Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 25.06.2026 12:15:50
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Транспортный факультет

УТВЕРЖДАЮ
И.о. декана
/М.Р. Рыбакова/
«26» февраля 2026 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕПЛООБМЕН И ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Направление подготовки/ специальность
13.03.03 «Энергетическое машиностроение»

Профиль/ специализация
Поршневые двигатели и турбомашины

Квалификация
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Москва, 2026

Разработчик(и):
Ст. преподаватель  / А.В. Колесников /

Согласовано:
Заведующий кафедрой «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики», д.т.н.  /Г.Г. Надарейшвили/

Оглавление

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 4
3. Структура и содержание дисциплины (ДОБАВЛЕН) 5
3.1. Виды учебной работы и трудоемкость 6
3.2. Тематический план изучения дисциплины 6
3.3. Содержание дисциплины 7
3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий 8
3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ) 10
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение 10
4.1. Нормативные документы и ГОСТы 10
4.2. Основная литература 11
4.3. Дополнительная литература 11
4.4. Электронные образовательные ресурсы 11
4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение 12
4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы 12
5. Материально-техническое обеспечение 13
6. Методические рекомендации 13
6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения 13
6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 14
7. Фонд оценочных средств 15
7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения 15
7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения 17
7.3 Оценочные средства 19

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью освоения дисциплины является формирование у обучающихся теоретических знаний и практических навыков в области теории теплообмена, методов расчёта тепловых процессов и проектирования теплообменных аппаратов, необходимых для обеспечения оптимального теплового состояния поршневых двигателей и турбомашин, а также для разработки эффективных систем охлаждения, смазки и утилизации теплоты на третьем этапе сквозного проектирования «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация».

Задачами дисциплины являются:

- изучение фундаментальных законов и механизмов переноса теплоты (теплопроводности, конвективного теплообмена, теплового излучения);
- освоение методов расчёта стационарных и нестационарных температурных полей в деталях и узлах энергетических установок;
- формирование навыков определения коэффициентов теплоотдачи при различных условиях течения теплоносителей (свободная и вынужденная конвекция, фазовые переходы);
- изучение классификации, конструктивных схем и принципов действия теплообменных аппаратов различного назначения (радиаторов, маслоохладителей, интеркулеров, рекуператоров, котлов-утилизаторов);
- приобретение навыков теплового и гидравлического расчёта теплообменных аппаратов, включая определение необходимой поверхности теплообмена, компоновку и выбор конструктивных параметров;
- освоение методов интенсификации теплообмена и оценки эффективности работы теплообменного оборудования;
- формирование умения выполнять расчёты тепловых балансов двигателя и распределения тепловых потоков по элементам конструкции;
- изучение методов экспериментального исследования теплообменных процессов и аппаратов.

В результате освоения дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ПК-2. Способен проводить расчетно-теоретические исследования узлов и систем поршневых двигателей и турбомашин с применением методов математического и компьютерного моделирования (CAE)	**ИПК-2.8.** Способен проводить расчёт и анализ теплового состояния теплонапряжённого узла с применением методов сопряжённого теплообмена

Роль дисциплины в формировании компетенций:

Обеспечивающая. Дисциплина формирует навыки расчёта теплопередачи, теплового состояния деталей и теплообменных аппаратов, применяемых в энергетических установках. Студенты изучают механизмы переноса теплоты (теплопроводность, конвекция, излучение), методы расчёта теплопередачи через плоские и цилиндрические стенки, основы конвективного теплообмена и критерии подобия (Nu, Re, Pr, Gr). В ходе практических занятий осваиваются расчёты теплообменных аппаратов (радиаторов, интеркулеров, маслоохладителей) и определения температурных полей в деталях. Полученные знания и навыки являются основой для проведения расчёта и анализа теплового состояния теплонапряжённых узлов (поршень, головка блока, клапаны, лопатки турбины) с применением методов сопряжённого теплообмена (СНТ) в CAE-среде (ИПК-2.8).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина **«Теплообмен и теплообменные аппараты в энергетическом машиностроении»** относится к **части блока Б.1, формируемой участниками**

образовательных отношений учебного плана (код дисциплины: Б1.2.6) и изучается в **5-м семестре**.

