

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Аэрокосмические технологии в теплоэнергетике и теплотехнике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕПЛООБМЕНА В**  
**АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.11.01.01</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>3 семестр - 4;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>144 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>3 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>3 семестр - 32 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>3 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>3 семестр - 77,5 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b>	
<b>Отчет</b>	
<b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>3 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2024**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Савченкова Н.М.
	Идентификатор	R321e87c5-SavchenkovaNM-0593cc

Н.М.  
Савченкова

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шевченко И.В.
	Идентификатор	R0722806b-ShevchenkoIGV-73cb47

И.В. Шевченко

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

А.Н. Рогалев

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** ознакомление студентов с путями решения ряда специальных вопросов теплообмена в авиационной и космической технике..

### Задачи дисциплины

- изучение основных проблем в области процессов тепло- и массопереноса в условиях высотных и космических полётов;
- изучение сложных систем ограждающих конструкций в авиационной и космической технике (панельные системы, остекление);
- формирование навыков определения характеристик теплообменных аппаратов при наличии фазовых превращений (испарительные, конденсационные теплообменники);;
- формирование навыков определения требуемых характеристик поверхностей ограждающих конструкций;;
- изучение сложных систем ограждающих конструкций в космической технике (ЭВТИ);;
- изучение методов расчета конструктивных и функциональных характеристик космических радиационных теплообменников;
- изучение методов расчета тепловых режимов радиоэлектронной аппаратуры..

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-2 Способен выполнять разработку теплотехнических решений для аэрокосмической техники	ИД-1ПК-2 Разрабатывает теплотехнические решения для обеспечения функционирования экипажа и оборудования	знать: - Особенности процессов тепломассообмена в оборудовании авиационной и космической техники; - Тепломассообменные устройства систем термостабилизации и терморегулирования элементов космических аппаратов.  уметь: - рассчитывать сложные системы ограждающих конструкций в авиационной и космической технике; - рассчитывать элемент Пельтье в системах обеспечения теплового режима КЛА; - рассчитывать требуемую поверхность радиационного теплообменника для заданной тепловой нагрузки и требуемой надёжности..

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Аэрокосмические технологии в теплоэнергетике и теплотехнике (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Особенности процессов теплообмена в оборудовании авиационной и космической техники	26	3	8	-	8	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Особенности процессов теплообмена в оборудовании авиационной и космической техники"</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Особенности процессов теплообмена в оборудовании авиационной и космической техники" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Особенности процессов теплообмена в оборудовании авиационной и космической техники"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 5-25 [4], 25-35 [9], 5-78 [10], 3-37</p>	
1.1	Особенности процессов теплообмена в оборудовании авиационной и космической техники	26		8	-	8	-	-	-	-	-	-	10		-
2	Радиационные теплообменники космических аппаратов	28		8	-	8	-	-	-	-	-	-	12		-
2.1	Радиационные	28		8	-	8	-	-	-	-	-	-	12		-

	теплообменники космических аппаратов												Изучение материала по разделу "Радиационные теплообменники космических аппаратов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Радиационные теплообменники космических аппаратов" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 26-70 [2], 5-87 [3], 48-60
3	Обеспечение тепловых режимов радиоэлектронной аппаратуры.	28	8	-	8	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Обеспечение тепловых режимов радиоэлектронной аппаратуры."
3.1	Обеспечение тепловых режимов радиоэлектронной аппаратуры.	28	8	-	8	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Обеспечение тепловых режимов радиоэлектронной аппаратуры." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Обеспечение тепловых режимов радиоэлектронной аппаратуры." <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [5], 66-98 [6], 5-85 [12], 3-37
4	Теплообменные устройства систем термостабилизации радиоэлектронных	26	8	-	8	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Теплообменные устройства систем термостабилизации радиоэлектронных"



### **3.2 Краткое содержание разделов**

#### 1. Особенности процессов теплообмена в оборудовании авиационной и космической техники

1.1. Особенности процессов теплообмена в оборудовании авиационной и космической техники

Общие вопросы процессов ТМО в авиационной и космической технике. Основные влияющие факторы, в том числе, влияние наличия/отсутствия гравитации, герметичности аппаратов. Особенности расчетов сложных систем ограждающих конструкций, например, в многослойном остеклении, в экранно-вакуумной тепловой изоляции..

#### 2. Радиационные теплообменники космических аппаратов

2.1. Радиационные теплообменники космических аппаратов

Классификация конструкций радиаторов-излучателей. Эффективность излучающих ребер. Оптические свойства излучающих поверхностей и их влияние на температурный режим радиатора. Методы расчета радиационных теплообменников. Методы достижения заданной надёжности при существовании вероятности метеоритного пробоя поверхности..

