**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования**

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента по УР
_____Ким М.Ю.
«29» _____10_____ 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ

Уровень образования: **высшее образование - бакалавриат**
Направление подготовки / специальность: **28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника**
Направленность (профиль) / специализация: **Проектирование и технология микросистем**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Институт радиоэлектронной техники (ИРЭТ)**
Кафедра: **физической электроники (ФЭ)**
Курс: **4**
Семестр: **7**
Учебный план набора 2026 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

| Виды учебной деятельности | 7 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|
| Лекционные занятия | 18 | 18 | часов |
| Практические занятия | 18 | 18 | часов |
| в т.ч. в форме практической подготовки | 18 | 18 | часов |
| Лабораторные занятия | 16 | 16 | часов |
| в т.ч. в форме практической подготовки | 16 | 16 | часов |
| Самостоятельная работа | 56 | 56 | часов |
| Подготовка и сдача экзамена | 36 | 36 | часов |
| Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию) | 144 | 144 | часов |
| | 4 | 4 | з.е. |

| Формы промежуточной аттестации | Семестр |
|---|---|
| Экзамен | 7 |

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Ким М.Ю.
Должность: Директор департамента по УР
Дата подписания: 29.10.2025
Уникальный программный ключ:
ed789cd8-2cc6-4431-a59e-8f386b1d44fa

Томск

Согласована на портале № 84811

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели дисциплины

1. Изучение принципов построения физических и математических моделей микроэлектромеханических систем (МЭМС) и проектированию МЭМС с использованием программных средств компьютерного моделирования.

### 1.2. Задачи дисциплины

1. Изучение физических принципов актюаторных и сенсорных систем МЭМС.
2. Изучение принципа междисциплинарного системного моделирования.
3. Изучение особенностей технологических процессов изготовления МЭМС устройств.
4. Изучение методики построения математической и конечно-элементной модели МЭМС.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).
Часть блока дисциплин: Часть, формируемая участниками образовательных отношений.
Модуль дисциплин: Модуль направленности (major).
Индекс дисциплины: Б1.В.02.08.
Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):

Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

| Компетенция | Индикаторы достижения компетенции | Планируемые результаты обучения по дисциплине |
|---|---|---|
| **Универсальные компетенции** | | |
| - | - | - |
| **Общепрофессиональные компетенции** | | |
| - | - | - |
| **Профессиональные компетенции** | | |

Согласована на портале № 84811

| | | |
|---|---|---|
| ПК-1. Способен проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий | ПК-1.1. Знает основные физические и математические модели объектов микро- и наносистемной техник | Знает основные физические и математические модели для анализа и расчета характеристик объектов микро- и наносистемной техники, выбирая адекватные модели в зависимости от решаемой задачи. |
| | ПК-1.2. Знает основные программные средства для физического и математического моделирования приборов и устройств микро- и наносистемной техники | Знает специализированное программное обеспечение для компьютерного моделирования физических процессов и расчета параметров устройств микро- и наносистемной техники. Проводит параметрические расчеты и оптимизацию характеристик микроустройств с применением математических пакетов (MATLAB, MathCAD). |
| | ПК-1.3. Умеет представлять объекты микро- и наносистемной техники в виде физических и математических моделей | Умеет формализовать объекты микро- и наносистемной техники в виде физических и математических моделей, выбирая адекватные методы моделирования для решения инженерных задач. |
| | ПК-1.4. Владеет практическими навыками работы в прикладных программах компьютерного моделирования | Владеет навыками применения специализированного программного обеспечение для компьютерного моделирования устройств микро- и наносистемной техники, для проведения расчётов и анализа полученных результатов. Проводит мультифизическое моделирование (электромеханическое, тепловое, оптическое) в специализированных программных средах. |