Данная дисциплина является **ключевой для третьего этапа сквозного проекта «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация»**, обеспечивая знания и навыки, необходимые для теплового расчёта деталей, проектирования систем охлаждения, смазки и теплообменных аппаратов разрабатываемого двигателя.

Изучение дисциплины базируется на знаниях, умениях и навыках, полученных при освоении следующих дисциплин и курсов:

- **Термодинамика** (Б1.1.17, 3 семестр): знание законов термодинамики, свойств рабочих тел и энергетических балансов является фундаментом для изучения теплообмена.
- **Вычислительная гидрогазодинамика в проектировании и верификации двигателей** (Б1.1.19, 4-5 семестры): знание гидродинамики необходимо для расчёта конвективного теплообмена и движения теплоносителей в аппаратах.
- **Физика** (школьный курс, а также дисциплина «Физика» (Б1.1.26.3, 2-3 семестры): знание основ молекулярно-кинетической теории и тепловых процессов необходимо для понимания механизмов теплообмена.
- **Математика** (школьный курс, а также дисциплины «Линейная алгебра» (Б1.1.26.1, 1 семестр) и «Математический анализ» (Б1.1.26.2, 2 семестр): владение дифференциальными уравнениями, методами их решения необходимо для анализа температурных полей.
- **Конструкция поршневых двигателей** (Б1.2.2, 2 семестр): знание конструкции двигателя и его систем необходимо для понимания объектов теплового расчёта.
- **Теория рабочих процессов поршневых двигателей** (Б1.1.20, 4 семестр): тепловой баланс двигателя и температуры рабочего тела являются исходными данными для расчётов теплообмена.

Основные положения дисциплины используются в дальнейшем при изучении следующих дисциплин и освоении элементов образовательной программы, обеспечивая завершение третьего и переход к четвёртому этапу сквозного проекта:

- **Конструирование и расчет механизмов энергетических установок** (Б1.1.22, 5-6 семестры) и **Конструирование поршневых двигателей** (Б1.2.8, 6 семестр): результаты тепловых расчётов используются для оценки теплового состояния и выбора материалов деталей (III этап).
- **Расчет и оптимизация деталей двигателя** (Б1.2.9, 6 семестр): методы сопряжённого теплообмена применяются для термомеханического анализа деталей (III этап).
- **Системы поршневых двигателей** (Б1.2.5, 5 семестр): системы охлаждения и смазки проектируются на основе тепловых расчётов (III этап).
- **Агрегаты наддува** (Б1.2.7, 6 семестр): теплообменники системы наддува (интеркулеры) рассчитываются методами данной дисциплины (III этап).
- **Методы испытаний поршневых двигателей и турбомашин** (Б1.2.14, 7 семестр): тепловые характеристики проверяются экспериментально (IV этап).
- **Экология и токсичность поршневых двигателей** (Б1.2.17, 7 семестр): температурные режимы влияют на образование токсичных компонентов и эффективность систем нейтрализации.
- **Комбинированные энергетические установки** (Б1.2.20, 8 семестр): требуют расчёта систем утилизации теплоты и теплообменных аппаратов (V этап).
- Все последующие дисциплины, связанные с расчётом, конструированием и доводкой двигателей, а также подготовка и защита выпускной квалификационной работы.

3. Структура и содержание дисциплины (ДОБАВЛЕН)

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

3.1. Виды учебной работы и трудоемкость

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры
			5
1	**Аудиторные занятия**	**72**	**72**
	В том числе:		
1.1	Лекции	36	36
1.2	Семинарские/практические занятия	18	18
1.3	Лабораторные занятия	18	18
2	**Самостоятельная работа**	**72**	**72**
3	**Промежуточная аттестация**		
	Зачет	Зачет	Зачет
	Итого	**144**	**144**

3.2. Тематический план изучения дисциплины

№ п/п	Название раздела / темы	Всего часов	Аудиторная работа	Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
Семестр 5	**Теплообмен и теплообменные аппараты**						
1	Тема 1. Введение. Основные механизмы переноса теплоты	10	4	2	2	—	6
2	Тема 2. Теплопроводность	16	8	4	2	2	8
3	Тема 3. Конвективный теплообмен	20	10	4	4	2	10
4	Тема 4. Тепловое излучение	12	6	4	—	2	6
5	Тема 5. Теплопередача	16	8	4	2	2	8

