

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

« 01 » 09 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ПРИЕМ 2020 г.**  
**ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная**

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

Вид промежуточной  
аттестации

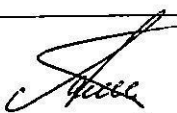
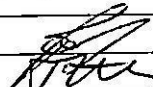
Экзамен

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                                                                            |
| ПК(У)-7         | Готов определять цели, осуществлять постановку задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ | И.ПК(У)-7.1                       | Формулирует цели, осуществляет постановку задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготавливает технические задания на выполнение проектных работ | ПК(У)- 7.B1                                                 | Владеет навыками разработки архитектуры изделий микро- и нанoeлектроники                                                                         |
|                 |                                                                                                                                                                                                                    |                                   |                                                                                                                                                                                                               | ПК(У)- 7.Y1                                                 | Умеет подготавливать технические задания на выполнение проектных работ                                                                           |
|                 |                                                                                                                                                                                                                    |                                   |                                                                                                                                                                                                               | ПК(У)- 7.31                                                 | Знает схемы и устройства изделий микро- и нанoeлектроники различного функционального назначения                                                  |
| ПК(У)-8         | Способен проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований                                                                                                              | И.ПК(У)-8.1                       | Проектирует устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований                                                                                                                    | ПК(У)- 8.B1                                                 | Владеет навыками разработки рабочей топологии и плана технологии монтажа и сборки электронной компонентной базы изделий микро- и нанoeлектроники |
|                 |                                                                                                                                                                                                                    |                                   |                                                                                                                                                                                                               | ПК(У)- 8.Y1                                                 | Умеет разрабатывать приборы и системы электронной техники                                                                                        |
|                 |                                                                                                                                                                                                                    |                                   |                                                                                                                                                                                                               | ПК(У)- 8.31                                                 | Знает принципы подготовки технических заданий на современные электронные устройства                                                              |

## 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.ПК(У)-8.1                      |
| РД 2                                          | Умеет анализировать техническое задание и маршрут изготовления МЭМС сенсоров | И.ПК(У)-8.1                      |

|      |                                                                                                    |             |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| РД 3 | Знает виды работ по изготовлению МЭМС сенсоров                                                     | И.ПК(У)-8.1 |
| РД 4 | Владеет навыками проведения исследования МЭМС сенсоров 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 | Демонстрирует навыки проектирования МЭМС сенсоров                                                  | И.ПК(У)-8.1 |

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><br>История развития МЭМС.<br>Современный рынок МЭМС.<br>Структура изделия на основе МЭМС. | РД2                                          | Лекции                    | 2                 |
|                                                                                                                     |                                              | Практические занятия      | 0                 |
|                                                                                                                     |                                              | Лабораторные занятия      | 4                 |
|                                                                                                                     |                                              | Самостоятельная работа    | 20                |
| <b>Раздел (модуль) 2.</b><br>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><br>Технология изготовления МЭМС сенсоров и систем                                         | РД1, РД3                                     | Лекции                    | 2                 |
|                                                                                                                     |                                              | Практические занятия      | 0                 |
|                                                                                                                     |                                              | Лабораторные занятия      | 6                 |
|                                                                                                                     |                                              | Самостоятельная работа    | 30                |
| <b>Раздел (модуль) 4.</b><br>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 микроэлектромеханических 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. Однокомпонентный МЭМС акселерометр
2. МЭМС акселерометр
3. Однокомпонентный МЭМС 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 контролирующих 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> (дата обращения: 15.06.2019). — 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> (дата обращения: 15.06.2019). — 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 занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерный класс)<br><br>634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 210 | Безокулярная система безконтактных измерений по 2-м осям - 1 шт.;<br>Комплект учебной мебели на 52 посадочных мест;<br>Компьютер - 20 шт.; Проектор - 1 шт.                                |
| 2. | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерный класс)<br><br>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.;<br>Комплект учебной мебели на 15 посадочных мест;<br>Компьютер - 15 шт.; Проектор - 1 шт.; |

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 11.04.04 Электроника и наноэлектроника, специализация «Электроника интернета вещей» (приема 2020 г., очная форма обучения).

Разработчик(и):

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

Программа одобрена на заседании Отделения Электронной инженерии (протокол от 30.06.2020 г. №35).

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<br>ИШНКБ<br>(протокол) |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 2021/22 учебный<br>год | 1. Обновлено содержание разделов<br>дисциплины<br>2. Обновлено ПО в рабочей программе<br>дисциплины<br>3. Обновлен список литературы<br>4. Обновлен перечень профессиональных баз<br>5. Обновлена аннотация рабочей программы<br>дисциплины<br>6. Обновлены материалы в ФОС дисциплины | От 30.08.2021 г.<br>№ 54                          |