Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

_____Козорез Д.А.
“28“ июня 2021

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (000154589)

Теплопередача

(указывается наименование дисциплины по учебному плану)

Направление подготовки 24.03.05 Двигатели летательных аппаратов

Квалификации выпускника Бакалавр

Профиль подготовки Технология производства авиационных ГТД

Форма обучения очная
(очно, очно-заочное, заочное)

Выпускающая кафедра ТПАД

Обеспечивающая кафедра ТПАД

Кафедра-разработчик рабочей программы ТПАД

Семестр	З.Е.	Трудоемкость, час.	Лекций, час.	Практич. занятий, час.	Лаборат. работ, час.	СРС, час.	Экзаменов, час.	Форма промежуточ-ного контроля
5	3	108	38	0	16	54	0	Зо
Итого	**3**	**108**	**38**	**0**	**16**	**54**	**0**	

Москва
2021

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы рабочей программы

1. Цели освоения дисциплины. Перечень планируемых результатов обучения.
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.
3. Структура и содержание дисциплины.
4. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.
5. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.
6. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.
8. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.
9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.
10. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Приложения к рабочей программе дисциплины

Приложение 1. Аннотация рабочей программы

Приложение 2. Прикрепленные файлы

Программа составлена в соответствии с требованиями СУОС МАИ, разработанного на основе модифицированных ФГОС ВО (3++) по направлению 24.03.05 Двигатели летательных аппаратов

Авторы программы:

Бабин С.В. _____

Заведующий обеспечивающей кафедрой _____

ТПАД

Программа одобрена:

Заведующий выпускающей кафедрой ТПАД Директор выпускающего филиала

_____ _____

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ И РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ.

Целью освоения дисциплины Теплопередача является достижение следующих результатов освоения(РО):

N	Шифр	Результат обучения
1	У-1(ОПК-1.2)	Уметь применять основные законы физики для анализа и объяснения теоретических и экспериментальных результатов инженерной деятельности
2	В-6(ОПК-1.3)	Владеть приемами решения основных задач, типичных для естественнонаучных дисциплин; методами теоретического и экспериментального исследования; навыками применения современного математического инструментария для решения химических задач
3	З-5(ОПК-2.1)	Знать, как применить основные законы теплопередачи при расчете тепловых потерь в инженерной практике
4	У-3(ОПК-2.1)	Уметь применять основные законы теплопередачи при расчете тепловых потерь в инженерной практике
5	З-2(ОПК-2.2)	Знать основные законы теплопередачи и механизмы переноса тепла
6	У-2(ОПК-2.2)	Уметь применять основные законы теплопередачи при выполнении теплового анализа.
7	В-2(ОПК-2.2)	Владеть навыками применения законов теплоперадчи при проведении теплового анализа.
8	З-5(ОПК-2.2)	Знать основные законы теплопередачи и механизмы переноса тепла в элементах конструкции ДУ и ЛА
9	У-7(ОПК-2.2)	Уметь применять основные законы теплопередачи при выполнении теплового анализа элементов конструкции ДУ и ЛА
10	В-6(ОПК-2.3)	Владеть навыками расчета тепловых потоков и температурных полей в элементах конструкции ДУ и ЛА
11	В-12(ОПК-2.3)	Владеть навыками применения общеинженерных знаний для решения учебных задач
12	З-2(ОПК-4.1)	Знать основные САЕ программные комплексы применимые для решения тепловых и газодинамических задач
13	У-1(ОПК-4.2)	Уметь применять основные САЕ программные комплексы при решении тепловых и газодинамических зада
14	В-1(ОПК-4.3)	Владеть навыками проведения тепловых и газодинамических расчетов в основных САЕ программных комлексах
15	З-1(ОПК-7.3)	Знать методы исследования технических систем для анализа и определения характеристик исследуемых процессов
16	В-1(ОПК-7.3)	Владеть методиками исследования технических систем для анализа и определения характеристик исследуемых процессов
17	З-1(ПКР-15.1)	Основные методологии исследований, используемых в аэрогазодинамики и процессов теплообмена в элементах конструкции, силовых установках и агрегатов ЛА
18	У-1(ПКР-15.1)	Определять содержание экспериментальных и расчетных этапов в исследовании аэрогазодинамики и процессов теплообмена для элементов конструкции, силовых установках и агрегатов ЛА
19	З-2(ПКР-15.2)	Знать основные модели аэро-гидрогазодинамики и процессов тепло-массообмена при проектировании средств и систем обеспечения тепловых режимов в элементах конструкции силовых установок и агрегатах ЛА
20	У-2(ПКР-15.2)	Уметь использовать основные модели аэро-гидрогазодинамики и процессов тепло-массообмена при проектировании средств и систем обеспечения тепловых режимов в элементах конструкции силовых установок и агрегатах ЛА
21	В-2(ПКР-15.2)	Владеть навыками применения основных моделей аэро-гидрогазодинамики и процессов тепло-массообмена при проектировании средств и систем обеспечения тепловых режимов в элементах конструкции силовых установок и агрегатах ЛА

22	З-3(ПКР-15.3)	Знать основы теории теплопередачи, радиационного теплообмена, математического, программно-алгоритмического обеспечения для проведения типовых тепловых расчетов элементов конструкции силовых установок и агрегатов ЛА
23	У-3(ПКР-15.3)	Уметь применять стандартные коммерческие программные пакеты для решения задач аэрогазодинамики и процессов теплообмена в элементах конструкции силовых установок и агрегатов ЛА
24	В-3(ПКР-15.3)	Владеть навыками выполения расчетов по аэрогазодинамике и процессам теплообмена в элементах конструкции силовых установок и агрегатов ЛА с использованием выбранного коммерческого программного обеспечения

Перечисленные РО являются этапом формирования следующих компетенций:

