

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

«30» 06 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ПРИЕМ 2017 г.**  
**ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная**

**Проектирование сенсорных и актюаторных элементов  
 микросистемной техники**

Направление подготовки/ специальность	<b>11.03.04 Электроника и наноэлектроника</b>		
Образовательная программа (направленность (профиль))	<b>Электроника и наноэлектроника</b>		
Специализация	<b>Прикладная электронная инженерия</b>		
Уровень образования	высшее образование - бакалавриат		
Курс	4	семестр	8
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	6		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции		<b>44</b>
	Практические занятия		<b>11</b>
	Лабораторные занятия		<b>33</b>
	ВСЕГО		<b>88</b>
Самостоятельная работа, ч		<b>128</b>	
в т.ч. отдельные виды самостоятельной работы с выделенной промежуточной аттестацией (курсовой проект, курсовая работа)		курсовой проект	
ИТОГО, ч		<b>216</b>	

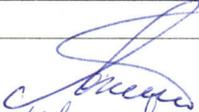
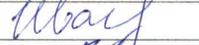
Вид промежуточной  
аттестации

**Экзамен  
дифзачет**

Обеспечивающее  
подразделение

**Отделение  
Электронной  
инженерии**

Зав. кафедрой-руководитель  
отделения на правах кафедры  
Руководитель ООП  
Преподаватель

	П.Ф. Баранов
	В.С. Иванова
	Т.Г. Нестеренко

2020 г.

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 6. Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

Код компетенции	Наименование компетенции	Результаты освоения ООП	Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенций)	
			Код	Наименование
ПК(У)-1	Способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	Р2	ПК(У)-1.В4	Владеет опытом моделирования микромеханических систем
			ПК(У)-1.33	Знает методы синтеза и исследования моделей микросистемной техники
ПК(У)-5	Готовность выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования	Р13	ПК(У)-5.У8	Умеет проектировать принципиальные электрические схемы микромеханических систем
			ПК(У)-5.39	Знает физические принципы построения элементов микросистемной техники
ПК(У)-6	Способность разрабатывать проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы	Р13	ПК(У)-6.У2	Умеет формулировать технические требования к блокам микромеханических систем
ПК(У)-7	Способность осуществлять контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам		ПК(У)-7.В2	Владеет опытом оценки и верификации функциональных, статических, динамических, временных, частотных характеристик

## 2. Место дисциплины 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		Компетенция
Код	Наименование	
РД-1	Разрабатывать физические и математические модели микросистемной техники при их проектировании	ПК(У)-1
РД-2	Разрабатывать топологические чертежи микроэлектромеханической системы	ПК(У)-6
РД-3	Разрабатывать технические требования к блокам микромеханических систем и оценивать их характеристики	ПК(У)-7
РД-4	Выполнять анализ и расчёт электрических схем микромеханических систем	ПК(У)-5

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.
Раздел 1. Введение	РД-3	Лекции	2
		Практические занятия	0
		Лабораторные занятия	0
		Самостоятельная работа	10
Раздел 2. Системный подход к проектированию микросистем	РД-2; РД-3	Лекции	8
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	4
		Самостоятельная работа	10
Раздел 3. Базовые конструкции микромеханических гироскопов	РД-1	Лекции	20
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	7
		Самостоятельная работа	50
Раздел 4. Проектирование информационно-измерительной системы МЭМС	РД-4	Лекции	4
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	8
		Самостоятельная работа	10
Раздел 5. Технология изготовления микромеханических сенсоров	РД-3	Лекции	6
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	8
		Самостоятельная работа	20
Раздел 6. САПР компонентов микросистемной техники	РД-2	Лекции	4
		Практические занятия	3
		Лабораторные занятия	6
		Самостоятельная работа	28

Содержание разделов дисциплины:

#### Раздел 1. Введение

Моделирование объектов и процессов как средство уменьшения сроков разработки и сокращения финансовых затрат. Международная унификация процессов проектирования и создания изделий микросистемной техники.

##### Темы лекций:

1. Основные стадии и этапы проектирования.

#### Раздел 2. Системный подход к проектированию микросистем

Уровни описания проектируемых объектов: системный, функциональный, конструкторский, технологический. Основные виды микромеханических элементов.

