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.
3 июля 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (000194057)

Теплопередача

(указывается наименование дисциплины по учебному плану)

Направление подготовки 24.03.05 Двигатели летательных аппаратов
Квалификация 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	Экзаме-нов, час.	Форма промежуточного контроля
5	3	108	38	0	16	18	36	Э
Итого	**3**	**108**	**38**	**0**	**16**	**18**	**36**	

Москва
2023

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 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 СТ

_____ _____

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

Перечисленные РО являются основой для формирования следующих компетенций:

N	Шифр	Компетенция
1	ОПК-1	Способен применять знания высшей математики и естественных наук в профессиональной деятельности
2	ОПК-2	Способен применять общеинженерные знания в профессиональной деятельности
3	ОПК-4	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
4	ОПК-7	Способен использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники

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-2.2	Использует законы и принципы общеинженерных дисциплин в своей профессиональной деятельности
5	ОПК-2.3	Решает стандартные задачи профессиональной деятельности с применением общеинженерных знаний
6	ОПК-4.1	Обладает знаниями современного развития информационных технологий в авиационной и ракетно-космической отрасли
7	ОПК-4.2	Использует современные информационные технологии для решения задач профессиональной деятельности
8	ОПК-4.3	Владеет навыками работы со стандартными прикладными пакетами ПО, применяемыми в отрасли
9	ОПК-7.3	Использует методы исследования технических систем для анализа и определения характеристик исследуемых процессов

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	Теоретические основы проектирования технологических процессов ДЛА
4	Теоретическая механика	Методы математического моделирования
5	Теория механизмов и машин	
6	Материаловедение	
7	Технология конструкционных материалов	
8	Механика жидкости и газа	
9	Термодинамика	
10	Электротехника и электроника 1	
11	Инженерная графика	
12	Учебная практика	
13	Введение в авиационную и ракетно-космическую технику	
14	Искусственный интеллект и системный анализ	
15	Математический анализ	
16	Линейная алгебра и аналитическая геометрия	
17	Дифференциальные уравнения	
18	Теория вероятностей и математическая статистика	
19	Физика 1	
20	Численные методы	
21	Компьютерная графика	
22	Алгоритмические языки и программирование	
23	Информатика	

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость практики 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	1	3	108
	Теплопроводность при стационарном режиме	4	0	4	4	12	
	Теплопроводность при нестационарном режиме	4	0	4	3	11	
	Конвективный теплообмен	6	0	4	3	13	

	Элементы теории подобия	8	0	0	1	9	
	Теплообмен излучением	4	0	4	3	11	
	Теплообменные аппараты	4	0	0	1	5	
	Теплообмен в элементах ДЛА	6	0	0	2	8	
Всего		**38**	**0**	**16**	**18**	**72**	**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	2	Теплопроводность при стационарном режиме и граничных условиях первого рода.
3	1.2.Теплопроводность при стационарном режиме	2	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	8	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	6	Теплообмен в элементах проточной части ДЛА
Итого:		**38**	

3.2. Содержание лекций

1.1.1. Основные положения теплопроводности (АЗ: 2, СРС: 1)

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: 2, СРС: 1)

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: 2, СРС: 1)

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: 1)

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: 1)

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: 8, СРС: 1)

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: 1)

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: 1)

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: 6, СРС: 2)

Тип лекции: Информационная лекция

Форма организации: Лекция

3.3 Практические занятия

Не предусмотрено учебным планом.

3.4. Лабораторные работы

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

4	1.6.Теплообмен излучением	4	Определение коэффициента лучеиспускания серого тела и степени его черноты	Термодинамики и тепломассообмена
Итого:		**16**		

3.5.Содержание лабораторных работ

1.2.1. Исследование теплофизических свойств неметаллических материалов методом шара (АЗ: 4, СРС: 2)

Форма организации: Лабораторная работа

1.3.1. Определение теплофизических свойств тела методом регулярного режима (АЗ: 4, СРС: 2)

Форма организации: Лабораторная работа

1.4.1. Определение коэффициента теплоотдачи при вынужденном течении воздуха в нагретой трубе (АЗ: 4, СРС: 2)

Форма организации: Лабораторная работа

1.6.1. Определение коэффициента лучеиспускания серого тела и степени его черноты (АЗ: 4, СРС: 2)

Форма организации: Лабораторная работа

3.6. Курсовые работы и проекты по дисциплине

3.7. Промежуточная аттестация

1. Экзамен (5 семестр)

Прикрепленные файлы: Вопросы экзаменационных билетов Теплопередача.pdf

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:

№	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 режиме	Подготовка к защите лабораторной работы Определение теплофизических свойств твердых тел методом регулярного режима

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-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
2	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
3	ОПК-4	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	Семестр -

4	ОПК-7	Способен использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники	Семестр -

Вопросы к промежуточной аттестации

"Теплопередача"