N	Шифр	Компетенция
1	ОПК-2	Способен применять общеинженерные знания в профессиональной деятельности
2	ОПК-7	Способен использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники
3	ОПК-1	Способен применять знания высшей математики и естественных наук в профессиональной деятельности
4	ПКР-15	Способен участвовать в выполнении проектных разработок на основе типовых решений обеспечения теплового режима в элементах конструкции силовых установок и агрегатов ЛА
5	ОПК-4	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности

Индикаторы достижения компетенций, служащие для проверки сформированности части соответствующей компетенции:

N	Шифр	Индикатор компетенций
1	ОПК-1.2	Демонстрирует знания положений, законов и методов естественных наук
2	ОПК-1.3	Решает стандартные задачи профессиональной деятельности с применением знаний высшей математики и естественных наук
3	ОПК-2.1	Демонстрирует знания теории и основных законов в области общеинженерных дисциплин
4	ОПК-2.1	Демонстрирует знания теории и основных законов в области общеинженерных дисциплин
5	ОПК-2.2	Использует законы и принципы общеинженерных дисциплин в своей профессиональной деятельности
6	ОПК-2.2	Использует законы и принципы общеинженерных дисциплин в своей профессиональной деятельности
7	ОПК-2.2	Использует законы и принципы общеинженерных дисциплин в своей профессиональной деятельности
8	ОПК-2.2	Использует законы и принципы общеинженерных дисциплин в своей профессиональной деятельности
9	ОПК-2.2	Использует законы и принципы общеинженерных дисциплин в своей профессиональной деятельности
10	ОПК-2.3	Решает стандартные задачи профессиональной деятельности с применением общеинженерных знаний
11	ОПК-2.3	Решает стандартные задачи профессиональной деятельности с применением общеинженерных знаний
12	ОПК-4.1	Обладает знаниями современного развития информационных технологий в авиационной и ракетно-космической отрасли
13	ОПК-4.2	Использует современные информационные технологии для решения задач профессиональной деятельности
14	ОПК-4.3	Владеет навыками работы со стандартными прикладными пакетами ПО, применяемыми в отрасли
15	ОПК-7.3	Использует методы исследования технических систем для анализа и определения

		характеристик исследуемых процессов
16	ОПК-7.3	Использует методы исследования технических систем для анализа и определения характеристик исследуемых процессов
17	ПКР-15.1	Использует типовые решения и методики проектирования средств и систем обеспечения тепловых режимов элементов конструкции силовых установок и агрегатов ЛА
18	ПКР-15.1	Использует типовые решения и методики проектирования средств и систем обеспечения тепловых режимов элементов конструкции силовых установок и агрегатов ЛА
19	ПКР-15.2	Применяет модели аэро-гидрогазодинамики и процессов тепло-массообмена при проектировании средств и систем обеспечения тепловых режимов в элементах конструкции силовых установок и агрегатах ЛА
20	ПКР-15.2	Применяет модели аэро-гидрогазодинамики и процессов тепло-массообмена при проектировании средств и систем обеспечения тепловых режимов в элементах конструкции силовых установок и агрегатах ЛА
21	ПКР-15.2	Применяет модели аэро-гидрогазодинамики и процессов тепло-массообмена при проектировании средств и систем обеспечения тепловых режимов в элементах конструкции силовых установок и агрегатах ЛА
22	ПКР-15.3	Использует при проведении проектных работ по аэро-гидрогазодинамике и тепло-массообмену в элементах конструкций силовых установок и агрегатов ЛА коммерческих программных пакетов
23	ПКР-15.3	Использует при проведении проектных работ по аэро-гидрогазодинамике и тепло-массообмену в элементах конструкций силовых установок и агрегатов ЛА коммерческих программных пакетов
24	ПКР-15.3	Использует при проведении проектных работ по аэро-гидрогазодинамике и тепло-массообмену в элементах конструкций силовых установок и агрегатов ЛА коммерческих программных пакетов

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.

Дисциплина Теплопередача является предшествующей и последующей для следующих дисциплин:

N	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины
1	Сопротивление материалов	Итоговая гос. аттестация
2	Химия	Детали машин и основы конструирования
3	Начертательная геометрия	Метрология, стандартизация и сертификация
4	Теоретическая механика	Теоретические основы проектирования технологических процессов ДЛА
5	Теория механизмов и машин	Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок
6	Материаловедение	Методы математического моделирования
7	Технология конструкционных материалов	Методы исследований и испытаний в авиаракетостроении (Технический контроль и измерения)
8	Механика жидкости и газа	
9	Термодинамика	
10	Электротехника и электроника 1	
11	Инженерная графика	
12	Учебная практика	
13	Искусственный интеллект и системный анализ	
14	Введение в авиационную и ракетно-	

	космическую технику	
15	Математический анализ	
16	Линейная алгебра и аналитическая геометрия	
17	Дифференциальные уравнения	
18	Теория вероятностей и математическая статистика	
19	Численные методы	
20	Физика 1	
21	Компьютерная графика	
22	Информатика	
23	Алгоритмические языки и программирование	

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы), 108 часа(ов).

Модуль	Раздел	Лекции	Практич. занятия	Лаборат. работы	СРС	Всего часов	Всего с экзаменами и курсовыми
Теплопередача	Основные положения теплопроводности.	2	0	0	3	5	108
	Теплопроводность при стационарном режиме	8	0	4	14	26	
	Теплопроводность при нестационарном режиме	4	0	4	10	18	
	Конвективный теплообмен	6	0	4	9	19	
	Элементы теории подобия	6	0	0	4	10	
	Теплообмен излучением	4	0	4	7	15	
	Теплообменные аппараты	4	0	0	3	7	
	Теплообмен в элементах ДЛА	4	0	0	4	8	
Всего		**38**	**0**	**16**	**54**	**108**	**108**

3.1.Лекции

№ п/п	Раздел дисциплины	Объем, часов	Тема лекции
1	1.1.Основные положения теплопроводности.	2	Основные положения теплопроводности
2	1.2.Теплопроводность при стационарном режиме	4	Теплопроводность при стационарном режиме и граничных условиях первого рода.

