

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

«06» 06 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЕМ 2017 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная

**Конструирование сенсорных и актюаторных элементов
микросистемной техники**

Направление подготовки/ специальность	11.03.04 Электроника и нанoeлектроника		
Образовательная программа (направленность (профиль))	Электроника и нанoeлектроника		
Специализация	Прикладная электронная инженерия		
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	44	
	Практические занятия	11	
	Лабораторные занятия	33	
	ВСЕГО	88	
Самостоятельная работа, ч			128
в т.ч. отдельные виды самостоятельной работы с выделенной промежуточной аттестацией (курсовой проект, курсовая работа)			курсовой проект
ИТОГО, ч			216

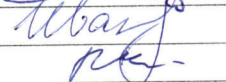
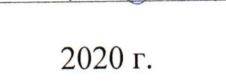
Вид промежуточной
аттестации

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 наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	Р2	ПК(У)-1.33	Знает методы синтеза и исследования моделей микросистемной техники
			ПК(У)-1.В4	Владеет опытом моделирования микромеханических систем
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.У7	Умеет конструировать 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		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	8
		Самостоятельная работа	50
Раздел 4. Проектирование информационно-измерительной системы МЭМС	РД-4	Лекции	4
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	6
		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	7
		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. liga-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 в программе

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>

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. Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника. Мировые достижения - 2008 год : [сборник] / под ред. П. П. Мальцева. — Москва: Техносфера, 2008. — 432 с.: ил.. — Мир материалов и технологий. — Приложение: с. 415-430.. — ISBN 978-5-94836-180-2.
3. Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам : сборник статей / под ред. П. П. Мальцева. — Москва: Техносфера, 2005. — 592 с.: ил.. — Мир электроники. — Библиография в конце статей.. — ISBN 5-94836-063-6.
4. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: учебное пособие для вузов: в 2 ч. / под ред. Ю. А. Чаплыгина. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. Ч. 2: Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования. — 2009. — 423 с.: ISBN 978-5-94774-585-6.
5. Резнев, А. А.. Тенденции развития МЭМС / А. А. Резнев, В. Д. Вернер. — Москва: Амиант, 2010. — 275 с.: ил.. — Библиогр.: с. 268-272. —с. 264-267.. — ISBN 978-5-4231-0042-1..
6. Процессы плазменного травления в микро- и нанотехнологиях: учебное пособие / В.А. Галперин, Е.В. Данилкин, А.И. Мочалов; под ред. С.П. Тимошенко. —М.: БИНОМ, 2010. — 283 с.

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 Sortec [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. Информационно-справочные системы и профессиональные базы данных НТБ -
<https://www.lib.tpu.ru/html/irs-and-pdb>

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

Zoom Zoom; 7-Zip; Adobe Acrobat Reader DC; Adobe Flash Player; Document Foundation LibreOffice; Google Chrome; Microsoft Office 2007 Standard Russian Academic; Mozilla Firefox ESR; Tracker Software PDF-XChange Viewer; WinDjView; Dassault Systemes SOLIDWORKS Education; MathWorks MATLAB Full Suite R2017b; Top Systems T-FLEX CAD Education;

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 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. 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	Комплект учебной мебели на 15 посадочных мест; Компьютер - 18 шт.; Принтер - 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(и):

Должность	ФИО
Доцент ОЭИ ИШНКБ	Т.Г. Нестеренко

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

подпись

Лист изменений рабочей программы дисциплины:

Учебный год	Содержание /изменение	Обсуждено на заседании ОЭИ ИШНКБ (протокол)
2018/2019 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 5. Изменена система оценивания	От 29.08.2018 г. № 8
2019/2020 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 28.06.2019 г. № 19
2020/2021 учебный год	1. Обновлено программное обеспечение 2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем 3. Обновлено содержание раздела дисциплины «САПР компонентов микросистемной техники» 4. Обновлен список литературы, в том числе ссылок ЭБС	От 01.09.2020 г. № 37