

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
 «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Директор обеспечивающей  
 Школы неразрушающего  
 контроля и безопасности

Д.А. Седнев

«04» 09 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ПРИЕМ 2019 г.**  
**ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная**

МЭМС сенсоры и системы			
Направление подготовки/ специальность	11.04.04 Электроника и наноэлектроника		
Образовательная программа (направленность (профиль))	Прикладная электронная инженерия		
Специализация	Инжиниринг в электронике		
Уровень образования	высшее образование - магистратура		
Курс	2	семестр	3
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	6		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции	8	
	Практические занятия	0	
	Лабораторные занятия	56	
	ВСЕГО	64	
Самостоятельная работа, ч		152	
в т.ч. отдельные виды самостоятельной работы с выделенной промежуточной аттестацией (курсовой проект, курсовая работа)		курсовая работа	
ИТОГО, ч		216	

Вид промежуточной  
аттестации

Экзамен	Обеспечивающее подразделение	Отделение Электронной инженерии
Диф.зачет		

Заведующий кафедрой -  
руководитель отделения на  
правах кафедры  
Руководитель ООП  
Преподаватель

	П.Ф. Баранов
	А.И. Солдатов
	Т.Г. Нестеренко

2020 г.

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 5.3 Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
ПК(У)-4	Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов	И.ПК(У)-4.1	Организует и проводит экспериментальные исследования с применением современных средств и методов	ПК(У)- 4.B1	Владеет навыками проведения исследования с применением современных средств и методов
				ПК(У)- 4.Y1	Умеет самостоятельно проводить экспериментальные исследования
				ПК(У)- 4.31	Знает способы организации и проведения экспериментальных исследований
ДПК(У)-1	Способен сопровождать работы по изготовлению микро- и нано размерных электромеханических систем, разрабатывать маршрут изготовления микро- и нано размерных электромеханических систем	И.ДПК(У)-1.1	Сопровождает работы по изготовлению микро- и нано размерных электромеханических систем, разрабатывает маршрут изготовления микро- и нано размерных электромеханических систем	ДПК(У)- 1.B1	Владеет навыками разработки маршрута изготовления микро и нано размерных электромеханических сенсорных систем
				ДПК(У)- 1.Y1	Умеет анализировать техническое задание и маршрут изготовления микро и нано размерных электромеханических систем
				ДПК(У)- 1.31	Знает виды работ по изготовлению микро и нано размерных электромеханических систем и предъявляемые требования к выполнению этих работ

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП

Дисциплина относится к вариативной части Блока 1 учебного плана образовательной программы.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

Планируемые результаты обучения по дисциплине		Индикатор достижения компетенции
Код	Наименование	
РД 1	Владеет навыками разработки маршрута изготовления МЭМС сенсоров и систем	И.ДПК(У)-1.1
РД 2	Умеет анализировать техническое задание и маршрут изготовления МЭМС сенсоров и систем	И.ДПК(У)-1.1
РД 3	Знает виды работ по изготовлению МЭМС сенсоров и систем и предъявляемые требования к выполнению этих работ	И.ДПК(У)-1.1
РД 4	Владеет навыками проведения исследования с применением современных средств и методов	И.ПК(У)-4.1
РД 5	Умеет самостоятельно проводить экспериментальные исследования	И.ПК(У)-4.1
РД 6	Знает способы организации и проведения экспериментальных исследований	И.ПК(У)-4.1

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

##### Основные виды учебной деятельности

Разделы дисциплины	Формируемый результат обучения по дисциплине	Виды учебной деятельности	Объем времени, ч.
<b>Раздел (модуль) 1.</b> История развития МЭМС. Современный рынок МЭМС. Структура изделия на основе МЭМС.	РД2	Лекции	2
		Практические занятия	0
		Лабораторные занятия	4
		Самостоятельная работа	20
<b>Раздел (модуль) 2.</b> Физические основы работы МЭМС сенсоров и систем	РД4, РД5	Лекции	2
		Практические занятия	0
		Лабораторные занятия	24
		Самостоятельная работа	40
<b>Раздел (модуль) 3.</b> Технология изготовления МЭМС сенсоров и систем	РД1, РД3	Лекции	2
		Практические занятия	0
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	30
<b>Раздел (модуль) 4.</b> Проектирование МЭМС сенсоров и систем	РД2, РД3, РД6	Лекции	2
		Практические занятия	0
		Лабораторные занятия	22
		Самостоятельная работа	62

Содержание разделов дисциплины:

**Раздел 1.** История развития МЭМС. Современный рынок МЭМС. Структура изделия на основе МЭМС.

**Темы лекций:**

1. Введение. Основные понятия и определения.

**Названия лабораторных работ:**

- 1 Исследование динамических характеристик МЭМС акселерометра

**Раздел 2.** Физические основы работы МЭМС сенсоров и систем

**Темы лекций:**

1. Компоненты МЭМС сенсоров и систем (сенсоры и актюаторы, управляющая и вычислительная электроника).

**Названия лабораторных работ:**

1. Исследование динамических характеристик МЭМС гироскопа LL –типа.
2. Исследование динамических характеристик МЭМС гироскопа RR –типа.
3. Исследование динамических характеристик МЭМС гироскопа LL-типа с расширенной полосой пропускания.
4. Исследование МЭМС конденсатора, управляемого напряжением.

**Раздел 3.** Технология изготовления МЭМС сенсоров и систем

**Темы лекций:**

1. Базовые технологии и материалы микромеханических сенсоров. Дефекты топологии на пластине.