#### 3. Обеспечение тепловых режимов радиоэлектронной аппаратуры.

3.1. Обеспечение тепловых режимов радиоэлектронной аппаратуры.

Методы расчета испарительных и проточных термоплат для охлаждения радиоэлектронного оборудования. Определение температурных полей в зоне подвода теплоты..

#### 4. Теплообменные устройства систем термостабилизации радиоэлектронных приборов

4.1. Теплообменные устройства систем термостабилизации радиоэлектронных приборов

Роль и значение систем обеспечения теплового режима (СОТР), как неотъемлемого звена в оборудовании летательных аппаратов. Методы приближенного анализа стационарных температурных полей. Общая методика исследования тепловых режимов в системах тел с сосредоточенными параметрами и характеристики их тепловых моделей. Тепловые коэффициенты и тепловые сопротивления. Тепловое аккумулирование. Тепловая модель системы тел с внутренними источниками тепла и этапы расчета. Анализ теплового режима методом приведения к однородному телу с распределёнными параметрами. Допущения и ограничения. Математическая формулировка задачи и методы решения. Охладители элементами Пельтье. Эффект Зеебека..

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Расчет характеристик теплообмена в сложных ограждающих конструкциях;
2. Проектный расчёт космического радиационного теплообменника;
3. Теплообменные устройства систем термостабилизации;
4. Расчет теплообменника с элементом Пельтье.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Особенности процессов тепломассообмена в оборудовании авиационной и космической техники"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Радиационные теплообменники космических аппаратов"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Обеспечение тепловых режимов радиоэлектронной аппаратуры."
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Теплообменные устройства систем термостабилизации радиоэлектронных приборов"

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
<b>Знать:</b>						
Тепломассообменные устройства систем термостабилизации и терморегулирования элементов космических аппаратов	ИД-1ПК-2			+	+	Отчет/Задание № 3. «Теплообменные устройства систем термостабилизации» Контрольная работа/Контрольная работа «Особенности теплообмена в системах обеспечения теплового режима и термостабилизации»
Особенности процессов тепломассообмена в оборудовании авиационной и космической техники	ИД-1ПК-2	+				Контрольная работа/Контрольная работа «Особенности теплообмена в системах обеспечения теплового режима и термостабилизации»
<b>Уметь:</b>						
рассчитывать требуемую поверхность радиационного теплообменника для заданной тепловой нагрузки и требуемой надёжности.	ИД-1ПК-2		+			Отчет/Задание №2 «Проектный расчёт космического радиационного теплообменника»
рассчитывать элемент Пельтье в системах обеспечения теплового режима КЛА	ИД-1ПК-2				+	Отчет/Задание № 4. "Расчет теплообменника с элементом Пельтье"
рассчитывать сложные системы ограждающих конструкций в авиационной и космической технике	ИД-1ПК-2	+				Отчет/Задание № 1. "Расчет характеристик теплообмена в сложных ограждающих конструкциях"

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**3 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа «Особенности теплообмена в системах обеспечения теплового режима и термостабилизации» (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Задание № 1. "Расчет характеристик теплообмена в сложных ограждающих конструкциях" (Отчет)
2. Задание № 3. «Теплообменные устройства систем термостабилизации» (Отчет)
3. Задание № 4. "Расчет теплообменника с элементом Пельтье" (Отчет)
4. Задание №2 «Проектный расчёт космического радиационного теплообменника» (Отчет)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

Экзамен (Семестр №3)

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Адрианов, В. Н. Основы радиационного и сложного теплообмена / В. Н. Адрианов . – М. : Энергия, 1972 . – 460 с.;
2. Костановский, А. В. Радиационный теплообмен : учебное пособие по курсу "Теоретические основы теплотехники" по направлению "Теплоэнергетика и основы теплотехники" и "Энергетическое машиностроение" / А. В. Костановский, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2018 . – 92 с. - ISBN 978-5-7046-2018-1 . <http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=10358>;
3. Сасин, В. Я. Проектирование тепломассообменных аппаратов специальных систем искусственного климата. Конспект лекций : учебное пособие по курсу "Тепломассообменные аппараты систем искусственного климата" по направлению "Теплоэнергетика" / В. Я. Сасин, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2012 . – 68 с. - ISBN 978-5-7046-1390-9 . <http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=5010>;
4. Савченкова, Н. М. Основы инженерного проектирования авиационных систем кондиционирования воздуха : учебное пособие по курсу "Специальные системы искусственного климата" по направлению "Теплоэнергетика и теплотехника" / Н. М. Савченкова, В. Я. Сасин, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2016 . – 72 с. - ISBN 978-5-7046-1631-3 . <http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=8487>;