Согласована на портале № 84811

| | | |
|---|---|---|
| ПК-6. Готов рассчитывать и проектировать компоненты нано- и микросистемной техники | ПК-6.1. Знает основные методики проектирования и расчета компонентов нано- и микросистемной техники | Знает стандартные методики проектирования и расчета компонентов (упругие подвесы, ёмкости, виброприводы) нано- и микросистемной техники для решения типовых инженерных задач, используя современные подходы и инструментальные средства с использованием специализированного ПО |
| | ПК-6.2. Умеет рассчитывать параметры компонентов нано- и микросистемной техники | Умеет выполнять расчет ключевых параметров компонентов нано- и микросистемной техники (механических, электрических, тепловых и оптических характеристик) с использованием аналитических методов и специализированного программного обеспечения, учитывая технологические ограничения и эксплуатационные требования. |
| | ПК-6.3. Владеет навыками работы в прикладных программах для расчета и проектирования компонентов нано- и микросистемной техники | Владеет навыками практического применения специализированного программного обеспечения для комплексного проектирования и верификации компонентов нано- и микросистемной техники в соответствии с инженерными стандартами. Проводит мультифизическое моделирование (электромеханическое, термоупругое, гидродинамическое) для оптимизации рабочих характеристик MEMS/NEMS-устройств. |
| ПК-9. Способен владеть современными методами расчета и проектирования изделий микро- и наноэлектроники и микросистемной техники, изготовленных с применением нанотехнологий, способностью к восприятию, разработке и критической оценке новых способов их проектирования | ПК-9.1. Знает принципы проектирования изделий микро- и наносистемной техники | Знает принципы проектирования изделий микро- и наносистемной техники на всех этапах разработки - от концепции до технологической реализации |
| | ПК-9.2. Умеет рассчитывать параметры и характеристики приборов и устройств микро- и наносистемной техники | Умеет выполнять комплексные расчеты параметров и рабочих характеристик приборов и устройств микро- и наносистемной техники, используя современные методы анализа и специализированное программное обеспечение. |
| | ПК-9.3. Владеет навыками работы в прикладных программах для расчета и проектирования устройств микро- и наносистемной техники | Владеет навыками применения специализированного программного обеспечение для комплексного проектирования и верификации устройств микро- и наносистемной техники на всех этапах разработки – от концепции до виртуального прототипирования. Проводит параметрическую оптимизацию характеристик MEMS/NEMS-устройств с использованием специализированного ПО. |

Согласована на портале № 84811

## 4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры |
|---|---|---|
| | | 7 семестр |
| **Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего** | 52 | 52 |
| Лекционные занятия | 18 | 18 |
| Практические занятия | 18 | 18 |
| Лабораторные занятия | 16 | 16 |
| **Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего** | 56 | 56 |
| Подготовка к тестированию | 20 | 20 |
| Написание отчета по лабораторной работе | 12 | 12 |
| Подготовка к лабораторной работе, написание отчета | 12 | 12 |
| Выполнение практического задания | 12 | 12 |
| **Подготовка и сдача экзамена** | 36 | 36 |
| **Общая трудоемкость (в часах)** | 144 | 144 |
| **Общая трудоемкость (в з.е.)** | 4 | 4 |

## 5. Структура и содержание дисциплины

### 5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Структура дисциплины по разделам (темам) и видам учебной деятельности приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

| Названия разделов (тем) дисциплины | Лек. зан., ч | Прак. зан., ч | Лаб. раб. | Сам. раб., ч | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **7 семестр** | | | | | | |
| 1 Структура изделия на основе МЭМС. Принцип работы, назначение. | 2 | 4 | 8 | 16 | 30 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 |
| 2 Сенсорные компоненты микросистемной техники | 8 | 8 | - | 8 | 24 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 |
| 3 Проектирование информационно-измерительной системы МЭМС | 4 | 4 | 4 | 16 | 28 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 |
| 4 Радиотехнические и оптоэлектромеханические МЭМС компоненты | 2 | 2 | - | 4 | 8 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 |
| 5 МЭМС актюаторы | 2 | - | 4 | 12 | 18 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 |
| Итого за семестр | 18 | 18 | 16 | 56 | 108 | |
| Итого | 18 | 18 | 16 | 56 | 108 | |