**Названия лабораторных работ:**

1. Разработка технологического процесса микромеханического сенсора.

**Раздел 4.** Проектирование МЭМС сенсоров и систем

### **Темы лекций:**

1. Основы автоматизированного проектирования МЭМС. Компоненты, процессы и материалы упаковки.
2. **Названия лабораторных работ:**
  1. Параметрическое моделирование упругих элементов микромеханических систем.
  2. Определение собственных частот и форм колебаний микромеханических гироскопов.
  3. Определение собственных частот и форм колебаний микромеханических гироскопов в программе ANSYS Workbench.
  4. Определение ёмкости гребенчатых структур аналитически в программе MathCad и с помощью метода конечных элементов в программе ANSYS APDL.
  5. Проведение модального анализа в ANSYS APDL.

### **Тематика курсовых работ (теоретический раздел)**

1. Микроэлектромеханический маятниковый акселерометр
2. Микроэлектромеханический акселерометр
3. Однокомпонентный микроэлектромеханический гироскоп (XX)-типа

## **5. Организация самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины (модуля) предусмотрена в следующих видах и формах:

- Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- Работа в электронном курсе (изучение теоретического материала, выполнение индивидуальных заданий и контролируемых мероприятий.);
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Выполнение домашних заданий, расчетно-графических работ и домашних контрольных работ;
- Подготовка к лабораторным работам;
- Выполнение курсовой работы или проекта, работа над междисциплинарным проектом;
- Исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям;

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **6.1. Учебно-методическое обеспечение**

#### **Основная литература**

1. Королёв, М. А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем : в 2 ч : учебное пособие / М. А. Королёв, Т. Ю. Крупкина, М. А. Ревелева ; под редакцией Ю. А. Чаплыгина. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 400 с. — ISBN 978-5-00101-814-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/151589> — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Игнатов, А. Н.. Микросхемотехника и наноэлектроника [Электронный ресурс] / Игнатов А. Н.. — Санкт-Петербург: Лань, 2011. — 528 с.. Лань - Инженерно-технические науки.. — ISBN 978-5-8114-1161-0. <https://e.lanbook.com/book/167901> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### Дополнительная литература

1. Распопов, В. Я. Микромеханические приборы : учебное пособие / В. Я. Распопов. — Москва : Машиностроение, 2007. — 400 с. — ISBN 5-217-03360-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/753>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Основы нанотехнологии: учебник / Н. Т. Кузнецов, В. М. Новоторцев, В. А. Жабрев, В. И. Марголин. — 2-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2017. — 400 с. — ISBN 978-5-00101-476-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/94129>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

## 6.2. Информационное и программное обеспечение

Internet-ресурсы (в т.ч. в среде LMS MOODLE и др. образовательные и библиотечные ресурсы):

1. LMS Moodle "Гироскопы и акселерометры на новых физических принципах" <http://stud.lms.tpu.ru/course/view.php?id=154>
2. Yole Development [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.yole.fr>.
3. mCube [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.mcubemems.com>.
4. AnalogDevices [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.analog.com>.
5. STMicroelectronics [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.st.com>.
6. Colibrys [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.colibrys.com>.
7. Bosh Sensortec [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.bosch-sensortec.com>.
8. Sensor Technology LTD [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.sensortech.ca/site/index.cfm>.
9. Silicon Sensing Systems [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.siliconsensing.com>.
10. Murata Electronics [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.murata.com>.
11. InvenSense [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.invensense.com>.
12. MEMSIC [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.memsic.com>.
13. ОАО КОНЦЕРН ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.elektropribor.spb.ru>.
14. ОАО «ГИРООПТИКА» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gyro.ru>.
15. <https://www.lib.tpu.ru/html/irs-and-pdb> - информационно-справочные системы и профессиональные базы данных НТБ.

Лицензионное программное обеспечение (в соответствии с **Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ**):

1. Ansys 2020;
2. Document Foundation LibreOffice;
3. Google Chrome;
4. MathWorks MATLAB Full Suite R2017b;
5. Top Systems T-FLEX CAD Education;
6. Zoom Zoom

## 7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

В учебном процессе используется следующее лабораторное оборудование для практических и лабораторных занятий:

№	Наименование специальных помещений	Наименование оборудования
1.	Аудитория для проведения учебных	Безокулярная система безконтактных измерений по 2-м осям - 1 шт.;

	занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерный класс)  634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 210	Комплект учебной мебели на 52 посадочных мест; Компьютер - 20 шт.; Проектор - 1 шт.
2.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерный класс)  634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 105	3D-принтер Prism Pro - 1 шт.; 3D-сканер VT АТОМ - 1 шт.; 3D-принтер Picaso 3D Designer - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 15 посадочных мест; Компьютер - 15 шт.; Проектор - 1 шт.;

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, специализация «Инжиниринг в электронике» (приема 2019 г., очная форма обучения).

Разработчик(и):

Должность	ФИО
Доцент, к.т.н.	Нестеренко Т.Г.

Программа одобрена на заседании Отделения Электронной инженерии (протокол от 28.06.2019 г. №19).

Зав. кафедрой – руководитель отделения  
на правах кафедры,  
к.т.н.



/ П.Ф. Баранов/  
подпись

**Лист изменений рабочей программы дисциплины:**

Учебный год	Содержание /изменение	Обсуждено на заседании ОЭИ ИШНКБ (протокол)
2020/2021 учебный год	1. Обновлено программное обеспечение 2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем 3. Обновлено содержание разделов дисциплины 4. Обновлен список литературы, в том числе ссылок ЭБС	От 01.09.2020 г. № 37