

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

\_\_\_\_\_ Знаменский Е.А.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ

Направление/специальность подготовки	17.05.01 Боеприпасы и взрыватели
Специализация/профиль/программа подготовки	Взрыватели
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	Е Оружие и системы вооружения
Выпускающая кафедра	Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ
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	
5	10	3	108	51	34	0	17	57	0	0	57	диф. зач.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

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

**17.05.01 Боеприпасы и взрыватели**

год набора группы: 2025

Программу составили:

Кафедра Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И  
УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Егоренков Леонид Семенович, к.т.н., старший научный сотрудник,  
заведующий кафедрой

Кафедра Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И  
УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Крылов Виктор Александрович, старший преподаватель

Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ**

Заведующий кафедрой Оськин И.А., д.т.н.

Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

**Е6 АВТОНОМНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ**

Заведующий кафедрой Оськин И.А., д.т.н.

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ**

## **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:

ПК-1 — Способен демонстрировать знания принципов действия взрывателей и их функционирования

ПК-3 — Способен проектировать и конструировать взрыватели различного назначения, разрабатывать проектную документацию, проводить технические расчеты и оптимизировать проектные параметры взрывателей

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПК-1**

*знания:*

технологии изготовления МЭМС;

*умения:*

применять профессиональные знания по нормативной документации, используемой при разработке МЭМС;

*навыки:*

самостоятельной работы с нормативно-технической документацией.

### **ПК-3**

*знания:*

конструкции, принципы работы и область применения МЭМС;

*умения:*

разрабатывать элементную базу МЭМС, удовлетворяющую функциональным требованиям взрывателей;

*навыки:*

применения методов выполнения проектных расчетов элементов МЭМС.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *17.05.01 Боеприпасы и взрыватели*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИНЖЕНЕРНАЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА, ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА, СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА, ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН, ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ, ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ ПОРАЖЕНИЯ, АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ, СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ, ИНЖЕНЕРНОЕ ПРОТОТИПИРОВАНИЕ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА, КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРАКТИКА, ДАТЧИКИ ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ И УСТАНОВОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ.**

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ПРЕДДИПЛОМНАЯ ПРАКТИКА, ВЫПОЛНЕНИЕ, ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ.**

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-10 — Способен применять методы математического анализа, моделирования и системного проектирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач проектирования, производства и испытания оружия и систем вооружения
- ОПК-11 — Способен ориентироваться в проблемных ситуациях и решать сложные вопросы проектирования, производства, испытания и эксплуатации боеприпасов и взрывателей различного типа и назначения
- ОПК-12 — Способен качественно и количественно оценивать результаты, математически формулировать постановку задачи и результаты ее решения применительно к проектированию, производству, испытаниям и эксплуатации боеприпасов и взрывателей различного типа и назначения
- ОПК-15 — Способен четко формулировать цели и задачи проектных процедур, включая разработку тактико-технических заданий на проектирование боеприпасов и взрывателей различного типа и назначения
- ОПК-16 — Способен разрабатывать нормативно-техническую документацию и технически грамотно оформлять и представлять результаты научно-исследовательских работ, связанных с боеприпасами и взрывателями различного типа и назначения
- ОПК-2 — Способен самостоятельно применять приобретенные математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения инженерных задач
- ОПК-5 — Способен руководить коллективом в сфере инженерно-конструкторской деятельности, генерировать, оценивать и использовать новые инженерные идеи
- ОПК-8 — Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
- ПК-1 — Способен демонстрировать знания принципов действия взрывателей и их функционирования
- ПК-2 — Способен ориентироваться в многообразии динамических воздействий на взрыватели на всех этапах их функционирования и эксплуатации, разрабатывать методики проведения испытаний образцов взрывателей
- ПК-3 — Способен проектировать и конструировать взрыватели различного назначения, разрабатывать проектную документацию, проводить технические расчеты и оптимизировать проектные параметры взрывателей
- ПК-4 — Способен разрабатывать, обосновывать и внедрять прогрессивные технологические процессы производства взрывателей, а также их отдельных узлов и деталей