1. **Экзамен (5 семестр)**

Прикрепленные файлы: Вопросы экзаменационных билетов Теплопередача.pdf

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"	
Договор № 4855 эбс/027-1-3200-20 от 08.12.2020 с ООО "ЗНАНИУМ" С «18»12.2020 г. по «17»12.2021 г	http://znanium.com
Договор № эбс/027-1-3026-21 от 22.12.2021 с ООО "ЗНАНИУМ" С «15»12.2021 г. по «31»12.2022 г	https://znanium.com/
Договор № эбс/027-1-2586-22 от 07.12.2022 с ООО "ЗНАНИУМ" С «20»12.2022 г. по «31»12.2023 г	
ООО "Издательство Лань"	
Договор № 027-1-0234-21 от 18.02.2021 года с ООО "Издательство Лань" С «22 »_02. 2021г. по « 21» 02.2022 г	e.lanbook.com
Договор № 027-1-0234-21 от 18.02.2021 года с ООО "ЭБС Лань" С «22 »_02. 2021г. по « 21» 02.2022	
Договор № СЭБ 027-0-0400-21 от 15.09.2021 года с ООО "ЭБС Лань" С «15 »_09. 2021г. по « 14» 09.2024	
Договор № 027-1-0169-22 от 07.02.2022 года с ООО "Издательство Лань" С «22 »_02. 2022г. по « 21» 02.2023 г	
Договор № 027-1-0168-22 от 07.02.2022 года с ООО "ЭБС Лань" С «22 »_02. 2022г. по « 21» 02.2023	
ООО "Электронное издательство ЮРАЙТ"	
Электронная библиотечная система ЮРАЙТ. ЭБС "Легендарные книги"	http://biblio-online.ru, https://biblio-online.ru/catalog/legendary
Договор № 027-1-3191-20 от 04.12.2020г ООО "Электронное издательство ЮРАЙТ" для СПО С «04»12.2020 г. по «03»12.2021	https://urait.ru/
Договор № 027-1-3194-20 от 04.12.2020г. с ООО "Электронное издательства ЮРАЙТ" С «04»12.2020 г. по «03»12.2021 г	https://urait.ru/
Договор № 027-1-3034-21 от 03.12.2021г ООО "Электронное издательство ЮРАЙТ" С «04»12.2021 г. по «03»12.2022 г	https://urait.ru/
Договор № 150-1-3269-21 от 10.12.21 ООО "Электронное издательство ЮРАЙТ" для СПО	https://urait.ru/
Договор № 027-1-2554-22 от 01.12.2022г ООО "Электронное издательство ЮРАЙТ" С «04»12.2022 г. по «03»12.2023 г	
Договор № 5537 от 25.11.2022 ООО "Электронное издательство ЮРАЙТ" для СПО	
Электронная библиотека МАИ	
Электронная библиотека МАИ (собственность МАИ). Лицензионный договор № 0267-НИЧ-13 от 11.12.2013 г. с ООО "Дата Экспресс "на право использования программы для ЭВМ Автоматизированная интегрированная библиотечная система (АИБС) «МегаПро» (для размещения Электронной библиотеки МАИ)	https://elibrary.mai.ru/MegaPro/Web

Электронная библиотека Консорциума аэрокосмических вузов России	
Электронная библиотека Консорциума аэрокосмических вузов России. Соглашение о создании Консорциума вузов России "Национальный объединенный аэрокосмический университет" от 03.09.2012 г. Договор о сетевом взаимодействии от 15.12.2014 г. Соглашение от «03»09.2012 г. бессрочно	
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"	
Договор № 027-1-3051-20 от 07.12.2020 с ООО "РУНЭБ" С «07»12.2020 г. по «06»12.2028	http://elibrary.ru
Договор № 027-1-2895-21 от 03.12.2021 с ООО "РУНЭБ" С «03»12.2021 г. по «02»12.2039	
Договор № 027-133215-22 от 20.12.2022 с ООО "НЭБ" С «20»12.2022 г. по «19»12.2030	
ООО "Национальный цифровой ресурс "Руконт"	
Договор № РКТ-054/20/027-1-1129-20 от 30.05.2020 с ООО "Национальный цифровой ресурс "Руконт" С «01»06.2020 г. по «31»05.2021 г	http://text.rucont.ru/
Договор № 027-1-1235-21 от 01.06.2021 с ООО "Национальный цифровой ресурс "Руконт" С «01»06.2021 г. по «31»05.2022 г	https://text.rucont.ru/
Договор № 027-1-1467-22 от 09.06.2022 с ООО "Национальный цифровой ресурс "Руконт" С «01»06.2022 г. по «31»05.2023 г	https://text.rucont.ru/
ФГБУ "РГБ"	
Договор о предоставлении доступа к Национальной электронной библиотеке (НЭБ) №101/НЭБ/2139 от 13.11.2018г. с ФГБУ" РГБ" С «13»11. 2018 г. по «12» 11. 2023	http://нэб.рф