3	1.2.Теплопроводность при стационарном режиме	4	Теплопроводность при стационарном режиме и граничных условиях третьего рода
4	1.3.Теплопроводность при нестационарном режиме	4	Теплопроводность при нестационарном режиме
5	1.4.Конвективный теплообмен	6	Конвективный теплообмен в вынужденном и свободном потоке жидкости.
6	1.5.Элементы теории подобия	6	Основы теории подобия
7	1.6.Теплообмен излучением	4	Теплообмен излучением
8	1.7.Теплообменные аппараты	4	Теплообменные аппараты и их применение в ДЛА
9	1.8.Теплообмен в элементах ДЛА	4	Теплообмен в элементах проточной части ДЛА
Итого:		**38**	

3.2.Содержание лекций.

1.1.1. Основные положения теплопроводности (АЗ: 2, СРС: 3)

Тип лекции: Информационная лекция

Форма организации: Лекция

Описание: Виды теплообмена. Краткие сведения из истории развития науки о теплообмене. Явления теплообмена в авиационной и ракетной технике. Законы Фурье и Фика. Формулы для теплового и массового потоков. Законы теплообмена излучением. Температурное поле. Градиент температуры.

1.2.1. Теплопроводность при стационарном режиме и граничных условиях первого рода. (АЗ: 4, СРС: 4)

Тип лекции: Информационная лекция

Форма организации: Лекция

Описание: Теплопроводность через однослойную и многослойную плоскую стенку. Теплопроводность через однослойную и многослойную цилиндрическую стенку. Теплопроводность через шаровую стенку. Теплопроводность тел произвольной формы.

1.2.2. Теплопроводность при стационарном режиме и граничных условиях третьего рода (АЗ: 4, СРС: 4)

Тип лекции: Информационная лекция

Форма организации: Лекция

Описание: Передача теплоты через плоскую однослойную и многослойную стенки. Передача теплоты через цилиндрические однослойную и многослойную стенки. Критический диаметр изоляции. Передача теплоты через шаровую стенку. Передача теплоты через ребристую стенку. Интенсификация теплопередачи.

1.3.1. Теплопроводность при нестационарном режиме (АЗ: 4, СРС: 4)

Тип лекции: Информационная лекция

Форма организации: Лекция

Описание: Основные методы решения уравнения теплопроводности при нестационарном режиме. Нестационарные процессы теплопроводности в неограниченной пластине. Количество теплоты, воспринимаемое пластиной в процессе нагревания. Влияние чисел Био и Фурье на температурное поле в пластине. Теплопроводность в телах, образованных при пересечении пластин. Температурное поле пластины с внутренними источниками теплоты. Нестационарное температурное поле бесконечно длинного цилиндра. Нестационарное температурное поле шара. Регулярный режим процессов теплопроводности. Периодические тепловые процессы. Численные методы решения задач теплопроводности. Исследование процессов теплопроводности методом аналогии.

1.4.1. Конвективный теплообмен в вынужденном и свободном потоке жидкости. (АЗ: 6, СРС: 4)

Тип лекции: Информационная лекция

Форма организации: Лекция

Описание: Средняя температура. Определяющая температура. Эквивалентный диаметр. Теплообмен при ламинарном и турбулентном течениях жидкости в трубах. Теплообмен при переходно режиме. Теплообмен при вынужденном движении жидкости вдоль пластины. Теплообмен при поперечномомывании одиночной трубы и пучка труб. Теплообмен при высоких скоростях движения газов. Теплообмен при свободном движении жидкости. Теплообмен при кипении и конденсации.

1.5.1. Основы теории подобия (АЗ: 6, СРС: 4)

Тип лекции: Информационная лекция

Форма организации: Лекция

Описание: Основы теории подобия физических явлений. Числа подобия. Теоремы подобия. Приведение дифференциальных уравнений конвективного теплообмена и условия однозначности к безразмерному виду. Уравнения подобия. Моделирование.

1.6.1. Теплообмен излучением (АЗ: 4, СРС: 3)

Тип лекции: Информационная лекция

Форма организации: Лекция

Описание: Общие сведения о тепловом излучении. Основной закон поглощения. Основные законы теплового излучения. Теплообмен излучением между твердыми телами.

Параллельные пластины. Теплообмен излучением между телами, одно из которых находится внутри другого. Произвольно расположенные тела. Экраны. Излучение газов. Сложный теплообмен.

1.7.1. Теплообменные аппараты и их применение в ДЛА (АЗ: 4, СРС: 3)

Тип лекции: Информационная лекция

Форма организации: Лекция

Описание: Типы теплообменных аппаратов. Теплопередача в рекуперативных теплообменниках. Изменение температуры теплоносителей. Температурный напор. Определение среднего температурного напора и коэффициента теплопередачи. Тепловая эффективность теплообменных аппаратов. Метод расчета теплообменных аппаратов по заданной тепловой эффективности. Гидравлический расчёт теплообменных аппаратов. Приближенный расчёт вращающегося регенератора

1.8.2. Теплообмен в элементах проточной части ДЛА (АЗ: 4, СРС: 4)

Тип лекции: Информационная лекция

Форма организации: Лекция

3.3.Практические занятия

Не предусмотрено учебным планом.

3.4.Содержание практических занятий

3.5.Лабораторные работы

№ п/п	Раздел дисциплины	Наименование лабораторной работы	Наименование лаборатории	Объем, часов
1	1.2.Теплопроводность при стационарном режиме	Исследование теплофизических свойств неметаллических материалов методом шара	Термодинамики и тепломассообмена	4
2	1.3.Теплопроводность при нестационарном режиме	Определение теплофизических свойств тела методом регулярного режима	Термодинамики и тепломассообмена	4
3	1.4.Конвективный теплообмен	Определение коэффициента теплоотдачи при вынужденном течении воздуха в нагретой трубе	Термодинамики и тепломассообмена	4
4	1.6.Теплообмен излучением	Определение коэффициента лучеиспускания серого тела и степени его черноты	Термодинамики и тепломассообмена	4
			Итого:	16

3.6.Содержание лабораторных работ

1.2.1. Исследование теплофизических свойств неметаллических материалов методом шара (АЗ: 4, СРС: 6)

Форма организации: Лабораторная работа

1.3.1. Определение теплофизических свойств тела методом регулярного режима (АЗ: 4, СРС: 6)

Форма организации: Лабораторная работа

1.4.1. Определение коэффициента теплоотдачи при вынужденном течении воздуха в нагретой трубе (АЗ: 4, СРС: 5)

Форма организации: Лабораторная работа

1.6.1. Определение коэффициента лучеиспускания серого тела и степени его черноты (АЗ: 4, СРС: 4)

Форма организации: Лабораторная работа

3.7.Курсовые работы и проекты по дисциплине

3.8.Промежуточная аттестация

1.