Механические свойства материалов микросистемной техники

##### Темы лекций:

1. Классификация МЭМС.
2. Упругие подвесы микросистем.
3. Механические свойства материалов микросистемной техники.
4. Главные формы и частоты колебаний МЭМС.

##### Темы практических занятий:

1. Области применения микросистем.

##### Названия лабораторных работ:

1. Параметрическое компьютерное моделирование упругих элементов микромеханических систем.

### **Раздел 3. Базовые конструкции микромеханических гироскопов**

Двух-, трёхкомпонентные гироскопы. Гироскопы с промежуточными телами, с расширенной полосой пропускания, с антифазным первичным движением.

#### **Темы лекций:**

1. Схемы и характеристики двухкомпонентных LL гироскопов.
2. Схемы и характеристики двухкомпонентных RR гироскопов.
3. Схемы и характеристики МЭМС гироскопов с двумя массами по оси первичных колебаний (часть 1).
4. Схемы и характеристики МЭМС гироскопов с двумя массами по оси первичных колебаний (часть 2).
5. Схемы и характеристики МЭМС гироскопов с двумя массами по оси вторичных колебаний.
6. Схемы и характеристики МЭМС гироскопов с двумя массами по осям первичных и вторичных колебаний (часть 1).
7. Схемы и характеристики МЭМС гироскопов с двумя массами по осям первичных и вторичных колебаний (часть 2).
8. Схемы и характеристики многомассовых RR гироскопов.
9. МЭМС гироскоп с распределённой массой.
10. МЭМС гироскопы с расширенной полосой пропускания.

#### **Темы практических занятий:**

1. Упругие подвесы микромеханических систем

#### **Названия лабораторных работ:**

1. Определение собственных частот и форм колебаний микромеханических гироскопов

### **Раздел 4. Проектирование информационно-измерительной системы МЭМС**

Схемотехнические решения систем обработки сигналов. Преобразователи ёмкость-напряжение, ёмкость-ток. Актюаторы микрогироскопов.

#### **Темы лекций:**

1. Система возбуждения первичных колебаний МЭМС гироскопов.
2. Ёмкостные преобразователи перемещений.

#### **Темы практических занятий:**

1. Виды электродных структур гироскопов

#### **Названия лабораторных работ:**

1. Определение ёмкости электродных структур
2. Определение ёмкости электродных структур аналитически

### **Раздел 5. Технологические процессы изготовления элементов микросистемной техники**

Технология объёмной микрообработки. l<sub>iga</sub>-технология. Технология поверхностной микрообработки. Mumps-технология. Summit-технология.

#### **Темы лекций:**

1. Технология объёмной микрообработки.
2. LIGA – технология.
3. Технология поверхностной микрообработки.

#### **Темы практических занятий:**

1. Разработка технологического процесса гироскопа

#### **Названия лабораторных работ:**

1. Определение влияния температуры на собственные частоты однокомпонентного микромеханического гироскопа.

### **Раздел 6. САПР компонентов микросистемной техники**

Структура систем автоматизированного проектирования. Аппаратные средства обеспечения САПР объектов микросистемной техники. Базовые пакеты прикладных программ: моделирование механических и термомеханических процессов, моделирование электростатических процессов, моделирование пьезорезистивных элементов, частотный анализ.

**Темы лекций:**

1. Базовые пакеты прикладных программ.
2. Частотный анализ МЭМС гироскопов и акселерометров

**Темы практических занятий:**

1. Разработка топологии МЭМС сенсора.

**Названия лабораторных работ:**

1. Расчёт амплитудно-частотных характеристик микромеханического гироскопа с помощью конечно-элементного моделирования.
2. Проведение модального анализа элементов микросистемной техники

**Темы курсовых проектов:**

1. Микроэлектромеханический акселерометр
2. Однокомпонентный микроэлектромеханический гироскоп LL-типа.
3. Однокомпонентный микроэлектромеханический гироскоп RR-типа.
4. Двухкомпонентный микроэлектромеханический гироскоп RR-типа.
5. Микромеханический гироскоп с расширенной полосой пропускания.
6. Микроэлектромеханический маятниковый акселерометр
7. Микроэлектромеханический тепловой акселерометр.
8. Однокомпонентный микроэлектромеханический гироскоп LL-типа с антифазным первичным движением.
9. Микроэлектромеханический струнный акселерометр
10. Микроэлектромеханический осевой акселерометр
11. Двухкомпонентный микроэлектромеханический гироскоп LL-типа.