НП НЭИКОН	
Соглашение № 715 ДС-2011 от 16.05.2011 о сотрудничестве в Консорциуме НЭИКОН С «16» 05.2011 г с автоматическим продлением Национальная подписка на-2021 г с РФФИ Государственного задания № 075-00011-20-00	http://archive.neicon.ru
Web Of Science- https://apps.webofknowledge.com	https://apps.webofknowledge.com
Scopus- http://scopus.com	http://scopus.com
Elsevier-http://www.sciencedirect.com, http://www.elsevierscience.ru/products/science-direct, https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect/content/journal-collections, https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect/content/backfile-collections	http://www.sciencedirect.com, http://www.elsevierscience.ru/products/science-direct, https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect/content/journal-collections, https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect/content/backfile-collections http://rd.springer.com, http://www.springerprotocols.com
Математическая база данных zbMATH: http://zbMATH.org	http://zbMATH.org
American Chemical Society (ACS)- https://www.acs.org/content/acs/en.html	https://www.acs.org/content/acs/en.html
American Institute of Physics (AIP)- https://www.scitation.org/	https://www.scitation.org/
American Physical Society- https://journals.aps.org/about	https://journals.aps.org/about
EBSCO Publishing (База CASC)- http://search.ebscohost.com	http://search.ebscohost.com
Cambridge University Press (CUP)- https://www.cambridge.org/core	https://www.cambridge.org/core
IEL издательства IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers , Inc.)- https://ieeexplore.ieee.org	https://ieeexplore.ieee.org
INSPEC компании EBSCO- INSPEC	
Institute of Physics (IOP) издательства IOP Publishing- https://iopscience.iop.org/	https://iopscience.iop.org/
MathSciNet American Mathematical Society- https://www.ams.org/home/page	https://www.ams.org/home/page

Optical Society of America (OSA)- https://www.osapublishing.org/about.cfm	https://www.osapublishing.org/about.cfm
Oxford University Press- https://academic.oup.com/journals/	https://academic.oup.com/journals/
ProQuest Dissertations & Theses Global- https://search.proquest.com/index	https://search.proquest.com/index
ORBIT Intelligence - база данных QUESTEL- https://www.orbit.com/	https://www.orbit.com/
SAGE Publication- https://journals.sagepub.com/	https://journals.sagepub.com/
Annual Reviews Science Collection (AR)- https://www.annualreviews.org	https://www.annualreviews.org
JSTOR- www.jstor.org	www.jstor.org
Wiley. John Wiley & Sons.- https://onlinelibrary.wiley.com/	https://onlinelibrary.wiley.com
Национальная подписка на 2022 г с РФФИ Государственного задания	
Springer Nature:	https://link.springer.com
1. eBoock Collection: журналы, книги - https://link.springer.com	
2. Коллекция журналов и базы данных Springer Nature: https://link.springer.com	
Begell House Inc. https://www.dl.begellhouse.com/collections/6764f0021c05bd10.html	https://www.dl.begellhouse.com/collections/6764f0021c05bd10.html
China Academic Journals (CD Edition) Electronic Publishing House Co., Ltd: https://ar.cnki.net/ACADREF	https://ar.cnki.net/ACADREF
Institute of Electrical and Electronics Engineers: https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp; https://ieeexplore.ieee.org	https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp; https://ieeexplore.ieee.org
EBSCO. https://www.search.ebscohost.com/	https://www.search.ebscohost.com/
INSPEC:	
1. База данных Academic Search Premier	
2. База данных eBook Academic Collection	
3. eBook EngineeringCore Collection	
ORBIT Intelligence - база данных QUESTEL: https://www.orbit.com/	https://www.orbit.com/
SAGE Publication: https://journals.sagepub.com/	https://journals.sagepub.com/
Wiley: https://onlinelibrary.wiley.com/	https://onlinelibrary.wiley.com/

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 ореинтирована на применение компьютерной технки, 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, указаний и рекомендаций по всем видам учебной работы,

Российские сайты. http://znanium.com

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

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ 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 "Московского авиационного института (национального исследовательского университета)" кафедрой (кафедрами) .

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

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 Экзамен (5 семестр).

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (38 часов), лабораторные (16 часов) занятия и (18 часов) самостоятельной работы студента.

Приложение 2

к рабочей программе дисциплины

«Теплопередача»

Прикрепленные файлы

Вопросы экзаменационных билетов Теплопередача.pdf

Определение альфа.pdf

Методичка теплопроводность.pdf

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ПРИ СТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ.

1. Основной закон теплопроводности. Гипотеза Фурье. Коэффициент теплопроводности.
2. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Коэффициент теплопроводности.
3. Дифференциальное уравнение теплопроводности для движущейся среды.
4. Теплопроводность однослойной плоской стенки.
5. Теплопроводность многослойной плоской стенки
6. Теплопроводность цилиндрической стенки.
7. Теплопроводность многослойной цилиндрической стенки.
8. Теплопроводность шаровой стенки.
9. Критический радиус тепловой изоляции.
10. Теплопередача через многослойную цилиндрическую стенку. Критический радиус тепловой изоляции.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ

11. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Определяемые и определяющие критерии подобия при нестационарном теплообмене.