Прикрепленные файлы: Вопросы экзаменационных билетов Теплопередача.doc

4. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Основная и дополнительная литература по дисциплине

2. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

3. Ресурсы научно-технической библиотеки МАИ.

4. Информационные стенды кафедры.

Вопросы для самостоятельной работы по темам:

№ п/п	Раздел дисциплины	Вопросы для самостоятельной работы
1	Теплопроводность при стационарном режиме	Подготовка к защите лабораторной работы Исследование теплофизических свойств неметаллических материалов методом шара
2	Теплопроводность при нестационарном	Подготовка к защите лабораторной работы Определение теплофизических свойств твердых тел методом регулярного режима

	режиме	
3	Конвективный теплообмен	Подготовка к защите лработы Определение коэффициента теплоотдачи при вынужденном течении воздуха в нагретой трубе
4	Теплообмен излучением	Подготовка к защите лабораторной работы Определение коэффициента лучеиспускания серого тела и степени его черноты

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Описание показателей, критерии оценивания компетенций и описание шкал оценивания осуществляются в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценки результатов обучения студентов по дисциплине (Приказ №42 от 04.04.2014 «Об утверждении положения «Рейтинг по дисциплине»).

Для оценивания интегрированных и практико-ориентированных заданий обучающихся используются следующие критерии по 100-балльной шкале:

1. Формулирование представленной информации в виде проблемы;
2. Предложение способа решения проблемы;
3. Обоснование способа решения проблемы;
4. Демонстрация способа решения проблемы.

Оценивание осуществляется по следующей шкале:

100-балльная шкала	Результат освоения
менее 40	Критерий не сформирован
41-70	Критерий четко не выражен
71-100	Критерий выражен четко

Для оценивания ситуационных заданий используется следующая шкала:

100-балльная шкала	Результат освоения
менее 30	обучающийся не может сформулировать проблему, представленную в задании
31-50	обучающийся формулирует поставленную задачу, у него сформированы изолированные знания и умения, однако отсутствуют интегрированные понятия и навыки, в результате чего допущены ошибки в решении и задание не выполнено
51-80	задание выполнено, обучающийся применяет знания для решения поставленной проблемы, однако не сформированы компетенции, вследствие чего обучающийся испытывает затруднения в демонстрации способов решения задачи
81-100	задание выполнено как в теоретическом,

	так и в практическом плане, обучающийся легко демонстрирует свою компетентность по данному вопросу

Фонды оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения, включают в себя:

- вопросы к промежуточной аттестации.

Перечень компетенций и этапы их формирования приведены в следующей таблице:

N	Шифр	Компетенция	Этапы формирования компетенции
1	ОПК-2	Способен применять общеинженерные знания в профессиональной деятельности	Знать, как применить основные законы теплопередачи при расчете тепловых потерь в инженерной практике Уметь применять основные законы теплопередачи при расчете тепловых потерь в инженерной практике Знать основные законы теплопередачи и механизмы переноса тепла Уметь применять основные законы теплопередачи при выполнении теплового анализа. Владеть навыками применения законов теплоперадчи при проведении теплового анализа. Знать основные законы теплопередачи и механизмы переноса тепла в элементах конструкции ДУ и ЛА Уметь применять основные законы теплопередачи при выполнении теплового анализа элементов конструкции ДУ и ЛА Владеть навыками расчета тепловых потоков и температурных полей в элементах конструкции ДУ и ЛА Владеть навыками применения общеинженерных знаний для решения учебных задач Семестр - 5
2	ОПК-7	Способен использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники	Семестр -
3	ОПК-1	Способен применять знания высшей математики и естественных наук в профессиональной деятельности	Уметь применять основные законы физики для анализа и объяснения теоретических и экспериментальных результатов инженерной деятельности Владеть приемами решения основных задач, типичных для естественнонаучных дисциплин; методами теоретического и экспериментального исследования; навыками применения современного математического инструментария для решения химических задач Семестр - 5
4	ПКР-15	Способен участвовать в выполнении проектных разработок на основе типовых решений обеспечения теплового режима в элементах конструкции силовых установок и агрегатов ЛА	Основные методологии исследований, используемых в аэрогазодинамики и процессов теплообмена в элементах конструкции, силовых установках и агрегатов ЛА Определять содержание экспериментальных и расчетных этапов в исследовании аэрогазодинамики и процессов теплообмена для элементов конструкции, силовых установках и агрегатов ЛА Знать основные модели аэро-гидрогазодинамики и процессов тепло-массообмена при

			проектировании средств и систем обеспечения тепловых режимов в элементах конструкции силовых установок и агрегатах ЛА Уметь использовать основные модели аэро-гидрогазодинамики и процессов тепло-массообмена при проектировании средств и систем обеспечения тепловых режимов в элементах конструкции силовых установок и агрегатах ЛА Владеть навыками применения основных моделей аэро-гидрогазодинамики и процессов тепло-массообмена при проектировании средств и систем обеспечения тепловых режимов в элементах конструкции силовых установок и агрегатах ЛА Знать основы теории теплопередачи, радиационного теплообмена, математического, программно-алгоритмического обеспечения для проведения типовых тепловых расчетов элементов конструкции силовых установок и агрегатов ЛА Уметь применять стандартные коммерческие программные пакеты для решения задач аэрогазодинамики и процессов теплообмена в элементах конструкции силовых установок и агрегатов ЛА Владеть навыками выполения расчетов по аэрогазодинамике и процессам теплообмена в элементах конструкции силовых установок и агрегатов ЛА с использованием выбранного коммерческого программного обеспечения Семестр - 5
5	ОПК-4	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	Семестр -

