

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА"**

СОГЛАСОВАНО  
Зав. выпускающей кафедры

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по УР  
А.В. Корячко

**Тепловые процессы в электронике**  
рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой	<b>Промышленной электроники</b>
Учебный план	11.03.03_20_00.plx 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств
Квалификация	<b>бакалавр</b>
Форма обучения	<b>очная</b>
Общая трудоемкость	<b>4 ЗЕТ</b>

**Распределение часов дисциплины по семестрам**

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	6 (3.2)		Итого	
	Неделя			
Вид занятий	уп	рп	уп	рп
Лекции	32	32	32	32
Лабораторные	16	16	16	16
Практические	16	16	16	16
Иная контактная работа	0,65	0,65	0,65	0,65
Консультирование перед экзаменом и практикой	2	2	2	2
Итого ауд.	66,65	66,65	66,65	66,65
Контактная работа	66,65	66,65	66,65	66,65
Сам. работа	26,3	26,3	26,3	26,3
Часы на контроль	35,35	35,35	35,35	35,35
Письменная работа на курсе	15,7	15,7	15,7	15,7
Итого	144	144	144	144

г. Рязань

Программу составил(и):

*к.т.н., доц., Фелов Андрей Анатольевич*

Рабочая программа дисциплины

**Тепловые процессы в электронике**

разработана в соответствии с ФГОС ВО:

ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств (приказ Минобрнауки России от 19.09.2017 г. № 928)

составлена на основании учебного плана:

11.03.03 Конструирование и технология электронных средств  
утвержденного учёным советом вуза от 25.06.2021 протокол № 10.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

**Промышленной электроники**

Протокол от 16.06.2020 г. № 10

Срок действия программы: 2020-2024 уч.г.

Зав. кафедрой Круглов Сергей Александрович

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 2022-2023 учебном году на заседании кафедры  
**Промышленной электроники**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2022 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 2023-2024 учебном году на заседании кафедры  
**Промышленной электроники**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2023 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 2024-2025 учебном году на заседании кафедры  
**Промышленной электроники**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2024 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

---

**Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году**

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 2025-2026 учебном году на заседании кафедры

**Промышленной электроники**

Протокол от \_\_\_\_\_ 2025 г. № \_\_\_\_

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

1.1	Системное изложение положений, представляющих теоретическую основу теплофизических процессов, протекающих в электронных приборах и устройствах
-----	--

**2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Цикл (раздел) ОП:	Б1.В
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>
2.1.1	Микроэлектроника СВЧ
2.1.2	Плазменная электроника
2.1.3	Теоретическая механика
2.1.4	Электромагнитная совместимость
2.1.5	3D-дизайн электронных средств
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>
2.2.1	Конструирование и разработка ВИЭ
2.2.2	Конструирование и разработка приборов цифровой электроники
2.2.3	Конструирование и технология вакуумных систем
2.2.4	Конструирование и технология электронных средств на базе программируемых БИС
2.2.5	Микрополосковые СВЧ устройства
2.2.6	Приборы и методы контроля и диагностики в электронике
2.2.7	Синтез цифровых устройств на базе ПЛИС
2.2.8	Автоматизация систем управления внешними исполнительными устройствами
2.2.9	Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
2.2.10	Конструирование и разработка систем электронной оптики
2.2.11	Микропроцессоры и микроконтроллеры
2.2.12	Преддипломная практика

**3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**ПК-1: Способен строить простейшие физические и математические модели узлов и модулей электронных средств различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования**

**Знать**  
Знает инструменты и методы построения простейших физических и математических моделей узлов и модулей электронных средств различного функционального назначения, знает стандартные программные средства их компьютерного моделирования

**Уметь**  
Умеет строить простейшие физические и математические модели узлов и модулей электронных средств различного функционального назначения, умеет использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования

**Владеть**  
Владеет навыками построения простейших физических и математических моделей узлов и модулей электронных средств различного функционального назначения, навыками компьютерного моделирования узлов и модулей электронных средств

**ПК-2: Способен аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик конструкций и технологических процессов производства электронных средств различного функционального назначения**