5. Малоземов, В. В. Системы терморегулирования космических аппаратов / В. В. Малоземов, Н. С. Кудрявцева . – М. : Машиностроение, 1995 . – 112 с. - ISBN 5-217-02024-5 : 2000.00 .;
6. Алексеев, В. А. Охлаждение радиоэлектронной аппаратуры с использованием плавящихся веществ / В. А. Алексеев . – Москва : Энергия, 1975 . – 89 с.;
7. Алексеев, В. А. Тепловые трубы для охлаждения и термостатирования радиоэлектронной аппаратуры / В. А. Алексеев, В. А. Арефьев . – Москва : Энергия, 1979 . – 128 с.;
8. Ильярский, О. И. Термоэлектрические элементы / О. И. Ильярский, Н. П. Удалов . – Москва : Энергия, 1970 . – 72 с. – (Б-ка по автоматике ; выпуск 376) .;
9. Елисеев В. Н., Товстоно В. А.- "Теплообмен и тепловые испытания материалов и конструкций аэрокосмической техники при радиационном нагреве", Издательство: "МГТУ им. Баумана", Москва, 2014 - (396 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/106406>;
10. Матвеев Н. К.- "Экранно-вакуумная теплоизоляция и определение её характеристик", Издательство: "БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова", Санкт-Петербург, 2012 - (40 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=64108](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=64108);
11. Л. И. Анатычук- "Термоэлементы и термоэлектрические устройства", Издательство: "Наукова думка", Киев, 1979 - (767 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=447820>;
12. Григорьев, В. А. Учебное пособие по курсу "Охлаждение и криостатирование энергетических устройств": Конструкции криостатов и сосудов для криоагентов / В. А. Григорьев, Е. В. Аметистов, Т. А. Алексеев ; Ред. Ю. М. Павлов ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – М. : Изд-во МЭИ, 1980 . – 40 с.;
13. Павлов, Ю. М. Перегревы и закипание жидкостей : учебное пособие по курсу "Специальные вопросы тепло- и массообмена" по специальности "Промышленная теплоэнергетика" / Ю. М. Павлов, С. В. Захаров, Е. Ю. Борисова, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . – 48 с. - ISBN 978-5-383-00015-1 ..

## **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
3. Windows Server / Серверная операционная система семейства Linux.

## **5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:**

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
5. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
6. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
7. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
8. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
9. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных	Ш-206, Лекционная	стол преподавателя, стол компьютерный, вешалка для одежды, тумба,

занятий и текущего контроля	аудитория	мультимедийный проектор, указка лазерная, доска маркерная передвижная, колонки, кондиционер, инструменты для практических занятий
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ш-205, Компьютерный класс	стол преподавателя, стол компьютерный, тумба, мультимедийный проектор, доска маркерная передвижная, колонки, кондиционер, наборы демонстрационного оборудования, инструменты для практических занятий
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ш-205, Компьютерный класс	стол преподавателя, стол компьютерный, тумба, мультимедийный проектор, доска маркерная передвижная, колонки, кондиционер, наборы демонстрационного оборудования, инструменты для практических занятий
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Лекционная аудитория	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Ш-206, Лекционная аудитория	стол преподавателя, стол компьютерный, вешалка для одежды, тумба, мультимедийный проектор, указка лазерная, доска маркерная передвижная, колонки, кондиционер, инструменты для практических занятий
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Ш-107/2, Склад учебного инвентаря Ш-107/2	

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Специальные вопросы теплообмена в аэрокосмической отрасли

(название дисциплины)

#### 3 семестр

#### Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Задание № 1. "Расчет характеристик теплообмена в сложных ограждающих конструкциях" (Отчет)
- КМ-2 Задание №2 «Проектный расчёт космического радиационного теплообменника» (Отчет)
- КМ-3 Задание № 3. «Теплообменные устройства систем термостабилизации» (Отчет)
- КМ-4 Задание № 4. "Расчет теплообменника с элементом Пельтье" (Отчет)
- КМ-5 Контрольная работа «Особенности теплообмена в системах обеспечения теплового режима и термостабилизации» (Контрольная работа)

#### Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	8	12	15	16
1	Особенности процессов тепломассообмена в оборудовании авиационной и космической техники						
1.1	Особенности процессов тепломассообмена в оборудовании авиационной и космической техники		+				+
2	Радиационные теплообменники космических аппаратов						
2.1	Радиационные теплообменники космических аппаратов			+			
3	Обеспечение тепловых режимов радиоэлектронной аппаратуры.						
3.1	Обеспечение тепловых режимов радиоэлектронной аппаратуры.				+		+
4	Теплообменные устройства систем термостабилизации радиоэлектронных приборов						
4.1	Теплообменные устройства систем термостабилизации радиоэлектронных приборов				+	+	+
Вес КМ, %:			20	20	20	20	20