**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«Рязанский государственный радиотехнический университет»**

КАФЕДРА СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

«СОГЛАСОВАНО»

Декан ФВТ
_____ А.Н. Пылькин

«___»_____2018 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе
_____ К.В. Бухенский

«___»_____2018 г.

Руководитель ОПОП
_____ В.П. Корячко

«___»_____2018 г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

## Б1.3.В.01 «Тепломассообмен в ЭС»

Направление подготовки

11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

ОПОП 1 академического бакалавриата

«Конструирование и технология радиоэлектронных средств»

Квалификация (степень) выпускника — бакалавр

Форма обучения — очная

Рязань, 2018 г.

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы бакалавриата**

Рабочая программа дисциплины «Тепломассообмен в ЭС» является составной частью основных профессиональных образовательной программы (ОПОП) «Конструирование и технология радиоэлектронных средств» разработанных в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств (уровень бакалавриата), утвержденным приказом Минобрнауки России от 12.11.2015 г. № 1333.

*Целью освоения дисциплины* «Тепломассообмен в ЭС» является изучение методов расчета температурных режимов электронно-вычислительной аппаратура и их применение в профессиональной деятельности.

*Задачи дисциплины:*

1) Получение теоретических знаний о расчете температурных режимов электронно-вычислительной аппаратуры для решения теоретических и прикладных задач.

2) Приобретение умения использовать методы расчетов тепловых режимов конструкций электронно-вычислительной аппаратуры.

3) Приобретение практических навыков в области расчетов тепловых режимов конструкций электронно-вычислительной аппаратуры для решения теоретических и прикладных задач и внедрения результатов в производство.

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине**

| **Коды Компетенций** | **Содержание компетенций** | **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине** |
|---|---|---|
| ОПК-1 | Способность *представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики.* | Знать: *адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе основных положений, законов и методов естественных наук и математики* для решения задач теплообмена в ЭС.<br>Уметь: оценивать погрешность измерений при проведении экспериментов *на основе представления адекватной современному уровню знаний научную картины мира и знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики* для решения задач теплообмена в ЭС.<br>Владеть: *основными положениями, законами и методами естественных наук и математики* и *представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания* теории тепломассобмена в ЭС. |
| ОПК-5 | Способность *использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных.* | Знать: технологии *использования основных приемов обработки и представления экспериментальных данных* о перегревах в конструкциях ЭС.<br>Уметь: *использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных* для применения в расчетах величины температурного излучения, кондукции и конвективного теплообмена в ЭС. |

| | | |
|---|---|---|
| | | Владеть: методиками *использования основных приемов обработки и представления экспериментальных данных,* характеризующих условия однозначности для дифференциальных уравнений, описывающих тепловые режимы ЭС. |
| ПК-5 | Готовность *осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования деталей, узлов и модулей электронных средств* | Знать: методы *осуществления сбора и анализа исходных данных для расчета и проектирования деталей, узлов и модулей электронных средств* с совместным действием теплопроводности, температурного излучения и конвекции.<br>Уметь: использовать основные приемы *сбора и анализа исходных данных для расчета и проектирования деталей, узлов и модулей электронных средств* при температурном расчете конструкций.<br>Владеть: методиками *использования основных приемов сбора и анализа исходных данных для расчета и проектирования деталей, узлов и модулей электронных средств* в стационарном и нестационарном температурных режимах. |

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина «Тепломассообмен в ЭС» является обязательной, относится к вариативной части блока №1 дисциплин ОПОП академического бакалавриата «Конструирование и технология радиоэлектронных средств» по направлению подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств ФГБОУ ВО «РГРТУ».

Дисциплина изучается по очной форме обучения на 3 курсе в 5 семестре.

*Пререквизиты дисциплины*. Для освоения дисциплины обучающийся должен иметь компетенции, полученные в результате освоения дисциплин «Физика» и «Математика». Для освоения дисциплины обучающийся должен:

*знать:*

- основы метода математической физики;
- методы составления и решения дифференциальных уравнений с полными производными;

*уметь:*

- осуществлять сбор и анализ методов тепловых расчетов конструкций из различных источников с использованием современных информационных технологий;
- разрабатывать программы для расчетов тепловых режимов электронной аппаратуры;

*владеть:*

- навыками алгоритмизации и программной реализации расчета типовых задач сложного теплообмена в ЭА;
- стандартными средствами САПР для расчета тепловых режимов ЭА.

*Взаимосвязь с другими дисциплинами.* Курс «Тепломассообмен в ЭС» содержательно и методологически взаимосвязан с другими курсами, такими как: "Конструкторская и технологическая подготовка производства РЭС"

Программа курса ориентирована на возможность расширения и углубления знаний, умений и навыков бакалавра для успешной профессиональной деятельности.

*Постреквизиты дисциплины.* Компетенции, полученные в результате освоения дисциплины необходимы обучающемуся при изучении следующих дисциплин: «Преддипломная практика», «Выпускная квалификационная работа».