### 5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)

Согласована на портале № 84811

| Названия разделов (тем) дисциплины | Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) | Трудоемкость (лекционные занятия), ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| **7 семестр** | | | |
| 1 Структура изделия на основе МЭМС. Принцип работы, назначение. | Анализ рынка. Современный рынок МЭМС. Структура изделия на основе МЭМС. Принцип работы, назначение. Сферы применения МЭМС. Параметры и характеристики МЭМС. Моделирование объектов и процессов как средство уменьшения сроков разработки и сокращения финансовых затрат. Уровни описания проектируемых объектов: системный, функциональный, конструкторский, технологический. | 2 | ПК-1 |
| | Итого | 2 | |
| 2 Сенсорные компоненты микросистемной техники | Классификация сенсоров: назначение, вид преобразования, условия эксплуатации. Характеристики сенсоров: диапазон измерения, чувствительность, точность, линейность. Погрешности измерений: температурный и временной дрейф параметров, шумы. МЭМС акселерометры, гироскопы, датчики давления. Оптические МЭМС. Динамические и статические характеристики. Способы увеличения полосы пропускания МЭМС. | 8 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 |
| | Итого | 8 | |
| 3 Проектирование информационно-измерительной системы МЭМС | Схемотехнические решения систем обработки сигналов. Преобразователи ёмкость-напряжение, ёмкость-ток. Виброприводы МЭМС-гироскопов | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 |
| | Итого | 4 | |
| 4 Радиотехнические и оптоэлектромеханические МЭМС компоненты | Управляемые микроэлектрорадиокомпоненты: резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, реле и коммутаторы. Управляемые оптоэлектромеханические микрокомпоненты: резонаторы, зеркала, линзы, затворы, фильтры; оптопереключатели. | 2 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 |
| | Итого | 2 | |

Согласована на портале № 84811

| | | | |
|---|---|---|---|
| 5 МЭМС актюаторы | пьезоэлектрические, емкостные, термомеханические, электромагнитные, пневматические актюаторы. Устройства микросмещения, микропозиционирования, микрозахвата. Микро- и наноманипуляторы. | 2 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 |
| | Итого | 2 | |
| Итого за семестр | | 18 | |
| Итого | | 18 | |

### 5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.
Таблица 5.3. – Наименование практических занятий (семинаров)

| Названия разделов (тем) дисциплины | Наименование практических занятий (семинаров) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| **7 семестр** | | | |
| 1 Структура изделия на основе МЭМС. Принцип работы, назначение. | Структура систем автоматизированного проектирования. Аппаратные средства обеспечения САПР объектов микросистемной техники. Базовые пакеты прикладных программ. | 2 | ПК-1 |
| | Разработка топологии МЭМС переключателей. | 2 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 |
| | Итого | 4 | |
| 2 Сенсорные компоненты микросистемной техники | Создание 3D моделей упругих элементов МЭМС, статический анализ. | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 |
| | Создание 3D моделей электродных структур МЭМС, статический анализ. | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 |
| | Итого | 8 | |
| 3 Проектирование информационно-измерительной системы МЭМС | Разработка топологии МЭМС датчика давления | 2 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 |
| | Разработка топологии МЭМС гироскопа | 2 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 |
| | Итого | 4 | |
| 4 Радиотехнические и оптоэлектромеханические МЭМС компоненты | Разработка топологии МЭМС управляемых конденсаторов | 2 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 |
| | Итого | 2 | |
| Итого за семестр | | 18 | |
| Итого | | 18 | |

### 5.4. Лабораторные занятия

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 5.4.
Таблица 5.4 – Наименование лабораторных работ

Согласована на портале № 84811

| Названия разделов (тем) дисциплины | Наименование лабораторных работ | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| **7 семестр** | | | |
| 1 Структура изделия на основе МЭМС. Принцип работы, назначение. | Исследование свободных и вынужденных колебаний торсионного маятника | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 |
| | Исследование свободных электромагнитных колебаний в колебательном контуре | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 |
| | Итого | 8 | |
| 3 Проектирование информационно-измерительной системы МЭМС | Исследование вынужденных колебаний и явления резонанса в колебательном контуре | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 |
| | Итого | 4 | |
| 5 МЭМС актюаторы | Моделирование и исследование движения плоского механизма | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 |
| | Итого | 4 | |
| Итого за семестр | | 16 | |
| Итого | | 16 | |

### 5.5. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено учебным планом

### 5.6. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6. – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| Названия разделов (тем) дисциплины | Виды самостоятельной работы | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| **7 семестр** | | | | |
| 1 Структура изделия на основе МЭМС. Принцип работы, назначение. | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 | Тестирование |
| | Написание отчета по лабораторной работе | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 | Отчет по лабораторной работе |
| | Подготовка к лабораторной работе, написание отчета | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 | Лабораторная работа |
| | Выполнение практического задания | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 | Практическое задание |
| | Итого | 16 | | |

