Какого рода погрешность можно устранить с помощью калибровки сенсора.
7. Опишите основные конструктивные варианты элементов микромеханических сенсоров. Дайте характеристику их свойств.
8. Какие физические механизмы определяют проявление пьезоэффекта.
9. Каков принцип действия и область применения емкостных сенсоров.
10. Опишите область применения, конструктивные особенности тензорезисторов.
11. Опишите принцип действия датчика давлений. Для чего применяется мостовая измерительная схема.
12. Опишите назначение, общую классификацию акселерометров.
13. Опишите основные конструктивные варианты пьезоэлектрических акселерометров. Дайте характеристику их свойств.
14. Какие физические механизмы определяют проявление обратного пьезоэффекта.
15. Опишите принцип работы биморфных пьезоэлектрических акселерометров.
16. Опишите основные конструктивные варианты емкостных актюаторов. Дайте характеристику их свойств.
17. Опишите основные конструктивные варианты термомеханических актюаторов. Дайте характеристику их свойств.
18. Опишите основные конструктивные варианты электромагнитных актюаторов. Дайте характеристику их свойств.
19. Опишите принцип работы электромагнитных акселерометров.
20. Какие физические механизмы определяют проявление эффекта «памяти формы»?
21. Какие механизмы активации используют для создания устройств микросмещения и микропозиционирования? Каковы конструктивные особенности этих устройств.
22. Опишите область применения, конструктивные особенности генераторов-вибраторов.
23. Перечислите варианты конструкций планарных и объемных микроиндукторов.
24. Как зависит добротность катушки индуктивности от занимаемой ею площади.
25. Назовите основные типы регулируемых конденсаторов.
26. Опишите конструкцию и принцип действия микроантенны.
27. Опишите конструкции и принцип действия микрореле и коммутаторов.
28. Приведите примеры применения микросистемных компонентов в высокочастотных устройствах.
29. Назовите сходные черты и различие технологических процессов микроэлектроники и микромеханики.
30. Каково основное конструктивно-топологическое отличие элементов микроэлектроники и микросистемной техники?
31. Опишите основные технологические процессы, используемые в микросистемной технике.
32. Опишите основные операции и область применения технологии с использованием «жертвенного» слоя.
33. Опишите основные операции и область применения технологий анизотропного жидкостного и глубокого реактивно-ионного травления.

Вопросы к экзамену оформляются в виде билета. Примерные варианты экзаменационных билетов:

Билет № 1

1. Математическое описание чувствительного элемента как динамической системы.
2. Определение добротности интегральных чувствительных элементов.

Билет № 2

1. Особенности микросистемных чувствительных элементов датчиков линейных ускорений.
2. Упругие подвесы и мембраны.

Билет № 3

1. Особенности микросистемных чувствительных элементов датчиков угловых ускорений.
2. Емкостные преобразователи перемещений.

Билет № 4

1. Микроэлектронные преобразователи и узлы, встраиваемые в интегральные датчики ускорений.
2. Измерительные свойства микромеханических устройств.

Билет № 5

1. Уравнение движения и передаточная функция микродатчика ускорения.
2. Электростатические приводы.

Билет № 6

1. Разработка структурной схемы и полной передаточной функции микросистемного акселерометра.
2. Тензорезистивные преобразования деформаций.

Билет № 7

1. Особенности газодинамического демпфирования микромеханических маятников акселерометров.
2. Формирование информации об измеряемом ускорении.

Билет № 8

1. Эффект влияния вторичных колебаний инерционного тела на первичные при воздействии постоянной и переменной угловых скоростей основания.
2. Базовые технологии формообразования.

Билет № 9

1. Теория многомерных упругих подвесов, требования к их структуре построения и параметрам.
2. Уравнение движения и передаточная функция микродатчика давления.

Билет № 10

1. Сравнительный анализ различных конструктивных схем инерциальных измерителей.
2. Преобразователи деформаций на поверхностно-акустических волнах.

**Экзамен**

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в соответствии с графиком раздела 4.

Вопросы к экзамену оформляются в виде билета. Билет включает в себя два теоретических вопроса.

Оценка выставляется согласно следующим критериям:

«отлично» - глубокое усвоение материала - полные, последовательные, грамотные и логически излагаемые ответы при видоизменении вопроса, правильно обоснованные решения, владение разносторонними навыками и приемами;  
«хорошо» - знание программного материала - грамотное изложение, без существенных неточностей в ответе на вопрос, правильное применение теоретических знаний, владение необходимыми навыками при выполнении практических задач;  
«удовлетворительно» - усвоение основного материала - при ответе допускаются неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушение последовательности в изложении материала, затруднения в выполнении практических заданий;  
«неудовлетворительно» - незнание материала, при ответе возникают ошибки, затруднения при

выполнении практических работ.

При условии полного и своевременного выполнения всех предусмотренных рабочей программой дисциплины контрольных мероприятий допускается оформлять экзамен по дисциплине на основании тестирования: 20 вопросов, 1 академический час.

Критерии оценивания – правильные ответы на поставленные вопросы;

показатель оценивания – процент верных ответов на вопросы;

шкала оценивания – выделено 4 уровня освоения компетенций:

- высокий, оценка "отлично", более 80 % правильных ответов;
- достаточный, оценка "хорошо", от 60 до 80 % правильных ответов;
- пороговый, оценка "удовлетворительно" от 50 до 60 % правильных ответов;
- критический, оценка "неудовлетворительно", менее 50 % правильных ответов.



Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме				Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Лабораторный практикум	Практические занятия		ПСК-2.1	УК-1	
3	6	Раздел 1. Конструкции и принципы работы микроэлектромеханических приборов.	31	10	3	4	3	21	15	15	Вопросы к экзамену, Коллоквиум, Вопросы/ задания по темам ПЗ
3	6	Раздел 2. Технологические основы производства микромеханических приборов.	27	8	4	0	4	19	5	5	Вопросы к экзамену, Коллоквиум, Вопросы/ задания по темам ПЗ
3	6	Раздел 3. Элементная база микромеханических приборов.	27	12	4	4	4	15	30	30	Вопросы к экзамену, Коллоквиум, Вопросы/ задания по темам ПЗ
3	6	Раздел 4. Динамика ЧЭ микроэлектромеханических приборов.	27	6	3	0	3	21	25	25	Вопросы к экзамену, Вопросы/ задания по темам ПЗ
3	6	Раздел 5. Измерительные свойства микромеханических приборов.	32	15	3	9	3	17	25	25	Вопросы к экзамену, Вопросы/ задания по темам ПЗ
Всего за 6 семестр			144	51	17	17	17	93	100	100	
Всего по дисциплине			144	51	17	17	17	93	100	100	