12. Теплообмен при нестационарном режиме Влияние критерия Био на распределение температур в теле.
13. Регулярный режим первого рода и его использование для экспериментального определения коэффициента теплоотдачи.
14. Регулярный режим второго рода. Понятие тепловой инерции тела.
15. Регулярные режимы нестационарного теплообмена. Применение метода регулярного режима первого рода для определения коэффициента теплопроводности.

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ

16. Теория подобия. Константы и индикаторы подобия. Однородные величины и явления.
17. Теория подобия. Определяемые и определяющие критерии подобия. Геометрическое, газодинамическое и тепловое подобие.
18. Теория подобия. Определяющие критерии подобия при вынужденной и свободной конвекции. Определяющая температура и характерный размер.
19. Теория подобия. Определяемые и определяющие критерии подобия при нестационарном теплообмене.
20. Теория подобия. Теория подобия в применении к пограничному слою. Закон Ньютона.

21. Теория подобия. Общий вид критериальных зависимостей для различных задач конвективного теплообмена. Физический смысл критериев подобия.

КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН

22. Расчет теплообмена на плоской пластине.
23. Расчет теплообмена в трубе круглого сечения.
24. Расчет теплообмена при свободной конвекции на вертикальной нагретой пластине.
25. Расчет теплообмена при свободной конвекции на вертикальном цилиндре.
26. Расчет теплообмена при свободной конвекции на горизонтальном цилиндре.
27. Расчет теплообмена в области критической точки. Определяющие критерии подобия.

ТЕПЛООБМЕН ПРИ БОЛЬШИХ СКОРОСТЯХ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУПАХ ГАЗОВОГО ПОТОКА

28. Связь между напряжениями и скоростями деформации в жидкости. Гипотеза Ньютона. Касательные напряжения.
29. Уравнения Навье-Стокса.

30. Связь между теплообменом и трением.
31. Несжимаемая и сжимаемая среда (начиная с какой скорости необходимо учитывать сжимаемость среды? или где граница большой и малой скорости?).
32. Особенности расчета теплообмена на плоской пластине при большой скорости потока.

ЛУЧИСТЫЙ ТЕПЛООБМЕН

33. Законы излучения абсолютно черного и серого тел и их применимость при расчете излучения реальных тел.
34. Расчет лучистого теплообмена между телами. Различные случаи теплообмена. Бесконечные плоские параллельные поверхности.
35. Защита от излучения с помощью экранов.

СВЕДЕНИЯ О ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ

36. Различные схемы теплообменных аппаратов.
37. Оценка их эффективности.

Министерство общего и профессионального образования
Российской Федерации
Московский авиационный технологический университет-
Российский государственный технологический университет
им. К. Э. Циолковского
Кафедра “Технология производства авиационных двигателей”

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ ВЫНУЖДЕННОМ ТЕЧЕНИИ ВОЗДУХА В НАГРЕТОЙ ТРУБЕ

Методические указания к лабораторной работе
по курсу “Теплопередача ”

Составители: С.В.Бабин
Н.С.Суров

Москва 2009

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Nu – критерий Нуссельта
Re - критерий Рейнольдса
α - средний коэффициент теплоотдачи
$\lambda_ж$ - коэффициент теплопроводности
d - диаметр
T - абсолютная температура
t - температура по шкале Цельсия
Δt – температурный напор
F – площадь поверхности трубы
Q – полное количество тепла, переданное через поверхность
$G_в$ – массовый расход воздуха
f – площадь поперечного сечения
ρ - плотность воздуха
μ - коэффициент расхода мерной шайбы
$\Delta H_ш$ – перепад давления на мерной шайбе
$P_б$ – барометрическое давление
$t_ж'$ – температура охлаждающего воздуха на входе в трубу
$t_ж''$ – температура на выходе из экспериментального участка трубы
c – средняя скорость воздуха в трубе
ν - коэффициент кинематической вязкости воздуха
L – длина опытного участка трубы
U – напряжение на спирали
J - сила тока в спирали
U_i – показания термопар в μВ

ОСНОВНЫЕ ИНДЕКСЫ

ж – величина относится к охлаждающей жидкости
ср – среднее значение величины
ст – величина относится к стенке
ш – величина относится к параметрам мерной шайбы
i – порядковый номер термопары
м – местное значение величины

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

Цель настоящей работы:

- познакомить студентов с одним из способов экспериментального определения среднего коэффициента теплоотдачи при вынужденном течении воздуха в гладкой цилиндрической трубе;
- найти этот коэффициент экспериментальным путем, используя опытную установку;
- получение практических навыков проведения расчётов по критериальным уравнениям , с использованием элементов теории подобия для нахождение среднего коэффициента теплоотдачи расчетным путем.