№ п/п	Название раздела / темы	Всего часов	Аудиторная работа	Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
6	Тема 6. Классификация и конструкции теплообменных аппаратов	12	6	4	2	—	6
7	Тема 7. Тепловой и гидравлический расчёт теплообменных аппаратов	20	10	4	4	2	10
8	Тема 8. Методы интенсификации теплообмена	12	6	4	—	2	6
9	Тема 9. Экспериментальные методы исследования теплообмена	14	8	4	2	2	6
	Подготовка к зачёту	12	—	—	—	—	12
	Итого за семестр	**144**	**72**	**36**	**18**	**18**	**72**

3.3. Содержание дисциплины

Тема 1. Введение. Основные механизмы переноса теплоты

Роль теплообмена в обеспечении работоспособности поршневых двигателей и турбомашин. Место дисциплины в сквозном проектировании. Тепловые балансы двигателей. Основные механизмы переноса теплоты: теплопроводность, конвекция, тепловое излучение. Основные понятия и определения: температурное поле, градиент температуры, тепловой поток, плотность теплового потока.

Тема 2. Теплопроводность

Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности, его физический смысл, зависимость от температуры и структуры материала. Теплопроводность металлов, жидкостей, газов. Стационарная теплопроводность плоской стенки. Температурное поле, тепловой поток. Термическое сопротивление теплопроводности. Стационарная теплопроводность цилиндрической стенки. Температурное поле, тепловой поток. Логарифмическое распределение температуры. Теплопроводность многослойной плоской и цилиндрической стенки. Общее термическое сопротивление. Нестационарная теплопроводность. Критерий Фурье. Регулярный режим.

Тема 3. Конвективный теплообмен

Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи, его физический смысл, факторы, влияющие на его величину. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Ламинарный и турбулентный режимы течения. Влияние режима течения на теплоотдачу. Критерии подобия в конвективном теплообмене: число Нуссельта (Nu), число Рейнольдса (Re), число Прандтля (Pr),

число Грасгофа (Gr). Их физический смысл. Критериальные уравнения для расчёта теплоотдачи при вынужденной конвекции в трубах и каналах. Уравнение Михеева. Теплоотдача при свободной конвекции. Критериальные уравнения для свободной конвекции. Теплообмен при фазовых переходах: кипение и конденсация. Особенности теплоотдачи при кипении и конденсации. Кризис кипения.

Тема 4. Тепловое излучение

Природа излучения. Спектр электромагнитных волн. Основные понятия: излучательная способность, поглощательная способность, коэффициент поглощения. Законы теплового излучения: закон Планка, закон Вина, закон Стефана-Больцмана, закон Кирхгофа, закон Ламберта. Теплообмен излучением между телами. Приведённая степень черноты. Угловые коэффициенты излучения. Экранирование теплового излучения.

Тема 5. Теплопередача

Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенку. Коэффициент теплопередачи. Термическое сопротивление теплопередачи. Теплопередача через оребрённую стенку. Эффективность оребрения. Критерии эффективности оребрения. Сопряжённый теплообмен (СНТ): определение, применение для расчёта теплонапряжённых узлов. Особенности сопряжённых задач теплопередачи.

Тема 6. Классификация и конструкции теплообменных аппаратов

Классификация теплообменных аппаратов по принципу действия (рекуперативные, регенеративные, смесительные), по направлению движения теплоносителей (прямоточные, противоточные, перекрёстные, смешанные), по конструкции (кожухотрубные, пластинчатые, ребристые, спиральные). Конструктивные схемы теплообменных аппаратов, применяемых в двигателестроении: радиаторы, маслоохладители, интеркулеры, рекуператоры. Материалы для изготовления теплообменных аппаратов.

