

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Беспалов Владимир Александрович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 01.09.2023 15:13:28  
Уникальный программный ключ:  
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f73bd76c8f8bea882b8d602

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет  
«Московский институт электронной техники»



## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Теоретические основы и расчет тепловых МЭМС»

Направление подготовки - 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств»

Направленность (профиль) – «Комплексное проектирование микросистем средствами Mentor Graphics»

Москва 2020

## 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

**Подкомпетенция ПК-6 «Способен выполнять проектирование и конструирование микросистем средствами САПР компании Mentor Graphics в соответствии с технологией их производства» сформулирована на основе профессионального стандарта 29.006 «Специалист по проектированию систем в корпусе»**

**Обобщенная трудовая функция С. Разработка и моделирование конструкции и топологии изделий "система в корпусе"**

**Трудовая функция С/01.7. Разработка архитектуры изделий "система в корпусе"**

Подкомпетенция формируемая в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-6.ТОРТ Способен выполнять расчет и проектирование конструкции тепловых МЭМС с учетом протекающих в них процессов теплообмена и технологии их производства	Проектирование электронных средств, приборов и систем с учетом заданных требований	<b>Знания:</b> технологии производства и конструктивно-технологических особенностей проектирования тепловых микросистем <b>Умения:</b> проектировать тепловые микросистемы средствами сквозных маршрутов проектирования компании Mentor Graphics или аналогичных САПР <b>Опыт деятельности:</b> по применению навыков разработки тепловых микросистем с учётом заданных конструктивно-технологических требований

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Входные требования к дисциплине:

знание принципов построения и функционирования изделий микро- и наноэлектроники и технологических процессов их производства;

умение проводить расчеты конструктивно-технологических параметров элементов микро- и наноэлектроники;

владение навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследований в области создания изделий микро- и наноэлектроники.

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
2	3	2	72	16	-	16	40	ЗаО

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Практические занятия (часы)	Лабораторные работы (часы)		
1. Теоретические основы проектирования тепловых МЭМС	8	8	-	20	Тестирование №1-4
					Сдача практических заданий №1-4
2. Расчет и проектирование тепловых МЭМС	8	8	-	20	Тестирование №5-8
					Сдача практических заданий №5-8
					Защита итогового проектного задания

#### 4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Особенности тепловых МЭМС. Обзор типов существующих МЭМС. Неохлаждаемые детекторы инфракрасного излучения. Тепловые датчики потока жидкости и газа. Термоакселерометры. Тепловые микроактюаторы. Виды теплообмена в МЭМС.
	2	2	Основы теории теплопроводности. Физическая природа явления. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Уравнение Фурье. Условия однозначности.
	3	2	Основы теории конвекции. Физика явления конвекции. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Методы исследования. Теплообмен в жидкостях и газах. Теплоотдача при вынужденном и свободном теплообмене.
	4	2	Основы теории излучения. Физика процесса излучения. Определения энергетических единиц. Соотношение между интенсивностью и плотностью потока излучения. Виды излучений. Законы излучения абсолютно черного тела. Определения радиационных характеристик тел. Радиационные свойства излучения поверхностей. Теплообмен двух тел, произвольно расположенных в пространстве. Теплообмен тела, находящегося в окружении другого тела.
2	5	2	Проектирование актюатора теплового линейного расширения. Проектирование актюатора на основе многослойной биморфной структуры. Модель распределения перегрева по длине балки микроактюатора. Расчет динамических характеристик теплового микроактюатора. Расчет сопротивления нагревательного элемента биморфной структуры. Алгоритм проектирования теплового актюатора на основе биморфной балки
	6	2	Термоанемометры. Примеры реализации датчиков массового расхода. Устройство, принцип действия и основные закономерности. Термоанемометр постоянной температуры. Термоанемометр с переносом тепловых меток на основе стационарного теплообмена. Моделирование теплообмена ЧЭ термоанемометра с переносом тепловых меток на основе стационарного теплообмена. Моделирование теплообмена ЧЭ термоанемометра с переносом тепловых меток на основе периодической температурной волны.
	7	2	Приемники теплового излучения. Классификация приемников теплового излучения. Моделирование теплового приемника излучения. Основные характеристики ТПИ. Механизмы шума в ТПИ. Ограничения мощности ТПИ. Болометры. Типы болометров. Микроболометрические матрицы. Матричные приемники на основе микрокантилеверов.