2. ЗАДАНИЕ

Для выполнения лабораторной работы следует:

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями, содержащимися в настоящем описании.
2. Ознакомиться с установкой, измерительными приборами и порядком проведения опыта.
3. Провести эксперимент.
4. Обработать полученные данные и определить опытную величину коэффициента теплоотдачи.
5. Рассчитать, используя опытные результаты, коэффициент теплоотдачи по критериальному уравнению.
6. Сопоставить экспериментальное и расчётное значения коэффициентов теплоотдачи.

3 .КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ.

При течении воздуха по нагретой трубе тепло передаётся от поверхности трубы к воздуху. **Количество тепла , которое передаётся воздуху с единицы поверхности в единицу времени при температурном напоре между стенкой и воздухом в один градус , называется коэффициентом теплоотдачи и обычно обозначается через α.** Количество тепла dQ , которое переносится с поверхности dF при температурном напоре $\Delta t = t_{ст\ м} - t_{ж\ м}$ за единицу времени , определяется по уравнению

$$dQ = \alpha_м(t_{ст\ м} - t_{ж\ м})\, dF . \qquad (1)$$

Коэффициент теплоотдачи $\alpha_м$ зависит от большого количества факторов:;

- физических свойств и режима движения жидкости;
- температуры стенки($t_{ст\ м}$) и воздуха ($t_{ж\ м}$);
- условий входа воздуха в трубу и т.д.

Многие из этих факторов существенно изменяются по длине трубы [l], что необходимо учитывать при определении количества тепла

$$Q = \pi d \int_0^L \alpha_м (t_{ст\ м} - t_{ж\ м})\, dL, \qquad (2)$$

которое передаётся через всю поверхность $F = \pi dL$.

В целях упрощения расчётов пользуются значениями средних по длине трубы коэффициента α и температур стенки ($t_{ст}$) и воздуха ($t_ж$). В этом случае (2) можно записать в виде

$$Q = \alpha(t_{ст} - t_ж)F\ . \qquad (3)$$

Из (3) определяется среднее по длине трубы значение коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{Q}{(t_{ст} - t_ж)F}. \qquad (4)$$

В газообразной среде теплопередача осуществляется теплопроводностью и конвекцией, суммарный процесс называется конвективным теплообменом. Различают конвективный теплообмен при естественной конвекции, когда движение вызвано разностью плотностей в различных точках среды и теплообмен при вынужденном течении , например , под действием разности давлений. В обоих случаях интенсивность теплообмена зависит от режима (ламинарного или турбулентного) течения газа.

В данной работе исследуется теплоотдача при вынужденном и развитом турбулентном движении газа.

Как известно, режим течения определяется величиной критерия Рейнольдса

$$Re = cd/\nu\ , \qquad (5)$$

который является мерой отношения динамических сил к силам вязкости.

Развитый турбулентный режим имеет место при

$$Re \geq 10^4$$

На величину коэффициента теплоотдачи существенное влияние оказывает начальный участок трубы. Однако при длине трубы

$$L \geq 15d$$

средний коэффициент теплоотдачи практически не зависит от условий входа воздуха в трубу.

При вынужденном течении воздуха в прямой гладкой трубе и развитом турбулентном режиме движения ($Re \geq 10000$) различными авторами получено большое количество экспериментальных данных по средним значениям коэффициентов теплоотдачи. Эти данные обработаны с помощью методов теории подобия, в результате чего получено критериальное уравнение:

$$Nu=0{,}018\ Re^{0{,}8}, \qquad (6)$$

где $Nu = \alpha d / \lambda_ж$ - критерий Нуссельта, являющийся мерой отношения переноса тепла за счёт конвекции к переносу его за счёт теплопроводности.

В состав критериев Nu и Re входят теплофизические константы жидкости, которые относятся к среднеарифметической по длине трубы определяющей температуре.

4. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Схема установки для проведения экспериментов показана на рис.1. Экспериментальный участок представляет собой горизонтальную алюминиевую трубу (4), внутренний диаметр которой $d = 18{,}9*10^{-3}$ м, а длина $L = 1$ м. Охлаждающий воздух течёт в направлении стрелки под действием вентилятора (8) через экспериментальный участок, мерную шайбу (5), а затем выбрасывается в атмосферу. Чтобы вибрации от вентилятора при его работе не передавались на трубу, между трубой и вентилятором поставлен гибкий шланг 7).Расход воздуха через трубу регулируется изменением положения заслонки (6), а измеряется с помощью мерной шайбы (5) и водяного манометра (9).Тепло подводится к поверхности трубы от основного электрического нагревателя (15), представляющего собой нихромовую проволоку, равномерно намотанную на наружной поверхности опытного участка трубы (4). Количество тепла, подводимого к поверхности трубы и передаваемого затем охлаждающему воздуху, в отсутствие утечек при стационарном режиме равно электрической мощности, подводимой к основному нагревателю. Эта мощность регулируется с помощью автотрансформатора (19) и вычисляется по показаниям амперметра (11) и вольтметра (18).