Согласована на портале № 84811

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2 Сенсорные компоненты микросистемной техники | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 | Тестирование |
| | Выполнение практического задания | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 | Практическое задание |
| | Итого | 8 | | |
| 3 Проектирование информационно-измерительной системы МЭМС | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 | Тестирование |
| | Подготовка к лабораторной работе, написание отчета | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 | Лабораторная работа |
| | Написание отчета по лабораторной работе | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 | Отчет по лабораторной работе |
| | Выполнение практического задания | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 | Практическое задание |
| | Итого | 16 | | |
| 4 Радиотехнические и оптоэлектромеханические МЭМС компоненты | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 | Тестирование |
| | Итого | 4 | | |
| 5 МЭМС актюаторы | Подготовка к тестированию | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 | Тестирование |
| | Подготовка к лабораторной работе, написание отчета | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 | Лабораторная работа |
| | Написание отчета по лабораторной работе | 4 | ПК-1, ПК-6, ПК-9 | Отчет по лабораторной работе |
| | Итого | 12 | | |
| Итого за семестр | | 56 | | |
| | Подготовка и сдача экзамена | 36 | | Экзамен |
| Итого | | 92 | | |

### 5.7. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Формируемые компетенции | Виды учебной деятельности | | | | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|---|
| | Лек. зан. | Прак. зан. | Лаб. раб. | Сам. раб. | |
| ПК-1 | + | + | + | + | Лабораторная работа, Отчет по лабораторной работе, Практическое задание, Тестирование, Экзамен |

Согласована на портале № 84811

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ПК-6 | + | + | + | + | Лабораторная работа, Отчет по лабораторной работе, Практическое задание, Тестирование, Экзамен |
| ПК-9 | + | + | + | + | Лабораторная работа, Отчет по лабораторной работе, Практическое задание, Тестирование, Экзамен |

## 6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

### 6.1. Балльные оценки для форм контроля

Балльные оценки для форм контроля представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Балльные оценки

| Формы контроля | Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра | Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ | Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра | Всего за семестр |
|---|---|---|---|---|
| **7 семестр** | | | | |
| Лабораторная работа | 5 | 5 | 15 | 25 |
| Практическое задание | 5 | 5 | 5 | 15 |
| Тестирование | 5 | 5 | 5 | 15 |
| Отчет по лабораторной работе | 5 | 5 | 5 | 15 |
| Экзамен | | | | 30 |
| Итого максимум за период | 20 | 20 | 30 | 100 |
| Нарастающим итогом | 20 | 40 | 70 | 100 |

### 6.2. Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Пересчет баллов в оценки за текущий контроль представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

| Баллы на дату текущего контроля | Оценка |
|---|---|
| ≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 5 |
| От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 4 |
| От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 3 |
| < 60% от максимальной суммы баллов на дату ТК | 2 |

### 6.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

| Оценка | Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен | Оценка (ECTS) |
|---|---|---|
| 5 (отлично) (зачтено) | 90 – 100 | A (отлично) |
| 4 (хорошо) (зачтено) | 85 – 89 | B (очень хорошо) |
| | 75 – 84 | C (хорошо) |
| | 70 – 74 | D (удовлетворительно) |
| 3 (удовлетворительно) (зачтено) | 65 – 69 | |
| | 60 – 64 | E (посредственно) |
| 2 (неудовлетворительно) (не зачтено) | Ниже 60 баллов | F (неудовлетворительно) |

Согласована на портале № 84811

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 7.1. Основная литература

1. Соловьев, А. А. Проектирование и моделирование МЭМС : учебное пособие / А. А. Соловьев, Е. Ф. Певцов, В. М. Миннебаев. — Москва : РТУ МИРЭА, 2023. — 190 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://reader.lanbook.com/book/382754#1.

2. Фетисов, Л. Ю. Введение в микросистемную технику : учебное пособие / Л. Ю. Фетисов. — Москва : РТУ МИРЭА, 2021. — 82 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://reader.lanbook.com/book/182575.

### 7.2. Дополнительная литература

1. Остертак, Д. И. Микроэлектромеханика : учебное пособие / Д. И. Остертак. —Новосибирск : НГТУ, 2016. — 120 с [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/118177.

2. Гридчин, А. В. Микродатчики и микросистемы. Краткий курс лекций : учебное пособие / А. В. Гридчин. — Новосибирск : НГТУ, 2021. — 226 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://reader.lanbook.com/book/216290#1.