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 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	Практические занятия		ПК-1	ПК-3
5	10	Раздел 1. Конструкции и принципы работы микроэлектромеханических приборов. 1.1 Место микросистемной техники в системе технических инноваций. Основные понятия и определения. 1.2 Осевые и маятниковые акселерометры. 1.3 Датчики давления, базовые конструкции, чувствительные элементы.	13	9	6	3	4	20	20
5	10	Раздел 2. Технологические основы производства микромеханических приборов. 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).	22	12	8	4	10	20	20
5	10	Раздел 3. Элементная база микромеханических приборов. 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 Мембраны микродатчиков давления (мембраны одинаковой толщины с жестким центром). 3.3 Прямые преобразователи емкостные, на МДП-транзисторе, тензометрические, на поверхностно-акустических волнах и на струне). 3.4 Обратные преобразователи (актюаторы) электростатические. Магнитоэлектрические. Электромагнитные.	21	12	8	4	9	20	20
5	10	Раздел 4. Динамика ЧЭ микроэлектромеханических приборов. 4.1 Уравнение движения ЧЭ микроакселерометров. 4.2 Передаточные функции ЧЭ микроакселерометров. 4.3 Уравнения движения и передаточная функция ЧЭ микродатчика давления. 4.4 Газовое демпфирование ЧЭ.	32	9	6	3	23	20	20
5	10	Раздел 5. Измерительные свойства микромеханических приборов. 5.1 Микроакселерометры прямого преобразования. 5.2 Микроакселерометры компенсационного преобразования. 5.3 Микродатчик давления компенсационного преобразования. 5.4 Микродатчик давления с магнитоэлектрической обратной связью.	20	9	6	3	11	20	20
Всего за 10 семестр			108	51	34	17	57	100	100
Всего по дисциплине			108	51	34	17	57	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.	Емкостный акселерометр типа АЛЕ.	3
2	Раздел 2. Технологические основы производства микромеханических приборов.	Литография, травление. Изготовление микроструктур.	4
3	Раздел 3. Элементная база микромеханических приборов.	Прямые преобразователи и обратные преобразователи.	4
4	Раздел 4. Динамика ЧЭ микроэлектромеханических приборов.	Уравнение движения ЧЭ осевого микроэлектроакселерометра.	3
5	Раздел 5. Измерительные свойства микромеханических приборов.	Ошибки измерения микроакселерометрами.	3
<b>Всего за 10 семестр</b>			17

#### 3.3. 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.	1
2		Выбор и согласование тем курсовых работ. Оформление проектов заданий на курсовые работы.	3
3	Раздел 2. Технологические основы	Базовые технологии формирования и сборка	5

	производства микромеханических приборов.	микроэлектромехаических приборов.	
4		Оформление заданий на курсовые работы. Анализ состояния вопроса.	5
5	Раздел 3. Элементная база микромеханических приборов.	Преобразователи деформаций на поверхностно-акустических волнах и на струне.	5
6		Изучение нормативной литературы (ГОСТы, ОСТы, нормали, технические условия) в рамках тем курсовых работ.	4
7	Раздел 4. Динамика ЧЭ микроэлектромеханических приборов.	Газовое демпфирование ЧЭ микроакселерометров и микродатчиков давления.	15
8		Разработка текстовой и расчётно-графической частей курсовой работы.	8
9	Раздел 5. Измерительные свойства микромеханических приборов.	Коррекция частотных характеристик и ошибки измерения акселерометров.	5
10		Оформление пояснительных записок, подготовка к защите курсовых работ.	6
Всего за 10 семестр			57

#### 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
<b>10</b>				ЛР		ДР			Колл	ДР	ЛР			ЛР		ДР	Вопр.Диф.Зач, диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ЛР – лабораторная работа;
- Колл – коллоквиум;
- Вопр.Диф.Зач – вопросы к дифференцированному зачету;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

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

- диагностическая работа;
- лабораторная работа;
- коллоквиум;
- вопросы к дифференцированному зачету.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. В. Д. Вавилов, С. П. Тимошенко, А. С. Тимошенко. . Микросистемные датчики физических величин. Москва: Техносфера, 2018, эл. рес.
2. В. Я. Распопов. . Микромеханические приборы. М.: Машиностроение, 2007, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

1. Естественные и технические науки.