**Знать**

**Уметь**

**Владеть**

**ПК-6: Способен выполнять работы по технологической подготовке производства**

<b>Знать</b>
<b>Уметь</b>
<b>Владеть</b>

**В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен**

<b>3.1</b>	<b>Знать:</b>
3.1.1	1. Знает методы и инструменты выполнения диагностики технического состояния сложных функциональных узлов радиоэлектронной аппаратуры
3.1.2	2. Знает методики измерения параметров активной части схемы с учетом электрических параметров корпуса и трассировки коммутационных плат изделий "система в корпусе"
3.1.3	3. Знает инструменты и методы выполнения статистической обработки измеренных параметров активной части схемы с учетом электрических параметров корпуса и трассировки коммутационных плат изделий "система в корпусе"
<b>3.2</b>	<b>Уметь:</b>
3.2.1	1. Умеет выполнять диагностику технического состояния сложных функциональных узлов радиоэлектронной аппаратуры
3.2.2	2. Умеет выполнять измерения параметров активной части схемы с учетом электрических параметров корпуса и трассировки коммутационных плат изделий "система в корпусе"
3.2.3	3. Умеет выполнять статистическую обработку измеренных параметров активной части схемы с учетом электрических параметров корпуса и трассировки коммутационных плат изделий "система в корпусе"
<b>3.3</b>	<b>Владеть:</b>
3.3.1	1. Владеет навыками выполнения диагностики технического состояния сложных функциональных узлов радиоэлектронной аппаратуры
3.3.2	2. Владеет навыками измерения параметров активной части схемы с учетом электрических параметров корпуса и трассировки коммутационных плат изделий "система в корпусе"
3.3.3	3. Владеет навыками выполнения статистической обработки измеренных параметров активной части схемы с учетом электрических параметров корпуса и трассировки коммутационных плат изделий "система в корпусе"

**4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетенции	Литература	Форма контроля
	<b>Раздел 1. Аудиторная работа</b>					
1.1	Введение /Тема/	6	0			
1.2	Влияние теплового режима на надежность и выходные параметры приборов. Основные виды теплопередачи, используемые в системах охлаждения электронных приборов. /Лек/	6	2	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2	
1.3	Передача тепла излучением /Тема/	6	0			
1.4	Основные закономерности теплового излучения: Законы Кирхгофа, Планка, смещения Вина, Стефана-Больцмана, Ламберта. Теплообмен между абсолютно черными поверхностями. Угловые коэффициенты облученности. Теплообмен между диффузно серыми поверхностями. Метод "лучистого сальдо", формула Христиансена. Защита от теплового излучения /Лек/	6	8	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В	Л1.2 Л1.3	
1.5	Теплоотдача излучением /Пр/	6	2	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В	Л1.2 Л1.3Л3.2	

1.6	Экспериментальное определение коэффициента излучения поверхности /Лаб/	6	4	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В	Л3.3	
1.7	Передача тепла теплопроводностью /Тема/	6	0			
1.8	Температурное поле, изотермические поверхности, градиент температуры. Закон теплопроводности Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности в твердом теле. Теплопроводность в плоской и цилиндрической стенках. Термическое сопротивление. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенки. Теплоизоляция. /Лек/	6	4	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В	Л1.2 Л1.3	
1.9	Передача тепла теплопроводностью /Пр/	6	2	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В	Л1.2 Л1.3	
1.10	Изучение методов измерения плотности тепловых потоков и сопротивления теплопередаче материалов /Лаб/	6	4	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В	Л1.2 Л1.3Л3.1	
1.11	Передача тепла конвекцией /Тема/	6	0			
1.12	Экспериментальное и теоретическое определение коэффициента теплоотдачи воздушного радиатора в режиме естественной конвекции /Лаб/	6	4	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В	Л1.2 Л1.3	
1.13	Экспериментальное определение коэффициента теплоотдачи воздушного радиатора в режиме вынужденной конвекции /Лаб/	6	4	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В	Л1.2 Л1.3	