### 7.3. Учебно-методические пособия

#### 7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Лазута, И. В. Моделирование технических систем в MATLAB-Simulink: лабораторный практикум : учебное пособие / И. В. Лазута. — Омск : СибАДИ, 2024. — 145 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/407447.

2. Технологии наноэлектроники: Лабораторный практикум : учебное пособие / Ф. А. Федулов, Е. С. Шахурин, А. М. Буряков [и др.] ; под редакцией Ю. К. Фетисова. — Москва : РТУ МИРЭА , 2023 . — 7 9 с . [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/382745.

3. Гажулина, А. П. Физический маятник: Практикум : учебное пособие / А. П. Гажулина. — Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2021. — 22 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/191522.

4. Гажулина А.П. ИЗУЧЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ ТВЁРДЫХ ТЕЛ: Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2021. – 17 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/191524.

5. Овсецина, Т. И. Изучение законов колебательного движения математического маятника: практикум : учебное пособие / Т. И. Овсецина. — Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2019 . — 18 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/191774.

#### 7.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

**Для лиц с нарушениями зрения:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

### 7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Согласована на портале № 84811

При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh.

## 8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

### 8.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с достаточным количеством посадочных мест для учебной группы, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются мультимедийное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

### 8.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Учебная аудитория: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 124 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Компьютер Intel(R) Core (TM)2 CPU (13 шт.);
- Проектор Benq;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

### 8.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Учебная аудитория: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа; 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 124 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Компьютер Intel(R) Core (TM)2 CPU (13 шт.);
- Проектор Benq;
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

### 8.4. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 101 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 107 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 130 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду ТУСУРа.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

### 8.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами

Согласована на портале № 84811

осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями зрения** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

## 9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

### 9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

| Названия разделов (тем) дисциплины | Формируемые компетенции | Формы контроля | Оценочные материалы (ОМ) |
|---|---|---|---|
| 1 Структура изделия на основе МЭМС. Принцип работы, назначение. | ПК-1, ПК-6, ПК-9 | Лабораторная работа | Темы лабораторных работ |
| | | Практическое задание | Темы практических заданий |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по лабораторной работе | Темы лабораторных работ |
| 2 Сенсорные компоненты микросистемной техники | ПК-1, ПК-6, ПК-9 | Практическое задание | Темы практических заданий |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |

Согласована на портале № 84811

| | | | |
|---|---|---|---|
| 3 Проектирование информационно-измерительной системы МЭМС | ПК-1, ПК-6, ПК-9 | Лабораторная работа | Темы лабораторных работ |
| | | Практическое задание | Темы практических заданий |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по лабораторной работе | Темы лабораторных работ |
| 4 Радиотехнические и оптоэлектромеханические МЭМС компоненты | ПК-1, ПК-6, ПК-9 | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| 5 МЭМС актюаторы | ПК-1, ПК-6, ПК-9 | Лабораторная работа | Темы лабораторных работ |
| | | Тестирование | Примерный перечень тестовых заданий |
| | | Экзамен | Перечень экзаменационных вопросов |
| | | Отчет по лабораторной работе | Темы лабораторных работ |

Шкала оценки сформированности отдельных планируемых результатов обучения по дисциплине приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

| Оценка | Баллы за ОМ | Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения | | |
|---|---|---|---|---|
| | | знать | уметь | владеть |
| 2 (неудовлетворительно) | < 60% от максимальной суммы баллов | отсутствие знаний или фрагментарные знания | отсутствие умений или частично освоенное умение | отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков |
| 3 (удовлетворительно) | от 60% до 69% от максимальной суммы баллов | общие, но не структурированные знания | в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение | в целом успешное, но не систематическое применение навыков |
| 4 (хорошо) | от 70% до 89% от максимальной суммы баллов | сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания | в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение | в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков |

Согласована на портале № 84811

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 5 (отлично) | ≥ 90% от максимальной суммы баллов | сформированные систематические знания | сформированное умение | успешное и систематическое применение навыков |