## 3. Объем дисциплины и виды учебной работы

*Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 4 зачетные единицы (ЗЕ), 144 часа.*

| **Вид учебной работы** | **Всего часов** | | |
|---|---|---|---|
| | **Очная форма** | **Очно-заочная форма** | **Заочная форма** |
| Общая трудоемкость дисциплины, в том числе: | 144 | - | - |
| Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего), в том числе: | 48 | - | - |
| Лекции | 24 | - | - |
| Лабораторные работы | 16 | - | - |
| Практические занятия | 8 | - | - |
| Самостоятельная работа обучающихся (всего), в том числе: | 96 | - | - |
| Курсовая работа / курсовой проект | - | - | - |
| Подготовка к экзамену, консультации | 40 | - | - |
| Консультации в семестре | 6 | - | - |
| Иные виды самостоятельной работы | 50 | - | - |
| Вид промежуточной аттестации обучающихся: | экзамен | - | - |

## 4. Содержание дисциплины

### 4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам)

**Тема 1. Процессы тепло- и массообмена в природе.**

Теплопроводность, конвекция, излучение, диффузия, конвективный массообмен. Перенос тепловой энергии кондукцией. Основные понятия и определения. Определение температурного поля. Изотермическая поверхность. Градиент температуры, линии теплового потока. Закон Фурье для теплопроводности. Перенос теплоты конвекцией. Закон Ньютона-Рихмана. Ламинарный и турбулентный режимы. Характер теплообмена при наличии вынужденной и естественной конвекции. Перенос энергии излучением. Коэффициент черноты.

**Тема 2. Тепловое сопротивление и тепловой коэффициент.**

Тепловое сопротивление плоской, цилиндрической и сферической стенок. Составные стенки. Применение законов Кирхгофа (плоская, цилиндрическая, шаровая). Последовательное соединение стенок. Параллельное соединение стенок. Сложное соединение стенок. Сложный теплообмен.

**Тема 3. Кондукция.**

Уравнение теплопроводности. Краевые условия. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Изохорный и изобарный процессы. Дифференциальное уравнение энергии. Уравнения Фурье, Лапласа, Пуассона. Температуропроводность. Условия однозначности. Стационарное поле температур оболочек простейшей формы. Плоская стенка. Цилиндрическая стенка. Шаровая стенка.

**Тема 4. Системы охлаждения ЭА. Теплообменные устройства.**

Теплообменники прямоточные, противоточные, перекрестного тока. Конструкторские и поверочные расчеты. Рекуперативные теплообменники. Уравнение теплового баланса. Уравнение теплопередачи. Водяные эквиваленты. Средняя разность температур и методы ее вычисления. Усреднение температурного напора. Среднелогарифмический температурный напор. Выбор компактного теплообменника для ЭА.

**Тема 5. Термодинамические основы охлаждения.**

Компрессионные холодильные машины (КХМ). Газовая криогенная машина. Адиабатное расширение сжатых газов. Дроссельные микроохладители. Конструкция дроссельного микроохладителя. Термоэлектрическое охлаждение. Эффекты Пельтье, Зеебека, Томсона. Недостатки и достоинства термоэлектрического охлаждения. Вихревые трубы. Схема вихревой трубы. Тепловые трубы. Сравнительные Характеристики холодильных машин.

**Тема 6. Классификация способов охлаждения.**

Естественное воздушное охлаждение. Принудительное воздушное охлаждение. Естественное жидкостное охлаждение. Принудительное жидкостное охлаждение. Ламинарный, переходной и турбулентный режимы. Пленочное кипение. Пузырьковый режим. Принудительное испарительное охлаждение. Контейнеры высотных самолетов и космических аппаратов. Использование компаундов. Конструктивные особенности ЭА с воздушным охлаждением. Стойки, шкафы, контейнеры. Контейнер для космической ЭА. Шкафы с распределительным коллектором воздуха. Блок с субблоками на вертикальном шасси. Блок с откидными кассетами. Блок книжной конструкции. Блок с объемными субблоками. Оребрение поверхностей охлаждения.

**Тема 7. Температурное поле стержней.**

Вывод уравнения Фурье для стержня. Учет теплоотдачи с поверхности торца стержня. Условия однозначности. Интегрирование дифференциального уравнения для стержня. Эффективный коэффициент теплоотдачи радиатора. Пластинчатые, ребристые, игольчато-штыревые радиаторы. Проводимость оребренной и неоребренной части радиатора.

**4.2. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах).**

| № п/п | Тема | Общая трудоемкость Всего часов | Контактная работа обучающихся с преподавателем | | | | Самостоятельная работа обучающихся |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Всего | Лекции | Практ | Лабор | |
| 1 | Процессы тепло- и массообмена в природе | 12 | 6 | 2 | - | 4 | 6 |
| 2 | Тепловое сопротивление и тепловой коэффициент. | 18 | 10 | 4 | 2 | 4 | 8 |
| 3 | Кондукция. | 22 | 14 | 4 | 2 | 8 | 8 |
| 4 | Системы охлаждения ЭА. Теплообменные устройства | 14 | 6 | 4 | 2 | - | 8 |
| 5 | Термодинамические основы охлаждения | 12 | 4 | 4 | - | - | 8 |
| 6 | Классификация способов охлаждения | 10 | 2 | 2 | - | - | 8 |
| 7 | Температурное поле стержней | 10 | 6 | 4 | 2 | - | 4 |
| 8 | Консультации в семестре | 6 | - | - | - | - | 6 |
| 9 | Самостоятельные занятия | | - | - | - | - | 50 |
| 10 | Консультации и экзамен | 40 | - | - | - | - | 40 |
| | Всего: | **144** | **48** | **24** | **8** | **16** | **96** |