### 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.

### 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. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
2. 7-Zip;
3. PTC Mathcad Prime 5.0;
4. Microsoft Office;
5. Adobe Reader.

### 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. Проектор;
2. Интерактивная доска;
3. 7-Zip;
4. Adobe Reader;
5. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
6. PTC Mathcad Prime 5.0.

### **6.3. 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 ВЗРЫВАТЕЛЕЙ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *17.05.01 Боеприпасы и взрыватели*. 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*:

ПК-1 Способен демонстрировать знания принципов действия взрывателей и их функционирования;  
ПК-3 Способен проектировать и конструировать взрыватели различного назначения, разрабатывать проектную документацию, проводить технические расчеты и оптимизировать проектные параметры взрывателей.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с терминологией, классификацией, конструкцией и принципами работы микроэлектромеханических осевых и маятниковых акселерометров и датчиков давления. 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 величин. Даны расчет газового и конструкционного деформирования демпфирования, теория и расчет измерительных цепей приборов прямого и компенсационного преобразований, а также основные погрешности и примеры вычислений.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- лабораторная работа;
- коллоквиум;
- вопросы к дифференцированному зачету.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **3 з.е., 108 ч**. Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**57 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 57 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, С. П. Тимошенко, А. С. Тимошенко. . Микросистемные датчики физических величин: Москва: Техносфера, 2018 (Главы 1, 2)	1
Выбор и согласование тем курсовых работ. Оформление проектов заданий на курсовые работы.	В. Я. Распопов. . Микромеханические приборы: М.: Машиностроение, 2007 (Введение, Глава 1, страницы 9-12, 18-27)	3
Итого по разделу 1		4
<b>Раздел 2. Технологические основы производства микромеханических приборов.</b>		
Базовые технологии формирования и сборки микроэлектромеханических приборов.	В. Я. Распопов. . Микромеханические приборы: М.: Машиностроение, 2007 (Глава 2, страницы 120-134.)	5
Оформление заданий на курсовые работы. Анализ состояния вопроса.	В. Д. Вавилов, С. П. Тимошенко, А. С. Тимошенко. . Микросистемные датчики физических величин: Москва: Техносфера, 2018 (Глава 1)	5
Итого по разделу 2		10
<b>Раздел 3. Элементная база микромеханических приборов.</b>		
Преобразователи деформаций на поверхностно-акустических волнах и на струне.	В. Д. Вавилов, С. П. Тимошенко, А. С. Тимошенко. . Микросистемные датчики физических величин: Москва: Техносфера, 2018 (Главы 3, 4)	5
Изучение нормативной литературы (ГОСТы, ОСТы, нормативы, технические условия) в рамках тем курсовых работ.	В. Я. Распопов. . Микромеханические приборы: М.: Машиностроение, 2007 (Глава 3, страницы 143-192.)	4
Итого по разделу 3		9
<b>Раздел 4. Динамика ЧЭ микроэлектромеханических приборов.</b>		
Газовое демпфирование ЧЭ микроакселерометров и микродатчиков давления.	В. Я. Распопов. . Микромеханические приборы: М.: Машиностроение, 2007 (Глава 4, страницы 196-244.)	15
Разработка текстовой и расчётно-графической частей курсовой работы.	В. Д. Вавилов, С. П. Тимошенко, А. С. Тимошенко. . Микросистемные датчики физических величин: Москва: Техносфера, 2018 (Главы 3, 6, 8)	8
Итого по разделу 4		23
<b>Раздел 5. Измерительные свойства микромеханических приборов.</b>		
Коррекция частотных характеристик и ошибки измерения акселерометров.	В. Я. Распопов. . Микромеханические приборы: М.: Машиностроение, 2007 (Глава 5, страницы 346-353.)	5
Оформление пояснительных записок,		6

подготовка к защите курсовых работ.	В. Д. Вавилов, С. П. Тимошенко, А. С. Тимошенко. . Микросистемные датчики физических величин: Москва: Техносфера, 2018 (Глава 8)	
Итого по разделу 5		11

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- коллоквиум;
- лабораторная работа;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- дифференцированный зачет.