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

| Оценка | Формулировка требований к степени компетенции |
|---|---|
| 2 (неудовлетворительно) | Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале<br>или<br>Знать на уровне **ориентирования**, представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения. |
| 3 (удовлетворительно) | Знать и уметь на **репродуктивном** уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях. |
| 4 (хорошо) | Знать, уметь, владеть на **аналитическом** уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения. |
| 5 (отлично) | Знать, уметь, владеть на **системном** уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины. |

### 9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

1. Определить чувствительность S тензочувствительного преобразователя давления, если при воздействии на него давления P=100 кПа относительное изменение сопротивления всех резисторов составило ΔR/R = 2 %. Напряжение питания мостовой тензорезистивной схемы U0=5 В.
   а) 10
   б) 20
   в) 30
   г) 40
2. Определить номинальный выходной сигнал тензорезистивного преобразователя при напряжении питания мостовой тензорезистивной схемы U0=5 В, коэффициенте тензочувствительности резисторов k=40, критическом механическом напряжении σкр=108 Па и двукратном запасе прочности. (модуль Юнга механического элемента E=2E+11 Па)
   а) 1 мВ
   б) 5 мВ
   в) 45 мВ
   г) 90 мВ
3. Определить чувствительность S тензорезистивного акселерометра, если при воздействии ускорения a=10g (g=9,8 м/с2) по направлению оси чувствительности в области расположения тензорезисторов формируются механические напряжения σ = 105 Па. Напряжение питания мостовой тензорезистивной схемы U0=5 В, коэффициент тензочувствительности резисторов k=50, модуль Юнга механического элемента E=3E+11

Согласована на портале № 84811

Па.
а) 10
б) 20
в) 30
г) 40

4. Определить коэффициент преобразования dF/dU плоского емкостного (с переменным зазором) преобразователя в режиме поддержания постоянного зазора dx=0. Площадь подвижной обкладки S=1мм2, величина зазора между обкладками x= 2 мкм, постоянное напряжение между обкладками U=5 В.
а) 50
б) 100
в) 500
г) 1000

5. Определить коэффициент преобразования dF/dU планарного емкостного преобразователя гребенчатого типа (с переменным перекрытием у зубцов гребенки при постоянном зазоре между зубцами x= 3 мкм). Количество зубцов в подвижной 80494 Проверено в генераторе 13 гребенке n=25, толщина зубцов h=2мкм, постоянное напряжение между гребенками U=5 В.
а) 50
б) 100
в) 500
г) 1000

6. Определить смещение Δy подвижной гребенки планарного электромеханического преобразователя гребенчатого типа (с переменным перекрытием у зубцов гребенки при постоянном зазоре между зубцами x= 2 мкм) при приложении постоянного напряжения между гребенками U=5 В. Количество зубцов в подвижной гребенке n=50, толщина зубцов h=3мкм, коэффициент жесткости подвеса подвижной гребенки в направлении смещения k=2·10-3 Н/м.
а) 50 нм
б) 100 нм
в) 500 нм
г) 1000 нм

7. Определить критическое напряжение Uкр (залипания) подвижной обкладки плоского емкостного (с переменным зазором x) преобразователя (микрореле). Площадь подвижной обкладки S=0,01мм2, величина начального зазора (при U=0) между обкладками x0=3 мкм, коэффициент жесткости подвеса подвижной обкладки k=2·10-2 Н/м.
а) 2 В
б) 12 В
в) 27 В
г) 70 В

8. Определить коэффициент преобразования dF/dI микромеханического электромагнитного преобразователя в режиме поддержания постоянного зазора x=2 мкм между планарной катушкой с током и подвижной пластиной магнитопровода. Площадь подвижной пластины S=1мм2, величина постоянного тока в катушке I=10 мА, количество витков в катушке n=20.
а) 1
б) 2,5
в) 17
г) 37

9. Определить величину перегрева T терморезистора R=5 кОм, расположенного (в локализованной области с радиусом r1=100 мкм) в центре плоской круглой мембраны радиусом r2=1мм и толщиной h=10 мкм при протекании через резистор тока I=1 мА. Кремниевая мембрана с теплопроводностью 150 Вт/м К закреплена на более массивном основании с фиксированной температурой. Теплоотдачей в воздушную среду пренебречь.
а) 10 С
б) 16 С