**5. Организация самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины 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 контролирующих мероприятий и др.);
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям;
- Выполнение курсового проекта, работа над междисциплинарным проектом;
- Исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах;
- Анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям;

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

**6.1. Учебно-методическое обеспечение**

**Основная литература**

1. 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/books/element.php?pl1 cid=25&pl1 id=2035> (контент)).

2 Вавилов, В. Д.. Микросистемные датчики физических величин: в двух частях [Электронный ресурс] / Вавилов В. Д., Тимошенко С. П., Тимошенко А. С.. — Москва: Техносфера, 2018. — 550 с.. — Книга из коллекции Техносфера - Инженерно-технические науки.. — ISBN 978-5-94836-498-8. Схема доступа: <https://e.lanbook.com/book/110960>

3 Попов, Г. В.. Микромеханические инерциальные датчики [Электронный ресурс] / Попов Г. В.. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. — 269 с.. — Книга из коллекции МГТУ им. Н.Э. Баумана - Инженерно-технические науки.. — ISBN 978-5-7038-4336-9. Схема доступа: <https://e.lanbook.com/book/103444> (контент)

### Дополнительная литература

1. Распопов, Владимир Яковлевич. Микромеханические приборы : учебное пособие / В. Я. Распопов. — Москва: Машиностроение, 2007. — 400 с.: ил.. — Для вузов. — Библиогр.: с. 394-396. — Предметный указатель: с. 397-399.. — ISBN 5-217-03360-6.

2. Техническая механика микросистем : учебное пособие / В. Н. Тимофеев [и др.]; Московский государственный институт электронной техники (Технический университет) (МИЭТ) ; под ред. В. Н. Тимофеева. — 2-е изд.. — Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. — 176 с.: ил.. — Библиогр.: с. 173-174. — Список сокращений: с. 175-176.. — ISBN 978-5-9963-0636-7.

### 6.2. Информационное и программное обеспечение

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

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

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

7-Zip; Adobe Acrobat Reader DC; Adobe Flash Player; Cisco Webex Meetings; Dassault Systemes SOLIDWORKS Education; MathWorks MATLAB Full Suite R2017b; Document Foundation LibreOffice; Google Chrome; Zoom Zoom; Microsoft Office 2007 Standard Russian Academic; Tracker Software PDF-XChange Viewer; WinDjView; Ansys

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

В учебном процессе используется следующее оборудование:

№	Наименование специальных помещений	Наименование оборудования
1.	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	Комплект учебной мебели на 15 посадочных мест; Компьютер - 18 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, 210	Комплект учебной мебели на 52 посадочных мест; Компьютер - 20 шт.; Проектор - 1 шт.
3.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 46	Доска аудиторная настенная - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 32 посадочных мест; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт.

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, специализации «Прикладная электронная инженерия» (приема 2017 г., очная форма обучения).

Разработчик

Должность	ФИО
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Нестеренко Т.Г.

Программа одобрена на заседании выпускающей кафедры точного приборостроения (протокол от «29» июня 2017 г. № 40).

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



П.Ф. Баранов

**Лист изменений рабочей программы дисциплины:**

Учебный год	Содержание /изменение	Обсуждено на заседании ОЭИ ИШНКБ (протокол)
2018/2019 учебный год	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обновлено программное обеспечение</li> <li>2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем</li> <li>3. Обновлено содержание разделов дисциплины</li> <li>4. Обновлен список литературы, в том числе ссылок ЭБС</li> <li>5. Изменена система оценивания</li> </ol>	От 29.08.2018 г. № 8
2019/2020 учебный год	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обновлено программное обеспечение</li> <li>2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем</li> <li>3. Обновлено содержание разделов дисциплины</li> <li>4. Обновлен список литературы, в том числе ссылок ЭБС</li> </ol>	От 28.06.2019 г. № 19
2020/2021 учебный год	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обновлено программное обеспечение</li> <li>2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем</li> <li>3. Обновлено содержание раздела «САПР компонентов микросистемной техники»</li> <li>4. Обновлен список литературы, в том числе ссылок ЭБС</li> </ol>	От 01.09.2020 г. № 37