### 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.

#### Коллоквиум

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

### **Лабораторная работа**

Контроль текущего выполнения и защиты лабораторных работ обучающимся. Оцениваются умение применить полученные теоретические знания, соблюдение правил техники безопасности, своевременность выполнения лабораторных работ.

На первом занятии для всей группы проводится инструктаж на рабочем месте по правилам соблюдения требований техники безопасности и о порядке допуска к лабораторным работам. В книге учёта первичного инструктажа каждый обучающийся расписывается по факту проведения инструктажа. Обучающимся сообщается порядок допуска, выполнения и защиты лабораторных работ. Как правило, группа разбивается на бригады по 2-3 человека.

Оценка качества выполнения лабораторной работы осуществляется преподавателем по четырёхбалльной системе. В случае если ответы обучающегося во время защиты соответствуют указанным требованиям, обучающийся получает максимальное количество баллов. Основаниями для снижения количества баллов в диапазоне от "отлично" до "неудовлетворительно" являются:

- небрежное выполнение,
- поверхностные, непродуманные ответы и выводы по результатам работы,
- неверные ответы на вопросы преподавателя.

Контрольное мероприятие считается пройденным при отсутствии у обучающегося отметок "неудовлетворительно" за лабораторные работы.

### **Вопросы к дифференцированному зачету**

Вопросы к дифференцированному зачёту оформляются в виде билета. Примерные варианты 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.

### **Дифференцированный зачет**

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.

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	Практические занятия		ПК-1	ПК-3	
5	10	Раздел 1. Конструкции и принципы работы микроэлектромеханических приборов.	13	9	6	3	4	20	20	Лабораторная работа, Коллоквиум
5	10	Раздел 2. Технологические основы производства микромеханических приборов.	22	12	8	4	10	20	20	Лабораторная работа, Коллоквиум
5	10	Раздел 3. Элементная база микромеханических приборов.	21	12	8	4	9	20	20	Лабораторная работа, Коллоквиум
5	10	Раздел 4. Динамика ЧЭ микроэлектромеханических приборов.	32	9	6	3	23	20	20	Лабораторная работа
5	10	Раздел 5. Измерительные свойства микромеханических приборов.	20	9	6	3	11	20	20	Лабораторная работа, Вопросы к дифференцированному зачету
Всего за 10 семестр			108	51	34	17	57	100	100	
Всего по дисциплине			108	51	34	17	57	100	100	



## Оценочные материалы по дисциплине МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВЗРЫВАТЕЛЕЙ

### ПК-1 - Способен демонстрировать знания принципов действия взрывателей и их функционирования

- № 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Объясните, как работает пьезоэлектрический эффект и где его применяют в МЭМС
- № 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Расскажите, что такое тензорезистивный эффект и зачем он нужен в сенсорах для измерения перегрузок и деформаций
- № 3 Прочитайте текст и установите соответствие  
Установите соответствие между типами МЭМС-сенсоров и измеряемыми ими параметрами:
1. Акселерометр
  2. Гироскоп
  3. Магнитометр
- А. Ускорение по осям XYZ
- Б. Угловая скорость
- В. Магнитное поле Земли
- № 4 Прочитайте текст и установите соответствие  
Установите соответствие между режимами управления летательных аппаратов и необходимыми сенсорами
1. Удержание высоты
  2. Стабилизация по курсу
  3. Стабилизация по наклону
- А. Барометр / акселерометр
- Б. Магнитометр
- В. Акселерометр + гироскоп
- № 5 Прочитайте текст и установите последовательность  
Упорядочите действия в системе управления положением дрона по данным МЭМС-сенсоров:
- А. Измерение ускорения и угловой скорости
- Б. Применение фильтра Калмана
- В. Расчёт углов ориентации
- Г. Передача данных в контроллер управления
- № 6 Прочитайте текст и установите последовательность  
Расположите этапы обработки сигнала от емкостного гироскопа:
- А. Преобразование сигнала с аналогового в цифровой
- Б. Усиление сигнала
- В. Демодуляция выходного сигнала
- Г. Коррекция температурной нестабильности