1.14	Дифференциальное уравнение теплопроводности в текучей среде. Уравнение сплошности потока. Уравнения Навье – Стокса. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена в безразмерной форме. Числа подобия. Условия подобия тепловых процессов. Метод анализа размерностей, общий вид критериальных соотношений конвективного теплообмена естественной и вынужденной конвекцией, некоторые критериальные соотношения. Теплоотдача в канале постоянного поперечного сечения произвольной формы, изменение температур жидкости и стенки канала, температурного напора и плотности теплового потока в продольном сечении канала. Среднеинтегральные значения коэффициента теплоотдачи и температурного напора в канале. Логарифмический температурный напор. Частный случай не-стационарного конвективного теплообмена твердого тела с текучей средой. /Лек/	6	8	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В	Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2	
1.15	Моделирование процесса стабилизации теплового режима газоразрядного лазера с учетом теплообмена излучением и конвекцией /Пр/	6	4	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В	Л1.2 Л1.3Л3.2	
1.16	Интенсификация теплообмена компонентов РЭА /Тема/	6	0			
1.17	Развитие поверхности теплообмена путем оребрения. Передача теплового потока через прямоугольные и круглые ребра. Оптимизация оребрения. Конфигурирование теплоотводов на поверхности и в объеме печатной платы для интенсификации теплоотдачи элементов печатного монтажа. /Лек/	6	4	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В	Л1.2 Л1.3	
1.18	Моделирование распределения температуры в основании и ребрах воздушного радиатора в режиме естественной конвекции /Пр/	6	4	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В	Л1.2 Л1.3	
1.19	Теплообменные аппараты /Тема/	6	0			
1.20	Классификация теплообменных аппаратов: контактные и поверхностные, регенеративные и рекуперативные теплообменники. Виды рекуперативных теплообменников: кожухотрубные и пластинчатые теплообменники, их достоинства и недостатки. Основные соотношения, описывающие теплообмен в рекуперативном теплообменнике в режиме противотока. /Лек/	6	4	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В	Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2	
1.21	Охлаждение мощной радиоэлектронной аппаратуры. Двухконтурные жидкостные системы охлаждения /Пр/	6	2	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В	Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.4	

1.22	Общие принципы расчета температур полупроводниковых компонентов РЭА в корпусе /Тема/	6	0			
1.23	Тепловое сопротивление «кристалл (переход) - корпус», «кристалл (переход) – окружающая среда». Особенности применения этих характеристик в задачах расчета тепловых режимов полупроводниковых компонентов РЭА. /Лек/	6	2	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В	Л1.2 Л1.3	
1.24	Расчет температуры кристалла полупроводникового устройства /Пр/	6	2	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В	Л1.2 Л1.3	
<b>Раздел 2. Внеаудиторная работа и контроль знаний</b>						
2.1	Консультирование, индивидуальные занятия со студентами, самостоятельная и письменная работа студентов, экзамен /Тема/	6	0			
2.2	Консультирование /ИКР/	6	0,65	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В		
2.3	Индивидуальные занятия /Кнс/	6	2	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В		
2.4	Экзамен /Экзамен/	6	35,35	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В		
2.5	Самостоятельная работа обучающихся /Ср/	6	26,3	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В		
2.6	Расчет систем двухконтурного жидкостного охлаждения устройств электронной техники /КПКР/	6	15,7	ПК-1-3 ПК-1-У ПК-1-В ПК-2-3 ПК-2-У ПК-2-В ПК-6-3 ПК-6-У ПК-6-В	Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.4	

### 5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

«Оценочные материалы приведены в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ «Оценочные материалы по дисциплине «Тепловые процессы в электронике»)