**4.3. Виды практических, лабораторных и самостоятельных работ**

**Виды лабораторных работ**

| № п/п | Тема | Наименование и содержание работы | Трудоемкость, часов |
|---|---|---|---|
| 1 | Расчет среднеповерхностной температуры герметичного корпуса | Теоретическое изучение теплового режима ЭВА с нагретой зоной, состоящей из крупных элементов, с системами естественного и принудительного охлаждения | 2 |
| 2 | Расчет среднеповерхностной температуры нагретой зоны ЭВА в герметичном корпусе | Теоретическое изучение теплового режима ЭВА с нагретой зоной, состоящей из крупных элементов, с системами естественного охлаждения | 2 |
| 3 | Исследование теплового режима ЭВА с воздушным охлаждением | Теоретическое изучение теплового режима ЭВА с нагретой зоной, состоящей из крупных элементов, с системами принудительного охлаждения | 2 |
| 4 | Основной закон теплопроводности | Теплопроводность плоской стенки | 2 |
| 5 | Основной закон теплопроводности | Теплопроводность цилиндрической стенки | 2 |

| № п/п | Тема | Наименование и содержание работы | Трудо-емкость, часов |
|---|---|---|---|
| 6 | Основной закон теплопроводности | Теплопроводность шаровой стенки и тел неправильной формы | 2 |
| 7 | Основной закон теплопроводности | Теплопроводность тел с внутренними источниками теплоты | 2 |
| 8 | Процессы конвекции и излучения. Метод тепловых схем | Расчет теплового режима РЭС с воздушными зазорами между кассетами (группа б) | 2 |

**Виды практических работ**

| № п/п | Тема | Наименование и содержание работы | Трудо-емкость, часов |
|---|---|---|---|
| 1 | Рекуперативные теплообменники | Основные положения теплового расчета. Среднетемпературный напор. Количество передаваемой теплоты | 2 |
| 2 | Сложный теплообмен | Определение температуры нагретой зоны одиночного блока | 2 |
| 3 | Сложный теплообмен | Температура перфорированного блока | 2 |
| 4 | Сложный теплообмен | Температура элементов блока с принудительным охлаждением | 2 |

**Виды самостоятельных работ**

| № п/п | Тема | Наименование и содержание работы | Трудоемкость, часов |
|---|---|---|---|
| 1 | Процессы тепло- и мас-сообмена в природе | Сложный тепломассообмен. Кондукция, излучение, конвекция. Вывод уравнений энергии, движения и сплошности | 6 |
| 2 | Тепловое сопротивление и тепловой коэффици-ент | Метод тепловых схем. Температурное сопротивление сложных узлов. Температурные проводимости | 8 |
| 3 | Кондукция | Дифференциальное уравнение теплопроводности. Уравнения Фурье, Пуассона, и Лапласа | 8 |
| 4 | Системы охлаждения ЭА. Теплообменные устройства | Расчет рекуперативных теплообменников прямоточной и противоточной конструкций. Уравнения теплопередачи и теплового баланса. Конструктивный и поверочный расчеты | 8 |
| 5 | Термодинамические ос-новы охлаждения | Термоэлектрические охлаждающие устройства. Дроссельные микроохладители. Компрессионные холодильные машины. Вихревых трубы. Тепловые трубы | 8 |
| 6 | Классификация спосо-бов охлаждения | Конструкции блоков в авиации и космонавтике. Откидные и книжные конструкции | 8 |
| 7 | Температурное поле стержней | Распространение теплоты в стержне. Вывод уравнений. Расчет радиаторов | 4 |

**5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах: Учебник. –2-е изд. , испр. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. 292 с. Электронно-библиотечная система «Лань».

**6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Фонд оценочных средств приведен в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ «Оценочные материалы по дисциплине «Методы тепловой защиты конструкций ЭС»).

**7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

**Основная учебная литература:**

1) Дьяконов В.Г. Основы теплопередачи и массообмена [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Г. Дьяконов, О.А. Лонщаков. – Электрон. текстовые данные. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2015. – 244 c. – 978-5-7882-1813-7. Электронно-Библиотечная Система "IPRbooks" – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/63714.html

2) Белкин П.Н., Шадрин С.Ю. Теплофизика [Электронный ресурс] : сборник задач / П.Н. Белкин. – Электрон. текстовые данные. – Саратов: Вузовское образование, 2013. – 51 c. –2227-8397. Электронно-Библиотечная Система "IPRbooks"– Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/18392.html

3) Кудинов И.В., Кудинов В.А., Еремин А.В., Колесников С.В. Математическое моделирование гидродинамики и теплообмена в движущихся жидкостях. Издательство "Лань". Электронно-библиотечная система «Лань». 2015. 208 с.
Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/56168?category_pk=2577#book_name

4) Дерюгин В.В. Тепломассообмен [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.В. Дерюгин, В.Ф. Васильев, В.М. Уляшева. – Электрон. текстовые данные. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. – 244 c. – 978-5-9227-0690-2. – Электронно-Библиотечная Система "IPRbooks"
Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/74378.html.