- № 7 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Какой из эффектов лежит в основе измерения угловой скорости в МЭМС-гироскопах?
- А) Пьезоэлектрический
  - Б) Эффект Холла
  - В) Кориолисов
  - Г) Казимира
- № 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Какой параметр НЕ измеряется напрямую с помощью МЭМС-сенсоров?
- А) Ускорение
  - Б) Температура
  - В) Давление
  - Г) Скорость звука
- № 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Что используется для компенсации ошибок в ориентации ЛА при использовании только гироскопа?
- А) Усилитель
  - Б) Магнитометр и акселерометр
  - В) Дифференциальный фильтр
  - Г) Источник опорного напряжения
- № 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Какие из следующих сенсоров чаще всего входят в состав инерциального измерительного блока ЛА?
- А) Акселерометр
  - Б) Гироскоп
  - В) Магнитометр
  - Г) Камера
  - Д) Дальномер
- № 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Какие преимущества дают МЭМС-сенсоры в малогабаритных ЛА?
- А) Миниатюрность

- Б) Высокая цена
- В) Малое энергопотребление
- Г) Большой вес
- Д) Встроенная цифровая обработка

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие виды ошибок могут быть у МЭМС-акселерометра?

- А) Шум сигнала
- Б) Температурный дрейф
- В) Нелинейность
- Г) Паразитное электромагнитное излучение
- Д) Латентность SPI-интерфейса

**ПК-3 - Способен проектировать и конструировать взрыватели различного назначения, разрабатывать проектную документацию, проводить технические расчеты и оптимизировать проектные параметры взрывателей**

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Раскройте суть эффекта Холла и его применение в МЭМС-сенсорах для малогабаритных летательных аппаратов

№ 2 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между эффектами и их физической природой:

1. Пьезоэлектрический
2. Эффект Холла
3. Тензорезистивный эффект

А. Заряд при механическом сжатии

Б. Напряжение в магнитном поле

В. Сопротивление при деформации

№ 3 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между сенсорами и их назначением в МЛА:

1. Акселерометр
2. Магнитометр
3. Гироскоп

А. Измерение линейного ускорения

Б. Определение направления в пространстве

В. Измерение угловой скорости

№ 4 Прочитайте текст и установите последовательность

Установите правильную последовательность работы комплексной инерциальной системы на МЭМС:

- А. Измерение ускорения
- Б. Измерение угловой скорости
- В. Коррекция по магнитометру
- Г. Объединение данных фильтром
- № 5 Прочитайте текст и установите последовательность  
Расположите шаги проектирования МЭМС-сенсора под задачу ориентации дрона:
- А. Выбор чувствительного эффекта
- Б. Определение условий работы (температура, вибрации)
- В. Расчёт частоты колебаний
- Г. Моделирование поведения устройства
- № 6 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Какой эффект используется в МЭМС-магнитометре?
- А) Пьезоэлектрический
- Б) Эффект Холла
- В) Тензорезистивный
- Г) Эффект Доплера
- № 7 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Что происходит с чувствительностью сенсора при уменьшении расстояния между емкостными пластинами?
- А) Увеличивается
- Б) Уменьшается
- В) Не изменяется
- Г) Пропадает сигнал
- № 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Что обеспечивает вакуумная упаковка в МЭМС-гироскопах?
- А) Питание
- Б) Механическую защиту
- В) Снижение демпфирования
- Г) Изоляцию от радиопомех
- № 9 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Какие сенсоры чаще всего входят в инерциальные системы МЛА?
- А) Акселерометр
- Б) Гироскоп
- В) Барометр
- Г) Магнитометр
- Д) Оптический датчик

№ 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Что влияет на точность измерения угловой скорости в МЭМС-гироскопе?

- А) Температура
- Б) Добротность
- В) Частота питания
- Г) Газовая среда
- Д) Количество осей

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие физические эффекты используются в управлении движением дрона?

- А) Эффект Холла
- Б) Пьезоэффект
- В) Термоэлектрический эффект
- Г) Тензоэффект
- Д) Фотоэффект

№ 12 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Объясните, почему в МЭМС-сенсорах важен эффект демпфирования. Приведите пример его влияния на гироскоп