Для исключения утечек тепла от основного нагревателя в окружающую среду через боковую поверхность и сокращения времени выхода установки на стационарный тепловой режим работы кроме слоя теплоизоляции (13) используется дополнительный компенсационный нагреватель (14). Мощность, подво-

димая к этому нагревателю, регулируется автотрансформатором (12) и определяется по показаниям амперметра (17) и вольтметра (16). Потери тепла через торцы трубы, как показывают оценки, малы и ими можно пренебречь.

При проведении опыта электрическая мощность, подводимая к компенсационному нагревателю, регулируется так, чтобы при неизменных расходе воздуха через трубу и мощности основного нагревателя милливольтметр (1) показывал отсутствие напряжения на дифференциальной термопаре (2). В этом случае тепловой поток от основного нагревателя через боковую поверхность теплоизоляции в окружающую среду будет исключён. Поскольку воздух в трубу всасывается непосредственно из помещения лаборатории, то температуру ($t_ж'$) воздуха на входе в трубу можно принять равной температуре ($t_к$) его в комнате:

$$t_ж' = t_к ,$$

которая измеряется термометром, установленным в комнате.

Температура ($t_ж''$) воздуха на выходе из экспериментального участка принимается равной температуре на оси трубы и измеряется хромель-алюмелевой термопарой (1), спай которой помещён на оси потока.

Температура в различных точках экспериментального участка стенки трубы измеряется с помощью хромель-алюмелевых термопар (2 – 6), спаи которых заделаны на наружной поверхности трубы с интервалом $L_т$ =0,2 м по её длине. При обработке опытных данных принимается, что температура внутренней и наружной поверхностей стенки трубы одинаковы и равны $t_{ст\,i}$, т.к. перепад температуры по толщине алюминиевой стенки мал из-за её большой теплопроводности.

Регистрация напряжения на всех термопарах (кроме дифференциальной) осуществляется многоточечным самопишущим прибором КСП –4.

При определении массового расхода воздуха через трубу падение давления ($\Delta H_ш$) на мерной шайбе (5), как уже указывалось, замеряется с помощью манометра (9), а снижение давления ($\Delta H_{тр}$) перед мерной шайбой по сравнению с давлением ($P_б$) в окружающей среде, вызванное различными причинами, замеряется водяным манометром (10).

5 . ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

1.Включить вентилятор (8) и прибор КСП – 4, записывающий показания термопар, зачеканенных в трубе.

2. Включить основной и компенсационный нагреватели.

3. Отрегулировать по перепаду ($\Delta H_ш$) давления на шайбе (5) величину массового расхода воздуха, а, следовательно, и скорость его течения через трубу. При этом расход воздуха и мощность, подводимая к основному нагревателю, выбираются произвольно, но с учётом рабочего диапазона изменения этих параметров на установке.

4. Отрегулировать по показаниям милливольтметра (1) величину мощности, подводимой к компенсационному нагревателю (14) таким образом, чтобы стрелка милливольтметра при установившемся режиме работы установки была на нуле. Тепловой режим работы можно считать примерно установившимся, когда показания всех термопар, регистрируемые на ленте КСП – 4, не изменяются без дополнительной регулировки в 3-х - 4-х точках, следующих друг за другом.

5. На стационарном режиме работы установки замерить:

а) силу тока (J) и напряжение (U) на основном нагревателе с помощью амперметра (11) и вольтметра (18).

б) перепад давления ($\Delta H_ш$) на мерной шайбе (5) с помощью водяного манометра (9) и понижение ($\Delta H_{тр}$) давления перед шайбой по сравнению с давлением в окружающей среде с помощью манометра (10).

в) температуру ($t_ж'$) и давление ($P_б$) воздуха на входе в трубу по термометру и барометру, находящимися в помещении лаборатории.

6. Все показания приборов записать в журнал наблюдений (таблица №1).

7. Отключить установку от сети.

8. Снять ленту с записанными показаниями термопар с прибора КСП–4.

6. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА.

Обработку результатов экспериментов рекомендуется проводить в такой последовательности:

1. Показания термопар в милливольтах с ленты КСП–4 записать в журнал наблюдений.

2. Используя график (рис.2), найти температуру ($t_{ст\,i}$) в каждой из пяти точек стенки трубы, а также температуру воздуха на выходе из трубы $t_ж''$ по уравнениям:

$$t_{ст\,i} = (t_{i\,o} + t_к),° C,$$

$$t_ж'' = (t_{ж\,o} + t_к),° C,$$

где $t_{i\,o}$ и $t_{ж\,o}$ –температуры, найденные по графику. Результаты расчётов записать в таблицу № 2 (Результаты расчёта).

3. Построить по данным п.2 графики (рис.3) изменения температуры стенки и температуры охлаждающего воздуха по длине трубы. При этом считать, что $t' = t_к$, а температура воздуха вдоль трубы изменяется линейно.