Вопросы к промежуточной аттестации

«Теплопередача»

1. Зачет с оценкой (5 семестр)

Прикрепленные файлы: Вопросы экзаменационных билетов Теплопередача.doc

6. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

а)основная литература:

1. Брюханов О. Н. Тепломассообмен: Учебник / О.Н. Брюханов, С.Н. Шевченко. - М.: НИЦ Инфра-М, 2012. - 464 с. http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=258657 .(Электронная версия – Доступ сервер кафедры ТПАД)

2. Барилович В А Основы технической термодинамики и теории тепло- и массообмена: Учебное пособие / В.А. Барилович, Ю.А. Смирнов. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 432 с .(Электронная версия – Доступ сервер кафедры ТПАД) http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=356818

3. Кудинов А. А. Тепломассообмен: Учебное пособие / А.А. Кудинов. - М.: ИНФРА-М, 2012. - 375 с http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=238920

4. Карминский В.Д., Техническая термодинамика и теплопередача. Курс лекций. М.: Маршрут, 2005. (Электронная версия – доступ сервер кафедры ТПАД).

5. Ф.Ф.Цветков и др. Задачник по тепломассообмену. Москва. Издательский лом МЭИ. 2008 г -195 с (Электронная версия – доступ сервер кафедры ТПАД).

б)дополнительная литература:

1. Определение коэффициентов теплопроводности сыпучих теплоизоляционных материа¬лов методом шара. М.:МАТИ, 2016.

3. Определение коэффициента теплоотдачи при вынужденном течении воздуха в нагретой трубе. М.:МАТИ, 2016.

3. Методические материалы к практическим занятиям по дисциплине «Термодинамика и теплопередача» ВВИА им. Н.Е. Жуковского. 2007 г.-45с (Электронная версия – доступ сервер кафедры ТПАД).

7. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Для обеспечения образовательного процесса по дисциплине обучающимся предоставляется возможность круглосуточного дистанционного индивидуального доступа к электронным библиотечным системам из любой точки, в которой имеется доступ к сети «Интернет».

Наименование ресурса	Интернет-ссылка на ресурс
"ZNANIUM.COM"	
Электронная библиотечная система "ZNANIUM.COM".	http://znanium.com
ООО "Издательство Лань"	
Электронная библиотечная система ООО "Издательство Лань".	e.lanbook.com
ООО "Электронное издательство ЮРАЙТ"	
Электронная библиотечная система ЮРАЙТ. ЭБС "Легендарные книги"	http://biblio-online.ru, https://biblio-online.ru/catalog/legendary

Электронная библиотека МАИ	
Электронная библиотека МАИ (собственность МАИ).	http://elibrary.mai.ru/MegaPro2/Web
Электронная библиотека Консорциума аэрокосмических вузов России	
Электронная библиотека Консорциума аэрокосмических вузов России.	http://elsau.ru
Библиотека РФФИ	
Библиотека РФФИ	http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library
Единое окно доступа к образовательным ресурсам	
Единое окно доступа к образовательным ресурсам	http://window.edu.ru/
Polpred.com	
Polpred.com. Обзор СМИ	http://polpred.com
ООО "РУНЭБ"	
Электронная библиотечная система eLIBRARY.	http://elibrary.ru
ООО "Национальный цифровой ресурс "Руконт"	
ООО "Национальный цифровой ресурс "Руконт".	http://text.rucont.ru
ООО "ИВИС"	
ООО "ИВИС".	http://ivis.ru
ООО "Интегратор авторского права"	
ООО "Интегратор авторского права" IQlib.	http://www.iqlib.ru/
ФГБУ "РГБ"	
Электронная библиотека диссертаций РГБ.	http://dvs.rsl.ru
Национальная электронная библиотека (НЭБ).	http://нэб.рф
НП НЭИКОН	
Некоммерческое партнерство "Национальный Электронно-Информационный Консорциум".	http://archive.neicon.ru
Научные полнотекстовые ресурсы издательства Springer (архив).	http://link.springer.com/
Научные полнотекстовые журналы издательства Taylor&Francis Group (архив).	http://www.tandfonline.com/
База данных GreenFile компании EBSCO.	http://www.greeninfoonline.com.
Внешнеэкономическое объединение "Академинторг"	
American Physical Society American Mathematical Society	http://publish.aps.org/ http://www.ams.org/mathscinet/index.html
ФГБУ "ГПНТБ России"	
База данных Web of Science (правообладатель - Thomson Reuters, с 03.10.2016 г. - Clarivate Analytics).	www.webofscience.com
База данных Scopus издательства Elsevier.	http://scopus.com
Springer Customer Service Center GmbH в научных и образовательных целях. Springer	http://link.springer.com/ http://www.nature.com/

Nature	
База данных компании EBSCO Publishing: БД CASC. БД MathSciNet via EBSCOhost.	http://search.ebscohost.com
Научные полнотекстовые журналы и книги издательства Elsevier.	http://www.sciencedirect.com http://www.elsevierscience.ru/products/science-direct
РФФИ	
Научные полнотекстовые англоязычные журналы American Chemical Society.	http://pubs.acs.org.

8.МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Эффективным способом развития творческих способностей студентов при изучении дисциплины является самостоятельная работа, которая нацелена на проработку студентами материала прошедших контактных занятий и подготовку к предстоящим занятиям.

Самостоятельная работа студентов проводится ими в соответствии с собственными возможностями. Можно, однако, рекомендовать групповое изучение материалов, обеспечивающее совместную работу нескольких студентов, что положительно влияет на качество проработки программы курса.