	8	2	Тепловые микроакселерометры. Микроакселерометр с инерционной массой. Конвективные микроакселерометры. Моделирование конвективного интегрального теплового микроакселерометра. Описание модели. Методика решения. Расчет температуры нагревателя. Оценка быстродействия микроакселерометра. Пример и анализ результатов моделирования конвективного микротермоакселерометра. Методика проектирования интегрального конвективного акселерометра.
--	---	---	--

#### 4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	2	Особенности тепловых МЭМС. Обзор типов существующих МЭМС. Неохлаждаемые детекторы инфракрасного излучения. Тепловые датчики потока жидкости и газа. Термоакселерометры. Тепловые микроактюаторы. Виды теплообмена в МЭМС.
	2	2	Основы теории теплопроводности. Физическая природа явления. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Уравнение Фурье. Условия однозначности.
	3	2	Основы теории конвекции. Физика явления конвекции. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Методы исследования. Теплообмен в жидкостях и газах. Теплоотдача при вынужденном и свободном теплообмене.
	4	2	Основы теории излучения. Физика процесса излучения. Определения энергетических единиц. Соотношение между интенсивностью и плотностью потока излучения. Виды излучений. Законы излучения абсолютно черного тела. Определения радиационных характеристик тел. Радиационные свойства излучения поверхностей. Теплообмен двух тел, произвольно расположенных в пространстве. Теплообмен тела, находящегося в окружении другого тела.
2	5	2	Проектирование актюатора теплового линейного расширения. Проектирование актюатора на основе многослойной биморфной структуры. Модель распределения перегрева по длине балки микроактюатора. Расчет динамических характеристик теплового микроактюатора. Расчет сопротивления нагревательного элемента биморфной структуры. Алгоритм проектирования теплового актюатора на основе биморфной балки
	6	2	Термоанемометры. Примеры реализации датчиков массового расхода.

		Устройство, принцип действия и основные закономерности. Термоанемометр постоянной температуры. Термоанемометр с переносом тепловых меток на основе стационарного теплообмена. Моделирование теплообмена ЧЭ термоанемометра с переносом тепловых меток на основе стационарного теплообмена. Моделирование теплообмена ЧЭ термоанемометра с переносом тепловых меток на основе периодической температурной волны.
7	2	Приемники теплового излучения. Классификация приемников теплового излучения. Моделирование теплового приемника излучения. Основные характеристики ТПИ. Механизмы шума в ТПИ. Ограничения мощности ТПИ. Болометры. Типы болометров. Микроболометрические матрицы. Матричные приемники на основе микрокантилеверов.
8	2	Тепловые микроакселерометры. Микроакселерометр с инерционной массой. Конвективные микроакселерометры. Моделирование конвективного интегрального теплового микроакселерометра. Описание модели. Методика решения. Расчет температуры нагревателя. Оценка быстродействия микроакселерометра. Пример и анализ результатов моделирования конвективного микротермоакселерометра. Методика проектирования интегрального конвективного акселерометра.

#### 4.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

#### 4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	8	Работа с материалами модуля в Moodle, ресурсами Интернет, учебными и методическими материалами
	10	Подготовка к практическим занятиям и прохождение Тестов №1-4
	2	Выполнение итогового проектного задания
2	8	Работа с материалами модуля в Moodle, ресурсами Интернет, учебными и методическими материалами
	10	Подготовка к практическим занятиям и прохождение Тестов №5-8
	2	Выполнение и защита итогового проектного задания

#### 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрены

## 5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>):

- ✓ Методические указания для студентов по изучению дисциплины «Инженерные расчеты в САПР».