4. По данным п.2 найти среднюю арифметическую температуру стенки вдоль трубы.

$$t_{ст} = 1/5(t_{ст\,1} + t_{ст\,2} + \ldots + t_{ст\,5}),°C.$$

5. Построить линию средней температуры стенки на графике (рис. 3).

6. По данным п. 2 найти среднюю арифметическую по длине трубы температуру воздуха:

$$t_ж = (t_ж' + t_ж'') / 2 \text{ ,°C.}$$

7. Построить линию средней по длине трубы температуры воздуха на графике (рис. 3).

8. Определить средний между стенкой и жидкостью температурный напор по уравнению:

$$\Delta t_{ср} = (t_{ст} - t_ж) °C$$

9. Определить количество тепла. подводимого к основному нагревателю за секунду:

$$Q = JU \quad Вт.$$

10. Найти по уравнению (4) величину экспериментального коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha = Q/(F\Delta t_{ср}) \quad [Вт/м^2гр].$$

Здесь площадь поверхности трубы вычисляется по уравнению:

$$F = \pi dL \text{ м}^2,$$

где $d = 18{,}9*10^{-3}$ м, а l=1 м.

7. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ.

Расчет среднего коэффициента теплоотдачи ($\alpha_р$) осуществляется на основе критериального уравнения (6), которое после преобразования приводится к виду:

$$\alpha_р = 0{,}018\ (\lambda_ж / d)\ Re^{0,8}\ [Вт/м^2гр]\ . \qquad (7)$$

В этом уравнении $d = 18{,}9*10^{-3}$ м - определяющий размер, коэффициент теплопроводности ($\lambda_ж$) находится по средней температуре ($t_ж$) жидкости из графика на рис.6.

Величина критерия Рейнольдса вычисляется по уравнению (5), в котором $d = 18{,}9*10^{-3}$ м, а коэффициент вязкости (ν) определяется по средней температуре ($t_ж$) жидкости из графика на рис. 5.

Средняя скорость (с) движения воздуха в трубе находится из уравнения массового расхода.

$$G_в = c\rho_{ср} f_{тр}\ [кг/с]\ , \qquad (8)$$

где расход определяется по соотношению :

$$G_в = f_ш \mu\sqrt{(2g\Delta H_ш\rho_ш)} \ \ [кг/с] \qquad (9)$$

Приравнивая правые части (8) и (9) с учётом того, что $f_{тр}=\pi d^2/4$ и $f_ш=\pi d^2_ш/4$, получим после подстановок и преобразований уравнение для вычисления скорости

$$C= \mu d_ш^2\sqrt{(2g\Delta H_ш\rho_ш)} / d^2\rho_{ср} \ \ , [м/с] \qquad (10)$$

В этом уравнении коэффициент расхода мерной шайбы μ =0,8; диаметр проходного сечения шайбы $d_ш = 16\cdot10^{-3}$ м, $d=18,9\cdot10^{-3}$ м ускорение свободного падения g=9,81 м/с ^{2}, падение давления на шайбе $\Delta H_ш$ подставлять в мм. вод. столба, плотность ($\rho_{ср}$) воздуха в трубе определяется по средней температуре ($t_ж$) из графика на рис. 4, а плотность воздуха ($\rho_ш$) перед шайбой из того же графика по температуре - $t_ж$''.

По найденным параметрам определяется критерий Рейнольдса, а затем по уравнению (7) вычисляется коэффициент теплоотдачи ($\alpha_р$).
После нахождения опытного (α) и расчетного ($\alpha_р$) значений коэффициентов теплоотдачи необходимо сравнить их между собой, используя формулу:

$$\delta\alpha = (\alpha - \alpha_р) / \alpha_р \cdot 100\% .$$

В случае значительного несовпадения α и $\alpha_р$ необходимо дать анализ возможных причин несовпадения.

8. ОФОРМЛЕНИЕ И СДАЧА РАБОТЫ

Результаты проведенной лабораторной работы представляются студентом преподавателю на оформленном листе отчета. Оформленный лист отчета должен содержать:

1. Принципиальную схему установки.
2. Краткие сведения из теории.
3. Заполненные таблицы: а) журнал наблюдений,
   б) результаты расчета.
4. Все необходимые расчеты и полученные графики.

При сдаче работы студент должен уметь объяснить содержание работы, устройство экспериментальной установки, ее работу, методы определения всех найденных величин, порядок проведения расчетов и эксперимента.

9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется коэффициентом теплоотдачи ?
2. Что называется определяющей температурой ?
3. Как зависит величина коэффициента теплоотдачи от режима течения газа в трубе ?
4. Каков физический смысл критерия Нуссельта ? Критерия Рейнольдса ?
5. От каких основных факторов зависит величина коэффициента теплоотдачи?
6. Каков порядок нахождения скорости течения воздуха в трубе при проведении эксперимента на установке ?
7. Что такое конвективный теплоперенос ?
8. Каков порядок проведения эксперимента на установке ?
9. Как измеряется расход воздуха через трубу ?