Согласована на портале № 84811

в) 32 С
г) 81 С

10. Определить величину перегрева Т терморезистора R=5 кОм, расположенного в середине плоской прямоугольной балки длиной L=1мм, шириной b=100мкм и толщиной h=5мкм при протекании через резистор тока I=1 мА. Кремниевая балка с теплопроводностью 150 Вт/м К закреплена на более массивном основании с фиксированной температурой. Теплоотдачей в воздушную среду пренебречь.
    а) 10 С
    б) 16 С
    в) 32 С
    г) 81 С

### 9.1.2. Перечень экзаменационных вопросов

1. Характеристики МЭМС сенсоров.
2. Принцип работы МЭМС акселерометров, статические и динамические характеристики.
3. Принцип работы МЭМС акселерометров с обратной связью, статические и динамические характеристики.
4. Принцип работы МЭМС гироскопов LL- типа, статические и динамические характеристики.
5. Принцип работы МЭМС гироскопов RR- типа, статические и динамические характеристики.
6. МЭМС гироскоп с расширенной полосой пропускания.
7. Принцип работы МЭМС управляемого конденсатора
8. Вибропривод МЭМС гироскопа.
9. Виды актюаторов, принцип работы
10. Принцип работы МЭМС двигателя

### 9.1.3. Темы лабораторных работ

1. Исследование свободных и вынужденных колебаний торсионного маятника
2. Исследование свободных электромагнитных колебаний в колебательном контуре
3. Исследование вынужденных колебаний и явления резонанса в колебательном контуре
4. Моделирование и исследование движения плоского механизма

### 9.1.4. Темы практических заданий

1. Технологический процесс изготовления МЭМС акселерометра.
2. Расчет базовой конструкции емкостного (магнитного, пьезоризитивного) актюатора.
3. Расчет базовой конструкции емкостного (оптического, тензорезистивного) преобразователя.
4. Исследование температурных характеристик МЭМС.
5. Системное моделирование и исследование динамических характеристик акелерометра.

## 9.2. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

Согласована на портале № 84811

– чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;

– если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;

– осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе / электронном журнале по дисциплине.

Для допуска к экзамену должны быть выполнены и защищены все лабораторные работы и практические задания, предусмотренные настоящей программой.

### 9.3. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

| Категории обучающихся | Виды дополнительных оценочных материалов | Формы контроля и оценки результатов обучения |
|---|---|---|
| С нарушениями слуха | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы | Преимущественно письменная проверка |
| С нарушениями зрения | Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам | Преимущественно устная проверка (индивидуально) |
| С нарушениями опорно-двигательного аппарата | Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету | Преимущественно дистанционными методами |
| С ограничениями по общемедицинским показаниям | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы | Преимущественно проверка методами, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки |

### 9.4. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

– в печатной форме;

– в печатной форме с увеличенным шрифтом;

– в форме электронного документа;

– методом чтения ассистентом задания вслух;

– предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

– письменно на бумаге;

– набор ответов на компьютере;

– набор ответов с использованием услуг ассистента;

– представление ответов устно.

Согласована на портале № 84811

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**Для лиц с нарушениями зрения:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

– в форме электронного документа;

– в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 84811

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ
протокол № 172 от «16» 10 2025 г.

**СОГЛАСОВАНО:**

| Должность | Инициалы, фамилия | Подпись |
|---|---|---|
| Заведующий выпускающей каф. ФЭ | Ю.В. Сахаров | Согласовано, dd1f7cbe-1ce6-48e6-b40d-074633a5bd8a |
| Заведующий обеспечивающей каф. ФЭ | Ю.В. Сахаров | Согласовано, dd1f7cbe-1ce6-48e6-b40d-074633a5bd8a |
| Начальник учебного управления | Г.А. Цой | Согласовано, 8a5745e4-63a0-4946-bbb0-ce4977ac113e |

**ЭКСПЕРТЫ:**

| | | |
|---|---|---|
| Профессор, каф. ФЭ | Ю.В. Сахаров | Согласовано, dd1f7cbe-1ce6-48e6-b40d-074633a5bd8a |
| Доцент, каф. ФЭ | И.А. Чистоедова | Согласовано, 2114f42c-7cf2-4826-9f35-9a75ea4961b2 |

**РАЗРАБОТАНО:**

| | | |
|---|---|---|
| Профессор, каф. ФЭ | Ю.В. Сахаров | Разработано, dd1f7cbe-1ce6-48e6-b40d-074633a5bd8a |

Согласована на портале № 84811