### Модуль 1 «Теоретические основы проектирования тепловых МЭМС»

- ✓ Электронный модуль №1 и задания для практического занятия №1 Дисциплины «Теоретические основы и расчет тепловых МЭМС» (Электронный курс).
- ✓ Конспект лекций модуля 1.
- ✓ Электронный модуль №2 и задания для практического занятия №2 Дисциплины «Теоретические основы и расчет тепловых МЭМС» (Электронный курс).
- ✓ Конспект лекций модуля 2.
- ✓ Электронный модуль №3 и задания для практического занятия №3 Дисциплины «Теоретические основы и расчет тепловых МЭМС» (Электронный курс).
- ✓ Конспект лекций модуля 3.
- ✓ Электронный модуль №4 и задания для практического занятия №4 Дисциплины «Теоретические основы и расчет тепловых МЭМС» (Электронный курс).
- ✓ Конспект лекций модуля 4.

### Модуль 2 «Расчет и проектирование тепловых МЭМС»

- ✓ Электронный модуль №5 и задания для практического занятия №5 Дисциплины «Теоретические основы и расчет тепловых МЭМС» (Электронный курс).
- ✓ Конспект лекций модуля 5.
- ✓ Электронный модуль №6 и задания для практического занятия №6 Дисциплины «Теоретические основы и расчет тепловых МЭМС» (Электронный курс).
- ✓ Конспект лекций модуля 6.
- ✓ Электронный модуль №7 и задания для практического занятия №7 Дисциплины «Теоретические основы и расчет тепловых МЭМС» (Электронный курс).
- ✓ Конспект лекций модуля 7.
- ✓ Электронный модуль №8 и задания для практического занятия №8 Дисциплины «Теоретические основы и расчет тепловых МЭМС» (Электронный курс).
- ✓ Конспект лекций модуля 8.

### Модуль 3 «Итоговое проектное задание»

- ✓ Методические указания по выполнению итогового проектного задания.
- ✓ Электронный модуль «Итоговое проектное задание» Дисциплины «Теоретические основы и расчет тепловых МЭМС» (Электронный курс).

## **6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

### **Литература**

1. Самойликов В.К. Тепловые МЭМС: основы расчета, проектирование, испытание: Учеб. пособие. Ч. 1 / В.К. Самойликов, С.П. Тимошенко, С.С. Евстафьев; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2017. - 240 с. - ISBN 978-5-7256-0864-9
2. Самойликов В.К. Тепловые МЭМС: основы расчета, проектирование, испытание: Учеб. пособие. Ч. 2 / В.К. Самойликов, С.П. Тимошенко, С.С. Евстафьев; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2019. - 132 с. - ISBN 978-5-7256-0926-4

### **Периодические издания**

1. ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. ЭЛЕКТРОНИКА: Научно-технический журнал / М-во образования и науки РФ; МИЭТ; Гл. ред. Ю.А. Чаплыгин. - М. : МИЭТ, 1996 -.

## **7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ**

1. eLIBRARY.RU : Научная электронная библиотека : сайт. - Москва, 2000 - . - URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
2. Электронно-библиотечная система Лань : сайт. - Санкт-Петербург, 2011 - . - URL: <https://e.lanbook.com/> (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.

## **8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

В ходе реализации обучения используется смешанное обучение: аудиторное обучение при проведении лабораторных работ с применением компьютерных технологий, интерактивной проверки результатов тестирования, дистанционное обучение в виде консультации по Skype при выполнении лабораторных работ.

Применяются дистанционные образовательные технологии с использованием системы Moodle (<https://orioks.miet.ru/moodle/course/view.php?id=148>).

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС и MOODLE <http://orioks.miet.ru>.

Работа проводится по следующей схеме:

- каждое занятие начинается с ознакомления с теоретическими основами темы занятия. Студент открывает изучаемый в настоящий момент модуль занятия и знакомится с теоретической частью. В этом ему помогает преподаватель: очно, объясняя излагаемые в материале элементы, или дистанционно путем ответа на вопросы по Skype, в системе ОРИОКС или по электронной почте;

- завершив усвоение теоретического материала студент переходит к тестированию по данной тематике. Тестирование включает в себя от 10 до 20 вопросов, которыми проверяется степень усвоения материала. В случае удачного прохождения тестирования (для каждого модуля устанавливается свой процент правильных ответов) студент переходит к следующей части занятия – выполнению практического задания. В противном случае он должен заново ознакомиться с материалом и выполнить тест повторно;

- практическое задание представлено во второй части модуля и доступ к нему открывается только после успешного прохождения теста, представленного в Модулях дисциплины. Студент должен самостоятельно выполнить поставленное задание автоматически его проверить, решив второй контрольный тест в Модуле. Преподаватель проверяет выполнение задания, задает проверочные вопросы и выносит оценку за выполнение Модуля.