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория тепломассообмена 1970.
2. Болгарский А.В. и др. Термодинамика и теплоотдача. М. 1975.
3. Осипова в.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. М. 1969.

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ Таблица 1

U,B	J,A	t_k °C	$P_б$ мм Hg	$\Delta H_ш$ мм H_2O	Показания потенциометра ,μB					
					1	2	3	4	5	6

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТОВ Таблица 2

$\Delta t_{ср}$ °C	c м/с	$t_ж$ ° C	Re	α $\frac{Вт}{м^2гр}$	$\alpha_р$ $\frac{Вт}{м^2гр}$	Температура поверхности трубы °C					$t_ж$”
						тст 1	тст 2	тст 3	тст 4	тст 5	

БАБИН СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, СУРОВ НИКОЛАЙ СЕРГЕЕВИЧ

« ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ
ПРИ ВЫНУЖДЕННОМ ТЕЧЕНИИ ВОЗДУХА
В НАГРЕТОЙ ТРУБЕ»

Методические указания к лабораторной работе
по курсу «ТЕПЛОПЕРЕДАЧА».

Редактор А.Н. Прохорова.

Корректор Т.О. Сергеева.

Подп. в печ. 2.06. 97 г. Объём 1 п.л. Зак. 590 Тираж 20.

Типография МАТИ ул.Оршанская 3.

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 тол-

щиной 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.

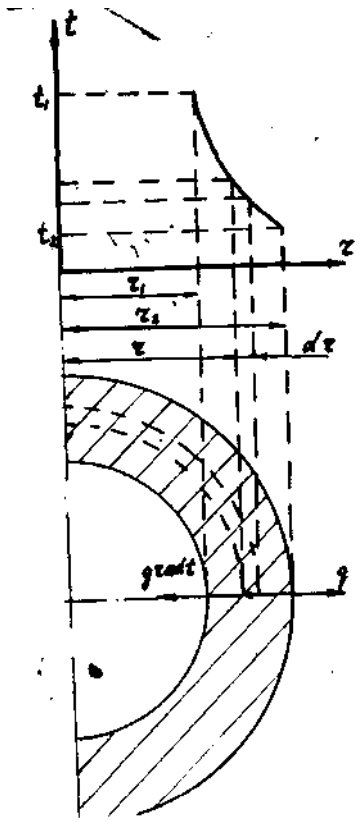


Рис. 1. Схема переноса тепла через шаровой слой.

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

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

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=> T_1= T_2, при r = r_2=>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:

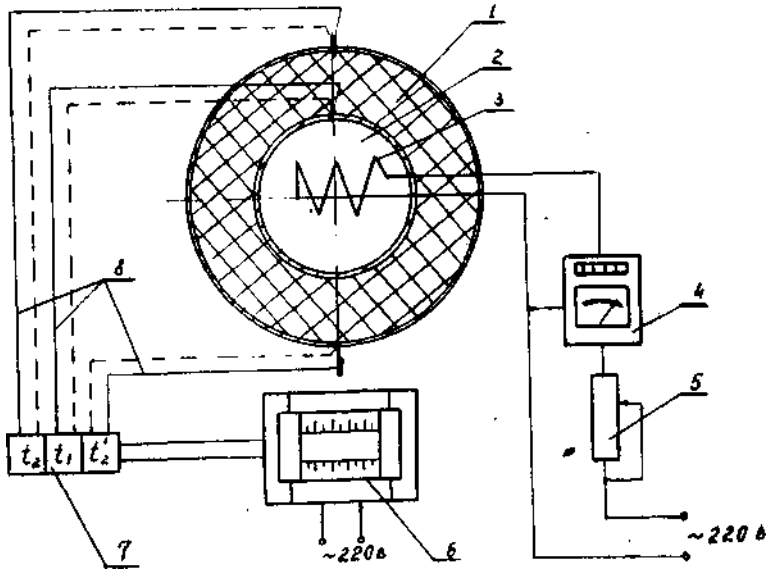
$$\lambda = -\frac{Q}{F\,gradT} = \frac{Q}{4\pi}\frac{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}}{T_1 - T_2} = \frac{1}{\pi}\frac{Q}{T_1 - T_2}\frac{d_2 - d_1}{2d_1 d_2} \quad \textbf{(5)}$$

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 теплопровод-



ности которого требуется определить.

Рис. 2. Схема установки: 1 — исследуемый сыпучий материал; 2 — сферическая камера; 3 — электрический нагреватель; 4 — ваттметр Д5004: 5 — реостат; 6 — потенциометр 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 (Т<373К) они имеют линейную и достаточно крутую характеристику *Т =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 [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

W Вт	t_1 ^{0}C	t_2' ^{0}C	t_2'' ^{0}C	d_1 м	d_2 м	Q Вт	T_1 К	T_2 К	$\frac{d_2-d_1}{d_1 d_2}$	λ Вт/мК
эксперимент						расчет				