**Дополнительная учебная литература:**

1) Губарев В.Я., Арзамасцев А.Г. Тепломассобмен [Электронный ресурс] : методические указания к практическим занятиям / . – Электрон. текстовые данные. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2014. – 18 c. – 2227-8397. Электронно-Библиотечная Система "IPRbooks" – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/55162.html

2) Логинов В.С., Крайнов А.В., Юхнов В.Е., Феоктистов Д.В. Примеры и задачи по тепломассообмену. Издательство "Лань". Электронно-библиотечная система «Лань». 2017. 256 с.
Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/93718?category_pk=2577#book_name

4) Нестерук Д.А. Тепловой контроль и диагностика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д.А. Нестерук, В.П. Вавилов. – Электрон. текстовые данные. – Томск: Томский политехнический университет, 2010. – 112 c. – 978-5-98298-688-7. – Электронно-Библиотечная Система "IPRbooks". Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/34724.html

## 8. Перечень ресурсов информационно–телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

**Электронные образовательные ресурсы:**

1) Круглов Г.А., Булгакова Р.И., Круглова Е.С., Андреева М.В. Теплотехника. Практический курс. Издательство "Лань". Электронно-библиотечная система «Лань». 2017. 192 с.
Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/96253?category_pk=2577#book_name

2) Овчинников Ю.В. Основы технической термодинамики [Электронный ресурс] : учебник / Ю.В. Овчинников. – Электрон. текстовые данные. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2010. – 293 c. – 978-5-7782-1303-6. – Электронно-Библиотечная Система "IPRbooks"
Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/47708.html/

**Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы:**

1) Кириллов П.Л. Имена и числа подобия [Электронный ресурс] : очерки об ученых / П.Л. Кириллов. – Электрон. текстовые данные. – Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2010. – 336 c. – 978-5-93972-815-7. – Электронно-Библиотечная Система "IPRbooks"
Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/16528.html.

2) Андреев В.В. Теплотехника [Электронный ресурс] : учебник / В.В. Андреев, В.А. Лебедев, Б.И. Спесивцев. – Электрон. текстовые данные. – СПб. : Санкт-Петербургский горный университет, 2016. – 288 c. – 978-5-94211-754-2. Электронно-Библиотечная Система "IPRbooks" – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/7

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для освоения дисциплины требуется предварительная подготовка в области физики и математики.

Методические указания при проведении практических работ описаны в методических указаниях к лабораторным работам. Обязательное условие успешного усвоения курса – большой объём самостоятельно проделанной работы.

Рекомендуется следующим образом организовать время, необходимое для изучения дисциплины:

Изучение конспекта лекции в тот же день, после лекции – 10-15 минут.

Изучение теоретического материала по учебнику и конспекту – 1 час в неделю в ходе подготовки к практическому занятию.

Перед выполнением практического занятия необходимо внимательно ознакомиться с заданием. Желательно заранее выполнить подготовку проекта в инструментальной среде, чтобы на практическом занятии осталось время для сдачи работы.

Перед сдачей работы рекомендуется ознакомиться со списком вопросов изучаемой темы и попытаться самостоятельно на них ответить, используя конспект лекций и рекомендуемую литературу. Таким образом, вы сможете сэкономить свое время и время преподавателя.

Кроме чтения учебной литературы из обязательного списка рекомендуется активно использовать информационные ресурсы сети Интернет по изучаемой теме. Ответы на многие вопросы, связанные с расчетом температурных режимов конструкций ЭА вы можете получить в сети Интернет, посещая соответствующие информационные ресурсы.

Самостоятельное изучение тем учебной дисциплины способствует:

- закреплению знаний, умений и навыков, полученных в ходе аудиторных занятий;
- углублению и расширению знаний по отдельным вопросам и темам дисциплины;
- освоению умений прикладного и практического использования полученных знаний в области расчета температурных режимов конструкций электронной аппаратуры;

Самостоятельная работа как вид учебной работы может использоваться на лекциях и практических занятиях, а также иметь самостоятельное значение – внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся – при подготовке к лекциям, практическим занятиям, а также к экзамену.

Основными видами самостоятельной работы по дисциплине являются:

- самостоятельное изучение отдельных вопросов и тем дисциплины «Тепломассообмен в ЭС»;
- выполнение домашнего задания: подготовка очередного практического занятия;
- подготовка к защите практического задания, оформление отчета.

## 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Для подготовки и выполнения лабораторных работ и проведения самостоятельных занятий обучающимися используется любой браузер (просмотрщик), входящий в операционную систему Windows XP.

**Перечень лицензионного программного обеспечения:**

1) Операционная система Windows XP (лицензия Microsoft DreamSpark Membership ID 700102019);
2) Программное обеспечение локальной сети кафедры САПР ВС Ethernet.

## 11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для освоения дисциплины необходимы:

1) для проведения лекционных занятий необходима аудитория с достаточным количеством посадочных мест, соответствующая необходимым противопожарным нормам и санитарно-гигиеническим требованиям;
2) для проведения практических занятий необходим класс персональных компьютеров с инсталлированными операционными системами Microsoft Windows XP;
3) для проведения лекций и практических занятий аудитория должна быть оснащена проекционным оборудованием**.**

Программу составили
д.т.н., проф. кафедры САПР ВС Шибанов А.П.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании
кафедры САПР ВС (протокол № 8 от 20.06.2018 г.)