В то же время высокая степень усвоения изучаемой дисциплины достигается при постоянной работе студентов над текущим материалом. В этой связи желательна проработка лекционного материала в день его прочтения, что позволяет, во-первых, оперативно (на следующей лекции) снимать возникающие вопросы и, во-вторых, создавать багаж знаний по дисциплине задолго до промежуточной аттестации.

При подготовке к практическим занятиям также необходима проработка лекционного материала. Это позволит осознано работать с предлагаемым материалом преподавателем на практическом занятии, а, следовательно, закладывать базу методик и приемов при решении практических задач.

При изучении материала необходимо делать акцент не на зазубривании материала, а на понимание его физической сути, что развивает мышление и позволяет понять методологию изучаемой дисциплины.

9. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Дисциплина ориентирована на применение компьютерной техники, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», электронной библиотеки МАИ для поиска, сбора, хранения, обработки и представления информации.

Программное обеспечение, Интернет-ресурсы, электронные библиотечные системы:

ОперационныеWindows, стандартные офисные программы, электронные версии учебников, пособий, методических разработок,

указаний и рекомендаций по всем видам учебной работы,

Российские сайты. http://znanium.com

http://www.k204.ru/index.php?index=7

10. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Специально оборудованные аудитории для проведения лекций, лабораторных ра¬бот, практических занятий, позволяющие проводить презентации, компьютерный класс с рабочим местом для каждого студента.

1. Виртуальная интерактивная лабораторная работа «Исследование теплофизических свойств неметаллических материалов методом шара».
2. Виртуальная интерактивная лабораторная работа «Определение коэффициента теплоотдачи при вынужденном течении воздуха в нагретой трубе».
3. Установка для проведения лабораторной работы «Определение теплофизических свойств твердых тел методом регулярного режима»
4. Установка для проведения лабораторной работы «Определение коэффициента лучеиспускания серого тела и степени его черноты»

Приложение 1
к рабочей программе дисциплины
«Теплопередача»

Аннотация рабочей программы

Дисциплина Теплопередача является частью Блока 1 Дисциплины дисциплин подготовки студентов по направлению подготовки 24.03.05 Двигатели летательных аппаратов. Дисциплина реализуется на Ступино факультете «Московский авиационного института (национального исследовательского университета)» кафедрой (кафедрами) ТПАД.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций: ОПК-2 ,ОПК-7 ,ОПК-1 ,ПКР-15 ,ОПК-4.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с: вопросами теплообмена в различных устройствах летательных аппаратов. Дисциплина рассматривает также процессы, сопро¬вождающиеся различными преобразованиями энергии, как в покоящемся, так и в движу¬щемся газе

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: Лекция, Лабораторная работа.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: промежуточная аттестация в форме Зачет с оценкой (5 семестр).

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (38 часов), практические (0 часов), лабораторные (16 часов) занятия и (54 часов) самостоятельной работы студента. Целью освоения дисциплины является получение студентами основополагающих знаний о законах взаимопреобразования и передача энергии в форме теплоты, о законах теплообмена.

Для достижения поставленной цели при изучении дисциплины решаются следующие задачи:

1. Создание у студентов достаточно широкой подготовки в области теплопередачи, позволяющей в дальнейшем осуществить специализацию по выбранному профилю и направлению подготовки.

2. Формирование у студентов научного мышления, правильного понимания границ применимости различных физических подходов, законов, теорий и владения методами оценки степени достоверности результатов, полученных с помощью экспериментальных и математических методов исследования.

3. Выработка у студентов владения приемами и навыками решения конкретных задач из разных областей теплопередачи, помогающих в дальнейшем в решении инженерных задач по выбранной специальности.

4. Ознакомление студентов с физической и научной аппаратурой и выработка у них начальных навыков проведения экспериментальных исследований различных явлений и владения методами оценки точности и применимости полученных результатов.

5. Выработка владения навыками сбора данных, изучения, анализа и обобщения научно-технической информации.

6. Выработка умения применять физико-математические методы моделирования и расчёта, творчески применять основные законы термодинамики и теплопередачи в процессе профессиональной деятельности.

7. Выработка способности и навыков выявить физическую сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат.

Приложение 2
к рабочей программе дисциплины
«Теплопередача»

Прикрепленные файлы

Методичка теплопроводность.doc

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«МАТИ»- Российский Государственный технологический университет
Кафедра: "Технология производства авиационных двигателей и энергетических установок"

Дисциплина: "Термодинамика"

Лабораторная работа №3:

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СЫПУЧИХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ШАРА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление со способом экспериментального определения коэффициента теплопроводности сыпучих теплоизоляционных материалов методом тара. Освоение методов проведения эксперимента и расчета, связанного с обработкой результатов испытания.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Процесс распространения тепла в твердых телах, в неподвижных жидкостях и газах аналитически описывается законом Фурье:

$$\vec{q} = -\lambda gradT \quad (1)$$

Здесь **grad T** — вектор, называемый градиентом температуры,

величина его равна пределу отношения приращения температуры ΔT к расстоянию между изотермическими поверхностями по нормали n при стремлении Δn к нулю, т. е.

$$gradT = \lim_{\Delta n \to 0}\left(\frac{\Delta T}{\Delta n}\right) = \frac{dT}{dn}\ \left[\frac{K}{M}\right]$$

Как видно, градиент температуры характеризует скорость изменения температуры по нормали к изотермической поверхности, т. е. максимальную скорость изменения температуры в данный момент времени. Положительным направлением вектора принято считать по нормали, проведенной в сторону возрастающих температур.

Параметр $\vec{q}$ [Вт/м^2], в левой части уравнения (1) — вектор плотности теплового потока, представляющий собой количество теплоты, проходящее через единицу изотермической поверхности в единицу времени. Вектор $\overline{q}$ направлен в сторону уменьшения температур, т. е. в сторону, противоположную направлению вектора grad *T,* что и учитывает знак минус в формуле (1).