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: SKYPE, ресурсы ОРИОКС «Задание», электронная почта преподавателя.

В процессе обучения при проведении занятий и для самостоятельной работы используются только **внутренние электронные ресурсы** (<http://orioks.miet.ru>).

Тестирование проводится в ОРИОКС (MOODLe).

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Компьютерный класс	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	Microsoft Office браузер
Помещение для самостоятельной работы обучающихся – компьютерный класс	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	ОС Microsoft Windows Microsoft Office Acrobat Reader DC браузер

## **10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ**

1. ФОС по подкомпетенции **ПК-6.ТОРТ** “Способен выполнять расчет и проектирование конструкции тепловых МЭМС с учетом протекающих в них процессов теплообмена и технологии их производства”

Фонд оценочных средств представлен отдельным документом и размещен в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

## **11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **11.1. Особенности организации процесса обучения**

Дисциплина «Инженерные расчеты в САПР» может изучаться как очно, так и дистанционно.

Модульное построение курса предполагает изложение содержания модулей в единстве логического подхода. Студенты, изучающие дисциплину обязаны:

- освоить темы 8 лекционных занятий (освоение тем подтверждается успешным выполнением тестов по каждому модулю);
- принять участие в 8 практических занятиях и выполнить 8 практических заданий.

На лекционных занятиях студент знакомится с теоретическим материалом курса как по средствам лекции-визуализации, так и путем ознакомления с материалами лекций в системе Moodle.

Для подтверждения усвоенных на лекционном занятии знаний студент должен выполнить соответствующий занятию Тест. Выполнение теста осуществляется дистанционно в системе WebTutor или Moodle во время самостоятельной работы студента.

Для получения и закрепления практических навыков предусмотрены практические занятия, каждое из которых соответствует тематике лекции. На практическом занятии студент решает практическое задание в присутствии преподавателя, при необходимости консультируясь по возникающим вопросам.

В конце, после выполнения всех практических занятий предусмотрено выполнение студентом итогового проектного задания по тематике тепловых МЭМС и его защита преподавателю. Успешное выполнение этого задания будет свидетельствовать о том, что студент овладел необходимыми навыками.

В процессе изучения курса предполагается самостоятельная работа студента при подготовке к лекционным и практическим занятиям, а также к тестам. При этом студент использует литературу, библиотеку электронных модулей, Интернет-ресурсы.

Особенностью курса является возможность выполнения практических заданий и выполнения тестов в электронном виде.

По завершению изучения дисциплины предусмотрен дифференцированный зачет, при этом оценка учебной деятельности студента основана на балльной накопительной системе.

### **11.2. Система контроля и оценивания**

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система.

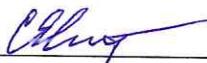
Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре (в сумме 72 балла), активность в семестре (в сумме 8 баллов).

По завершению изучения дисциплины предусмотрен дифференцированный зачет (20 баллов), при этом оценка учебной деятельности студента основана на балльной накопительной системе. Перечень контрольных мероприятий и методика их балльной оценки изложена в методических указаниях для студентов.

По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий доступен в ОРИОКС// URL: <https://orioks.miet.ru>.

#### **РАЗРАБОТЧИК:**

Доцент Института НМСТ, к.т.н,

  
\_\_\_\_\_

С.С.Евстафьев

Рабочая программа дисциплины «Теоретические основы и расчет тепловых МЭМС» по направлению подготовки 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств», направленности (профилю) «Комплексное проектирование микросистем средствами Mentor Graphics» разработана в Институте НМСТ и утверждена на заседании УС Института НМСТ 24 декабря 2020 года, протокол № 6.

Директор Института НМСТ

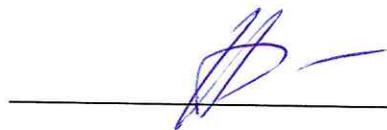


Тимошенко С.П.

### ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК



/ И.М.Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки



/ Т.П.Филипова /