Зав. кафедрой САПР ВС
д.т.н., проф. Корячко В.П.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«Рязанский государственный радиотехнический университет»**

КАФЕДРА СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

«СОГЛАСОВАНО»

Декан ФВТ
_____ А.Н. Пылькин

«___»_____2018 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе
_____ К.В. Бухенский

«___»_____2018 г.

Руководитель ОПОП
_____ В.П. Корячко

«___»_____2018 г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

## Б1.3.В.01 «Тепломассообмен в ЭС»

Направление подготовки

11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

ОПОП 1 академического бакалавриата

«Конструирование и технология электронно-вычислительных средств»

Квалификация (степень) выпускника — бакалавр

Форма обучения — очная

Рязань, 2018 г.

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы бакалавриата

Рабочая программа дисциплины «Тепломассообмен в ЭС» является составной частью основных профессиональных образовательной программы (ОПОП) «Конструирование и технология электронно-вычислительных средств» разработанных в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств (уровень бакалавриата), утвержденным приказом Минобрнауки России от 12.11.2015 г. № 1333.

*Целью освоения дисциплины* «Тепломассообмен в ЭС» является изучение методов расчета температурных режимов электронно-вычислительной аппаратура и их применение в профессиональной деятельности.

*Задачи дисциплины:*

5) Получение теоретических знаний о расчете температурных режимов электронно-вычислительной аппаратуры для решения теоретических и прикладных задач.

6) Приобретение умения использовать методы расчетов тепловых режимов конструкций электронно-вычислительной аппаратуры.

7) Приобретение практических навыков в области расчетов тепловых режимов конструкций электронно-вычислительной аппаратуры для решения теоретических и прикладных задач и внедрения результатов в производство.

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине**

| **Коды Компетенций** | **Содержание компетенций** | **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине** |
|---|---|---|
| ОПК-1 | Способность *представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики.* | Знать: *адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе основных положений, законов и методов естественных наук и математики* для решения задач теплообмена в ЭС.<br>Уметь: оценивать погрешность измерений при проведении экспериментов *на основе представления адекватной современному уровню знаний научную картины мира и знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики* для решения задач теплообмена в ЭС.<br>Владеть: *основными положениями, законами и методами естественных наук и математики* и *представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания* теории тепломассобмена в ЭС. |
| ОПК-5 | Способность *использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных.* | Знать: технологии *использования основных приемов обработки и представления экспериментальных данных* о перегревах в конструкциях ЭС.<br>Уметь: *использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных* для применения в расчетах величины температурного излучения, кондукции и конвективного теплообмена в ЭС. |

| | | |
|---|---|---|
| | | Владеть: методиками *использования основных приемов обработки и представления экспериментальных данных,* характеризующих условия однозначности для дифференциальных уравнений, описывающих тепловые режимы ЭС. |
| ПК-5 | Готовность *осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования деталей, узлов и модулей электронных средств* | Знать: методы *осуществления сбора и анализа исходных данных для расчета и проектирования деталей, узлов и модулей электронных средств* с совместным действием теплопроводности, температурного излучения и конвекции.<br>Уметь: использовать основные приемы *сбора и анализа исходных данных для расчета и проектирования деталей, узлов и модулей электронных средств* при температурном расчете конструкций.<br>Владеть: методиками *использования основных приемов сбора и анализа исходных данных для расчета и проектирования деталей, узлов и модулей электронных средств* в стационарном и нестационарном температурных режимах. |

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина «Тепломассообмен в ЭС» является обязательной, относится к вариативной части блока №1 дисциплин ОПОП академического бакалавриата «Конструирование и технология электронно-вычислительных средств» по направлению подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств ФГБОУ ВО «РГРТУ».

Дисциплина изучается по очной форме обучения на 3 курсе в 5 семестре.

*Пререквизиты дисциплины*. Для освоения дисциплины обучающийся должен иметь компетенции, полученные в результате освоения дисциплин «Физика» и «Математика». Для освоения дисциплины обучающийся должен:

*знать:*

- основы метода математической физики;
- методы составления и решения дифференциальных уравнений с полными производными;

*уметь:*

- осуществлять сбор и анализ методов тепловых расчетов конструкций из различных источников с использованием современных информационных технологий;
- разрабатывать программы для расчетов тепловых режимов электронной аппаратуры;

*владеть:*

- навыками алгоритмизации и программной реализации расчета типовых задач сложного теплообмена в ЭА;
- стандартными средствами САПР для расчета тепловых режимов ЭА.

*Взаимосвязь с другими дисциплинами.* Курс «Тепломассообмен в ЭС» содержательно и методологически взаимосвязан с другими курсами, такими как: «Моделирование электронно-вычислительных средств», «САПР электронных средств».

Программа курса ориентирована на возможность расширения и углубления знаний, умений и навыков бакалавра для успешной профессиональной деятельности.

*Постреквизиты дисциплины.* Компетенции, полученные в результате освоения дисциплины необходимы обучающемуся при изучении следующих дисциплин: «Преддипломная практика», «Выпускная квалификационная работа».