Коэффициент λ [Вт/мК] в формуле (1) —коэффициент теплопроводности, физический параметр вещества, в котором рассматривается перенос тепла. По величине он соответствует количеству теплоты, проходящего в единицу времени через единицу изотермической поверхности при градиенте температуры, равном единице. Как видно, коэффициент теплопроводности характеризует способность вещества проводить тепло. Величина коэффициента теплопроводности зависит от природы вещества, его структуры, плотности, температуры, давления и других факторов. **Наибольшим коэффициентом теплопроводности обладают металлы, наименьшим — газы. Значение величин коэффициентов теплопроводности веществ необходимо для расчета различных технологических процессов, теплообменных аппаратов, тепловых двигателей, летательных аппаратов, их деталей и приборов и т. д., т.е. во всех случаях, где существенную роль играют процессы распространения тепла механизмом теплопроводности, где необходимо знать распределения температуры и тепловые потоки.**

Значение коэффициента теплопроводности определяют, как правило, опытным путем, используя закон Фурье. В плоской бесконечной стенке толщиной δ, когда на граничных поверхностях поддерживаются постоянные температуры T_1 и T_2, устанавливается линейный профиль температуры по толщине стенки, градиент температуры имеет одно и то же значение на любой глубине

$$gradT = \frac{T_2 - T_1}{\delta}$$

и расчетная формула для λ приобретает особенно простой вид

$$\lambda = \frac{|q|}{|gradT|} = \frac{|q|}{\left|\frac{T_2 - T_1}{\delta}\right|}$$

Однако в этом случае трудно измерить с требуемой точностью плотность теплового потока *q,* поскольку для пластины конечной ширины и длинны неизбежны потери теплоты через боковые поверхности.

Отмеченные недостатки отсутствуют при определении коэффициента теплопроводности методом шара, когда исследуемое вещество заключается между двумя полыми тонкостенными металлическими шарами, так что свободные боковые поверхности в шаровой прослойке исследуемого вещества отсутствуют.

Особенно удобно находить коэффициент теплопроводности методом шара для сыпучих материалов. В настоящей работе данным методом определяется коэффициент теплопроводности керамической крошки с размерами зерна *d=1—2* мм, использующейся в качестве теплоизоляционной засыпки в различного рода теплотехнических устройствах.

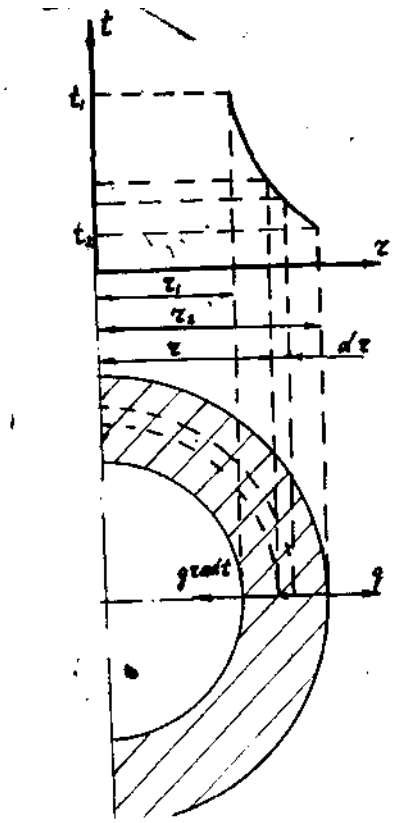


Рис. 1. Схема переноса тепла через шаровой слой.

При установившемся (стационарном) тепловом состоянии полное количество теплоты, проходящее в единицу времени от равномерно нагреваемой внутренней поверхности к равномерно охлаждаемой наружной поверхности шарового слоя, остается неизменным для любого радиуса и согласно закону Фурье определяется по формуле

$$Q = -\lambda F \frac{dT}{dr} = -\lambda 4\pi r^2 \frac{dT}{dr} \ [Bm] \quad (2)$$

где *r*-радиус элементарного слоя; *dr* - толщина элементарного слоя; λ-коэффициент теплопроводности материала шаровой стенки.

Температурное поле стенки одномерно, т. е. температура изменяется только по радиусу. Введем следующие обозначения (рис. 1): r_1 и r_2**,- радиусы внутренней и внешней поверхностей шарового слоя; T_1и T_2 температуры внутренней и внешней поверхностей шарового слоя ($T_1 > T_2$). Тогда, после интегрирования уравнения (2) с ограничными условиями (при $r_1 = r_2 \Rightarrow T_1 = T_2$, при $r = r_2 \Rightarrow T = T_2$), получим закон изменения температуры по радиусу шаровой стенки**

$$T = T_1 - \frac{Q}{4\pi\lambda}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r}\right) = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r}\right) \quad \textbf{(3)}$$

а взяв производную — и закон изменения градиента температуры

$$\frac{dT}{dr} = -\frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}} * \frac{1}{r^2} \quad \textbf{(4)}$$

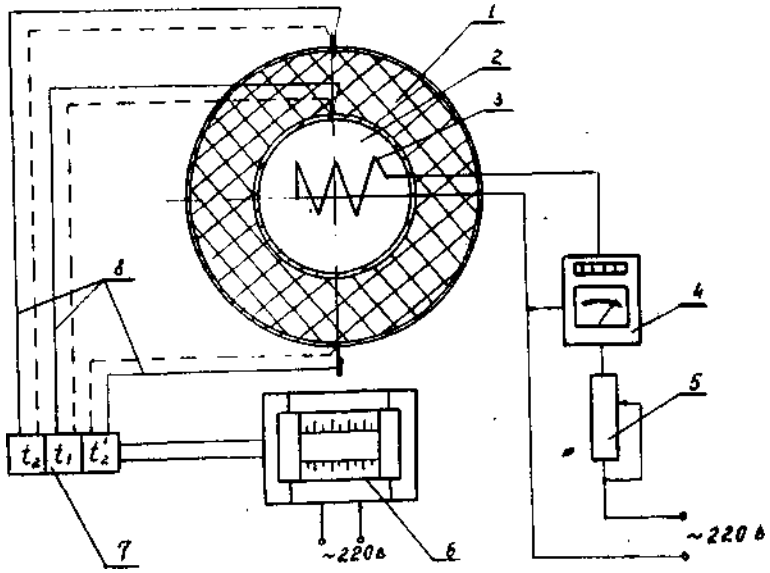
В итоге расчетную формулу для коэффициента теплопроводности с учетом (2), (4) можно записать в виде:

$$\lambda = -\frac{Q}{F\,gradT} = \frac{Q}{4\pi}\frac{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}}{T_1 - T_2} = \frac{1}{\pi}\frac{Q}{T_1 - T_2}\frac{d_2 - d_1}{2d_1 d_2} \quad \textbf{(5)}$$

Поскольку, как уже отмечалось, значение коэффициента теплопроводности большинства материалов, в том числе и исследуемого, зависит от температуры, то полученный результат следует относить к средней температуре шарового слоя.