<b>6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)</b>				
<b>6.1. Рекомендуемая литература</b>				
<b>6.1.1. Основная литература</b>				
№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л1.1	Улитенко А. И., Гуров В. С., Пушкин В. А.	Принципы построения индивидуальных систем охлаждения электронных приборов и устройств	Москва: Горячая линия -Телеком, 2015, 286 с.	978-5-9912-0232-9, <a href="https://e.lanbook.com/book/111112">https://e.lanbook.com/book/111112</a>
Л1.2	Дьяконов, В. Г., Лончаков, О. А.	Основы теплопередачи : учебное пособие	Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2011, 230 с.	978-5-7882-1114-5, <a href="https://www.iprbookshop.ru/62530.html">https://www.iprbookshop.ru/62530.html</a>
Л1.3	Амирханов, Д. Г.	Теплопередача : учебное пособие	Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2008, 119 с.	978-5-7882-0611-0, <a href="https://www.iprbookshop.ru/63482.html">https://www.iprbookshop.ru/63482.html</a>
<b>6.1.2. Дополнительная литература</b>				
№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л2.1	Фефелов А.А.	Улучшение массогабаритных показателей электровакуумных и газоразрядных приборов большой и средней мощности : автореферат	Рязань, 2008, 16с.	, 1
Л2.2	Фефелов А.А.	Улучшение массогабаритных показателей электровакуумных и газоразрядных приборов большой и средней мощности : диссертация	Рязань, 2008, 215с.	, 1
<b>6.1.3. Методические разработки</b>				
№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л3.1	Фефелов А.А., Фефелова К.Б., Пушкин В.А., Рожков О.В.	Изучение методов измерения плотности тепловых потоков и сопротивления теплопередаче материалов : Методические указания	Рязань: РИЦ РГРТУ, 2016,	, <a href="https://elib.rsr.eu.ru/ebs/download/993">https://elib.rsr.eu.ru/ebs/download/993</a>
Л3.2	Фефелов А.А., Брыков А.В.	Тепловое излучение. Элементы теории и примеры решения типовых задач : Методические указания	Рязань: РИЦ РГРТУ, 2011,	, <a href="https://elib.rsr.eu.ru/ebs/download/996">https://elib.rsr.eu.ru/ebs/download/996</a>
Л3.3	Рожков О.В., Пушкин В.А., Фефелов А.А.	Термография и тепловизионное обследование : метод. указ. к лаб. работе	Рязань, 2016, 24с.	, 1

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л3.4	Улитенко А.И., Фефелов А.А.	Расчет систем двухконтурного жидкостного охлаждения устройств электронной техники : метод. указ. к курс. проект.	Рязань, 2018, 24с.; прил.	, 1

### 6.3 Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

#### 6.3.1 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства

Наименование	Описание
Операционная система Windows	Коммерческая лицензия
MS Office 2003	Комерческая лицензия
LibreOffice	Свободное ПО
MathCAD	Коммерческая лицензия

#### 6.3.2 Перечень информационных справочных систем

6.3.2.1	Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ <a href="http://www.garant.ru">http://www.garant.ru</a>
6.3.2.2	Система КонсультантПлюс <a href="http://www.consultant.ru">http://www.consultant.ru</a>

### 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1	223 лабораторный корпус. учебная аудитория для проведения учебных занятий, компьютерный класс Специализированная мебель (20 посадочных места), магнитно-маркерная доска. 8 ПК. Возможность подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду РГРТУ
2	404 учебно-административный корпус. Учебная аудитория для проведения учебных занятий лекционного и семинарского типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации Специализированная мебель (120 мест), мультимедийное оборудование, экран, компьютер, доска.

### 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

«Методическое обеспечение дисциплины приведено в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ «Методические указания дисциплины «Тепловые процессы в электронике»)

Оператор ЭДО ООО "Компания "Тензор"

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

ПОДПИСАНО ЗАВЕДУЮЩИМ КАФЕДРЫ	<b>ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ</b> , Круглов Сергей Александрович, Заведующий кафедрой ПЭЛ	<b>28.09.23</b> 14:40 (MSK)	Простая подпись
ПОДПИСАНО ЗАВЕДУЮЩИМ ВЫПУСКАЮЩЕЙ КАФЕДРЫ	<b>ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ</b> , Круглов Сергей Александрович, Заведующий кафедрой ПЭЛ	<b>28.09.23</b> 14:40 (MSK)	Простая подпись
ПОДПИСАНО ПРОРЕКТОРОМ ПО УР	<b>ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ</b> , Круглов Сергей Александрович, Заведующий кафедрой ПЭЛ	<b>28.09.23</b> 14:40 (MSK)	Простая подпись
	<b>ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ</b> , Корячко Алексей Вячеславович, Проректор по учебной работе	<b>28.09.23</b> 15:25 (MSK)	Простая подпись