### 3. Объем дисциплины и виды учебной работы

*Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 4 зачетные единицы (ЗЕ), 144 часа.*

| **Вид учебной работы** | **Всего часов** | | |
|---|---|---|---|
| | **Очная форма** | **Очно-заочная форма** | **Заочная форма** |
| Общая трудоемкость дисциплины, в том числе: | 144 | - | - |
| Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего), в том числе: | 48 | - | - |
| Лекции | 24 | - | - |
| Лабораторные работы | 16 | - | - |
| Практические занятия | 8 | - | - |
| Самостоятельная работа обучающихся (всего), в том числе: | 96 | - | - |
| Курсовая работа / курсовой проект | - | - | - |
| Подготовка к экзамену, консультации | 40 | - | - |
| Консультации в семестре | 6 | - | - |
| Иные виды самостоятельной работы | 50 | - | - |
| Вид промежуточной аттестации обучающихся: | экзамен | - | - |

## 4. Содержание дисциплины

### 4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам)

**Тема 1. Процессы тепло- и массообмена в природе.**

Теплопроводность, конвекция, излучение, диффузия, конвективный массообмен. Перенос тепловой энергии кондукцией. Основные понятия и определения. Определение температурного поля. Изотермическая поверхность. Градиент температуры, линии теплового потока. Закон Фурье для теплопроводности. Перенос теплоты конвекцией. Закон Ньютона-Рихмана. Ламинарный и турбулентный режимы. Характер теплообмена при наличии вынужденной и естественной конвекции. Перенос энергии излучением. Коэффициент черноты.

**Тема 2. Тепловое сопротивление и тепловой коэффициент.**

Тепловое сопротивление плоской, цилиндрической и сферической стенок. Составные стенки. Применение законов Кирхгофа (плоская, цилиндрическая, шаровая). Последовательное соединение стенок. Параллельное соединение стенок. Сложное соединение стенок. Сложный теплообмен.

**Тема 3. Кондукция.**

Уравнение теплопроводности. Краевые условия. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Изохорный и изобарный процессы. Дифференциальное уравнение энергии. Уравнения Фурье, Лапласа, Пуассона. Температуропроводность. Условия однозначности. Стационарное поле температур оболочек простейшей формы. Плоская стенка. Цилиндрическая стенка. Шаровая стенка.

**Тема 4. Системы охлаждения ЭА. Теплообменные устройства.**

Теплообменники прямоточные, противоточные, перекрестного тока. Конструкторские и поверочные расчеты. Рекуперативные теплообменники. Уравнение теплового баланса. Уравнение теплопередачи. Водяные эквиваленты. Средняя разность температур и методы ее вычисления. Усреднение температурного напора. Среднелогарифмический температурный напор. Выбор компактного теплообменника для ЭА.

**Тема 5. Термодинамические основы охлаждения.**

Компрессионные холодильные машины (КХМ). Газовая криогенная машина. Адиабатное расширение сжатых газов. Дроссельные микроохладители. Конструкция дроссельного микроохладителя. Термоэлектрическое охлаждение. Эффекты Пельтье, Зеебека, Томсона. Недостатки и достоинства термоэлектрического охлаждения. Вихревые трубы. Схема вихревой трубы. Тепловые трубы. Сравнительные Характеристики холодильных машин.

**Тема 6. Классификация способов охлаждения.**

Естественное воздушное охлаждение. Принудительное воздушное охлаждение. Естественное жидкостное охлаждение. Принудительное жидкостное охлаждение. Ламинарный, переходной и турбулентный режимы. Пленочное кипение. Пузырьковый режим. Принудительное испарительное охлаждение. Контейнеры высотных самолетов и космических аппаратов. Использование компаундов. Конструктивные особенности ЭА с воздушным охлаждением. Стойки, шкафы, контейнеры. Контейнер для космической ЭА. Шкафы с распределительным коллектором воздуха. Блок с субблоками на вертикальном шасси. Блок с откидными кассетами. Блок книжной конструкции. Блок с объемными субблоками. Оребрение поверхностей охлаждения.

**Тема 7. Температурное поле стержней.**

Вывод уравнения Фурье для стержня. Учет теплоотдачи с поверхности торца стержня. Условия однозначности. Интегрирование дифференциального уравнения для стержня. Эффективный коэффициент теплоотдачи радиатора. Пластинчатые, ребристые, игольчато-штыревые радиаторы. Проводимость оребренной и неоребренной части радиатора.

**4.2. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах).**

| № п/п | Тема | Общая трудоемкость Всего часов | Контактная работа обучающихся с преподавателем | | | | Самостоятельная работа обучающихся |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Всего | Лекции | Практ | Лабор | |
| 1 | Процессы тепло- и массообмена в природе | 12 | 6 | 2 | - | 4 | 6 |
| 2 | Тепловое сопротивление и тепловой коэффициент. | 18 | 10 | 4 | 2 | 4 | 8 |
| 3 | Кондукция. | 22 | 14 | 4 | 2 | 8 | 8 |
| 4 | Системы охлаждения ЭА. Теплообменные устройства | 14 | 6 | 4 | 2 | - | 8 |
| 5 | Термодинамические основы охлаждения | 12 | 4 | 4 | - | - | 8 |
| 6 | Классификация способов охлаждения | 10 | 2 | 2 | - | - | 8 |
| 7 | Температурное поле стержней | 10 | 6 | 4 | 2 | - | 4 |
| 8 | Консультации в семестре | 6 | - | - | - | - | 6 |
| 9 | Самостоятельные занятия | | - | - | - | - | 50 |
| 10 | Консультации и экзамен | 40 | - | - | - | - | 40 |
| | Всего: | **144** | **48** | **24** | **8** | **16** | **96** |