В заключение полезно обратить внимание, что внутри одно родной шаровой стенки при установившемся тепловом режиме температура по радиусу изменяется по закону гиперболы (3), градиент температуры и плотность теплового потока ***q*** уменьшаются по направлению от внутренней поверхности к внешней, а тепловой поток Q остается одним и тем же, что и должно быть при установившемся тепловом режиме, когда температура в любой точке тела не изменяется со временем.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА



Экспериментальная установка (схема ее показана на рис. 2) состоит из двух полых тонкостенных медных шаров с диаметрами d_1 = 0,05 м и d_2 =0,15 м.. Наружный шар укреплен на подставке; внутри этого шара концентрично расположен другой шар. Между ними засыпан исследуемый сыпучий материал (фарфоровая крошка), коэффициент теплопроводности которого требуется определить.

Рис. 2. Схема установки: 1 — исследуемый сыпучий материал; 2 — сферическая камера; 3 — электрический нагреватель; 4 — ваттметр Д5004: 5 — реостат; 6 — потенциометр

Версия: AAAAAAD3jb0 Код: 000154589

показывающий с вращающимся циферблатом КВП1-503, градуировка ХК с пределом измерения 0—300° С; 7—переключатель термопар клавишный; 8 — термопары хромель-копелевые.

Во внутреннем шаре смонтирован электрический нагреватель 3. Для измерения температур внутренней (T_1) и наружной (T_2) поверхностен шарового слоя служат вмонтированные в металлические шары хромель-копелевые термопары 8: две на наружном и одна на внутреннем шарах.

В первое время после включения установки теплота, выделяемая нагревателем, затрачивается на прогрев внутреннего шара, слоя исследуемого материала и наружного шара.

По истечении некоторого времени (τ=90—120 минут) устанавливается стационарный рабочий режим работы установки. На этом режиме шаровые поверхности имеют постоянные, но разные температуры T_1 и T_2, а по слою исследуемого материала устанавливается стационарное температурное поле, описываемое уравнением (3); теплота, выделяемая нагревателем, при установившемся режиме полностью передается через стенку внутреннего шара, слой керамической крошки, стенку наружного шара в окружающим воздух.

Чтобы эксперимент был качественным, наружный шар выполнен никелированным по внешней поверхности. Это уменьшает влияние внешних источников теплового излучения (электрические лампы, приборы отопления и др.). Далее ножки подставки, на которых кренится наружный шар, делают тоньше, чтобы уменьшить местный теплоотвод от наружного шара. Теплота от наружного шара к воздуху отводится естественной конвекцией. Поэтому могут быть незначительные отличия в теплосъеме с нижней и верхней полусфер. В связи с этим температура наружного шара измеряется в двух точках (вверху T_2' и внизу T_2'') и за расчетную принимается среднеарифметическая температура

$$T_2 = (T_2' + T_2'')/2$$

Оба шара, наружный и внутренний, изготовлены из меди, имеющей большой коэффициент теплопроводности. Это уменьшает отличия, температуры по поверхностям шаров из-за местных условий их контактирования с фарфоровой крошкой, а также позволяет с большой надежностью считать граничные температуры шарового слоя равными температурам медных шаров. Спаи хромелевого и копелевого термоэлектродов для надежности теплового контакта с шарами

зачеканены в стенки, а сами термоэлектроды на расстояние ~ 5—7 мм уложены а электроизоляционной подложке по изотермическим поверхностям шаров. Это обеспечивает достоверность измерения температуры шаров в местах установки спаев (корольков) термопар, поскольку уменьшается теплоотвод механизмом теплопроводности по самим термоэлектродам. Хромель-копелевые термопары выбраны потому, что в данном диапазоне температур (T<373K) они имеют линейную и достаточно крутую характеристику *T =f(Э.* Д. С.), что облегчает их тарировку и повышает точность измерений.

Выводы термопар через переключатель подсоединены к автоматическому показывающему прибору с вращающимся циферблатом типа КВI , имеющему погрешность показаний не ниже 0,5% от диапазона измерений (класс точности прибора 0,5). Значение измеряемой температуры снимается со шкалы циферблата при нажатии соответствующей клавиши переключателя.

Тепловой поток Q который проходит через шаровую прослойку, определяется на основе закона Джоуля — Ленца по электрической мощности, потребляемой нагревателем:

$$Q=W \ [\text{Вт}],$$

W —электрическая мощность, измеряемая - ваттметром типа Д5004 класса точности 0,5.

Порядок выполнения работы следующий. Включается питание нагревателя, устанавливается мощность нагревателя *W*= 17 Вт, включается в сеть прибор измерения температуры. После установления режима, когда показывающая стрелка прибора, подключенного к термопаре на внутреннем шаре, станет неподвижной, снимаются последовательно показания температур t_1, t_2', t_3'' и электрической мощности *W*, но которым определяются температуры T_1, T_2', T_2'', T_2и тепловой поток Q.

По данным измерений с помощью формулы (5) находится коэффициент теплопроводности исследуемого материала.

РАСЧЕТЫ

T	1 C	2' C	2'' C	1	2	T	1	2		λ В т/мК
эксперимент						расчет				