**4.3. Виды практических, лабораторных и самостоятельных работ**

**Виды лабораторных работ**

| № п/п | Тема | Наименование и содержание работы | Трудоемкость, часов |
|---|---|---|---|
| 1 | Расчет среднеповерхностной температуры герметичного корпуса | Теоретическое изучение теплового режима ЭВА с нагретой зоной, состоящей из крупных элементов, с системами естественного и принудительного охлаждения | 2 |
| 2 | Расчет среднеповерхностной температуры нагретой зоны ЭВА в герметичном корпусе | Теоретическое изучение теплового режима ЭВА с нагретой зоной, состоящей из крупных элементов, с системами естественного охлаждения | 2 |
| 3 | Исследование теплового режима ЭВА с воздушным охлаждением | Теоретическое изучение теплового режима ЭВА с нагретой зоной, состоящей из крупных элементов, с системами принудительного охлаждения | 2 |
| 4 | Основной закон теплопроводности | Теплопроводность плоской стенки | 2 |
| 5 | Основной закон теплопроводности | Теплопроводность цилиндрической стенки | 2 |

| № п/п | Тема | Наименование и содержание работы | Трудо-емкость, часов |
|---|---|---|---|
| 6 | Основной закон теплопроводности | Теплопроводность шаровой стенки и тел неправильной формы | 2 |
| 7 | Основной закон теплопроводности | Теплопроводность тел с внутренними источниками теплоты | 2 |
| 8 | Процессы конвекции и излучения. Метод тепловых схем | Расчет теплового режима РЭС с воздушными зазорами между кассетами (группа б) | 2 |

**Виды практических работ**

| № п/п | Тема | Наименование и содержание работы | Трудо-емкость, часов |
|---|---|---|---|
| 1 | Рекуперативные теплообменники | Основные положения теплового расчета. Среднетемпературный напор. Количество передаваемой теплоты | 2 |
| 2 | Сложный теплообмен | Определение температуры нагретой зоны одиночного блока | 2 |
| 3 | Сложный теплообмен | Температура перфорированного блока | 2 |
| 4 | Сложный теплообмен | Температура элементов блока с принудительным охлаждением | 2 |

**Виды самостоятельных работ**

| № п/п | Тема | Наименование и содержание работы | Трудоемкость, часов |
|---|---|---|---|
| 1 | Процессы тепло- и мас-сообмена в природе | Сложный тепломассообмен. Кондукция, излучение, конвекция. Вывод уравнений энергии, движения и сплошности | 6 |
| 2 | Тепловое сопротивление и тепловой коэффици-ент | Метод тепловых схем. Температурное сопротивление сложных узлов. Температурные проводимости | 8 |
| 3 | Кондукция | Дифференциальное уравнение теплопроводности. Уравнения Фурье, Пуассона, и Лапласа | 8 |
| 4 | Системы охлаждения ЭА. Теплообменные устройства | Расчет рекуперативных теплообменников прямоточной и противоточной конструкций. Уравнения теплопередачи и теплового баланса. Конструктивный и поверочный расчеты | 8 |
| 5 | Термодинамические ос-новы охлаждения | Термоэлектрические охлаждающие устройства. Дроссельные микроохладители. Компрессионные холодильные машины. Вихревых трубы. Тепловые трубы | 8 |
| 6 | Классификация спосо-бов охлаждения | Конструкции блоков в авиации и космонавтике. Откидные и книжные конструкции | 8 |
| 7 | Температурное поле стержней | Распространение теплоты в стержне. Вывод уравнений. Расчет радиаторов | 4 |

**5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах: Учебник. –2-е изд. , испр. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. 292 с. Электронно-библиотечная система «Лань».

**6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Фонд оценочных средств приведен в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ «Оценочные материалы по дисциплине «Методы тепловой защиты конструкций ЭС»).

**7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

**Основная учебная литература:**

1) Дьяконов В.Г. Основы теплопередачи и массообмена [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Г. Дьяконов, О.А. Лонщаков. – Электрон. текстовые данные. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2015. – 244 c. – 978-5-7882-1813-7. Электронно-Библиотечная Система "IPRbooks" – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/63714.html

2) Белкин П.Н., Шадрин С.Ю. Теплофизика [Электронный ресурс] : сборник задач / П.Н. Белкин. – Электрон. текстовые данные. – Саратов: Вузовское образование, 2013. – 51 c. –2227-8397. Электронно-Библиотечная Система "IPRbooks"– Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/18392.html

3) Кудинов И.В., Кудинов В.А., Еремин А.В., Колесников С.В. Математическое моделирование гидродинамики и теплообмена в движущихся жидкостях. Издательство "Лань". Электронно-библиотечная система «Лань». 2015. 208 с.
Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/56168?category_pk=2577#book_name

4) Дерюгин В.В. Тепломассообмен [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.В. Дерюгин, В.Ф. Васильев, В.М. Уляшева. – Электрон. текстовые данные. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. – 244 c. – 978-5-9227-0690-2. – Электронно-Библиотечная Система "IPRbooks"
Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/74378.html.

**Дополнительная учебная литература:**

1) Губарев В.Я., Арзамасцев А.Г. Тепломассобмен [Электронный ресурс] : методические указания к практическим занятиям / . – Электрон. текстовые данные. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2014. – 18 c. – 2227-8397. Электронно-Библиотечная Система "IPRbooks" – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/55162.html

2) Логинов В.С., Крайнов А.В., Юхнов В.Е., Феоктистов Д.В. Примеры и задачи по тепломассообмену. Издательство "Лань". Электронно-библиотечная система «Лань». 2017. 256 с.
Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/93718?category_pk=2577#book_name

8) Нестерук Д.А. Тепловой контроль и диагностика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д.А. Нестерук, В.П. Вавилов. – Электрон. текстовые данные. – Томск: Томский политехнический университет, 2010. – 112 c. – 978-5-98298-688-7. – Электронно-Библиотечная Система "IPRbooks". Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/34724.html

## 8. Перечень ресурсов информационно–телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

**Электронные образовательные ресурсы:**

1) Круглов Г.А., Булгакова Р.И., Круглова Е.С., Андреева М.В. Теплотехника. Практический курс. Издательство "Лань". Электронно-библиотечная система «Лань». 2017. 192 с.
Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/96253?category_pk=2577#book_name

2) Овчинников Ю.В. Основы технической термодинамики [Электронный ресурс] : учебник / Ю.В. Овчинников. – Электрон. текстовые данные. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2010. – 293 c. – 978-5-7782-1303-6. – Электронно-Библиотечная Система "IPRbooks"
Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/47708.html/

**Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы:**

1) Кириллов П.Л. Имена и числа подобия [Электронный ресурс] : очерки об ученых / П.Л. Кириллов. – Электрон. текстовые данные. – Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2010. – 336 c. – 978-5-93972-815-7. – Электронно-Библиотечная Система "IPRbooks"
Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/16528.html.

2) Андреев В.В. Теплотехника [Электронный ресурс] : учебник / В.В. Андреев, В.А. Лебедев, Б.И. Спесивцев. – Электрон. текстовые данные. – СПб. : Санкт-Петербургский горный университет, 2016. – 288 c. – 978-5-94211-754-2. Электронно-Библиотечная Система "IPRbooks" – Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/7

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для освоения дисциплины требуется предварительная подготовка в области физики и математики.

Методические указания при проведении практических работ описаны в методических указаниях к лабораторным работам. Обязательное условие успешного усвоения курса – большой объём самостоятельно проделанной работы.

Рекомендуется следующим образом организовать время, необходимое для изучения дисциплины:

Изучение конспекта лекции в тот же день, после лекции – 10-15 минут.

Изучение теоретического материала по учебнику и конспекту – 1 час в неделю в ходе подготовки к практическому занятию.

Перед выполнением практического занятия необходимо внимательно ознакомиться с заданием. Желательно заранее выполнить подготовку проекта в инструментальной среде, чтобы на практическом занятии осталось время для сдачи работы.

Перед сдачей работы рекомендуется ознакомиться со списком вопросов изучаемой темы и попытаться самостоятельно на них ответить, используя конспект лекций и рекомендуемую литературу. Таким образом, вы сможете сэкономить свое время и время преподавателя.

Кроме чтения учебной литературы из обязательного списка рекомендуется активно использовать информационные ресурсы сети Интернет по изучаемой теме. Ответы на многие вопросы, связанные с расчетом температурных режимов конструкций ЭА вы можете получить в сети Интернет, посещая соответствующие информационные ресурсы.

Самостоятельное изучение тем учебной дисциплины способствует:

- закреплению знаний, умений и навыков, полученных в ходе аудиторных занятий;
- углублению и расширению знаний по отдельным вопросам и темам дисциплины;
- освоению умений прикладного и практического использования полученных знаний в области расчета температурных режимов конструкций электронной аппаратуры;

Самостоятельная работа как вид учебной работы может использоваться на лекциях и практических занятиях, а также иметь самостоятельное значение – внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся – при подготовке к лекциям, практическим занятиям, а также к экзамену.

Основными видами самостоятельной работы по дисциплине являются:

- самостоятельное изучение отдельных вопросов и тем дисциплины «Тепломассообмен в ЭС»;
- выполнение домашнего задания: подготовка очередного практического занятия;
- подготовка к защите практического задания, оформление отчета.

## 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Для подготовки и выполнения лабораторных работ и проведения самостоятельных занятий обучающимися используется любой браузер (просмотрщик), входящий в операционную систему Windows XP.

**Перечень лицензионного программного обеспечения:**

3) Операционная система Windows XP (лицензия Microsoft DreamSpark Membership ID 700102019);
4) Программное обеспечение локальной сети кафедры САПР ВС Ethernet.

## 11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для освоения дисциплины необходимы:

4) для проведения лекционных занятий необходима аудитория с достаточным количеством посадочных мест, соответствующая необходимым противопожарным нормам и санитарно-гигиеническим требованиям;

5) для проведения практических занятий необходим класс персональных компьютеров с инсталлированными операционными системами Microsoft Windows XP;

6) для проведения лекций и практических занятий аудитория должна быть оснащена проекционным оборудованием**.**

Программу составили
д.т.н., проф. кафедры САПР ВС Шибанов А.П.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании
кафедры САПР ВС (протокол № 8 от 20.06.2018 г.)

Зав. кафедрой САПР ВС
д.т.н., проф. Корячко В.П.