Тема 7. Тепловой и гидравлический расчёт теплообменных аппаратов

Тепловой баланс теплообменного аппарата. Уравнение теплового баланса. Тепловая производительность. Средний температурный напор. Определение среднелогарифмического температурного напора для прямоточной и противоточной схем. Поправочный коэффициент для сложных схем движения теплоносителей. Уравнение теплопередачи для теплообменного аппарата. Коэффициент теплопередачи для теплообменного аппарата. Конструктивный и поверочный расчёты теплообменных аппаратов. Последовательность расчёта. Гидравлический расчёт теплообменных аппаратов. Потери давления в аппарате. Коэффициенты гидравлического сопротивления. Эффективность теплообменных аппаратов. Метод ε-NTU (эффективность — число единиц переноса). Определение эффективности для различных схем движения теплоносителей.

Тема 8. Методы интенсификации теплообмена

Методы интенсификации теплообмена: оребрение, турбулизация потока, применение вихревых вставок, использование теплоносителей с высокими теплофизическими свойствами. Тепловые трубы: принцип действия, конструкция, применение. Оценка эффективности методов интенсификации. Критерии эффективности интенсификации.

Тема 9. Экспериментальные методы исследования теплообмена

Измерение температур: термопары (принцип действия, типы, применение), термометры сопротивления (принцип действия, типы, применение), пирометры. Измерение тепловых потоков: тепломеры, калориметрические методы. Измерение расходов теплоносителей: расходомеры переменного перепада давления, электромагнитные, ультразвуковые, кориолисовые. Обработка результатов эксперимента. Оценка погрешностей измерений. Сравнение экспериментальных данных с расчётными.

3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практического занятия	Трудоемкость (час.)
1	Тема 1	Расчёт теплового баланса двигателя	2

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практического занятия	Трудоемкость (час.)
2	Тема 2	Расчёт теплового потока через плоскую стенку	2
3	Тема 2	Расчёт теплопередачи через цилиндрическую стенку	2
4	Тема 3	Определение коэффициента теплоотдачи при вынужденной конвекции	2
5	Тема 3	Определение коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции	2
6	Тема 5	Расчёт теплопередачи через оребрённую стенку	2
7	Тема 6	Анализ конструктивных схем теплообменных аппаратов	2
8	Тема 7	Расчёт среднего температурного напора	2
9	Тема 7	Конструктивный расчёт теплообменного аппарата	2
	Итого		**18**

3.4.2. Лабораторные занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы	Трудоемкость (час.)
1	Тема 2	Определение коэффициента теплопроводности материала калориметрическим методом	2
2	Тема 2	Исследование стационарной теплопроводности плоской стенки	2
3	Тема 3	Исследование конвективного теплообмена при вынужденной конвекции в трубе	2
4	Тема 3	Исследование теплоотдачи при свободной конвекции	2
5	Тема 4	Исследование теплообмена излучением	2
6	Тема 5	Исследование теплопередачи в теплообменном аппарате (труба в трубе)	2
7	Тема 5	Изучение эффективности оребрения поверхности	2
8	Тема 7	Исследование эффективности теплообменного аппарата методом ε-NTU	2

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторной работы	Трудоемкость (час.)
9	Тема 8	Изучение методов интенсификации теплообмена	2
	Итого		**18**

3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Курсовой проект (курсовая работа) по дисциплине не предусмотрены учебным планом. Результаты освоения дисциплины используются при выполнении последующих курсовых проектов по профильным дисциплинам (Б1.1.22, Б1.2.8, Б1.2.9) и в выпускной квалификационной работе для теплового расчёта деталей двигателя и теплообменных аппаратов.

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1. Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ 25.101-83
«Расчёты и испытания на прочность. Методы расчёта и испытаний на усталостную прочность»
Используется для оценки долговечности и усталостной прочности деталей ГТД, а также для правильного выбора материалов и расчётных параметров.

2. ГОСТ 25.504-82
«Расчёты и испытания на прочность. Методы расчёта на прочность лопаток паровых и газовых турбин»
Важен для расчёта прочности лопаток газотурбинных двигателей, поскольку именно эта часть испытывает наибольшее воздействие термических и механических нагрузок.

3. ГОСТ 25.502-80
«Расчёты и испытания на прочность. Методы испытаний на ползучесть и длительную прочность»
Необходимо для изучения и учёта эффектов ползучести, длительного нагружения и установления долговременной прочности материалов ГТД.

4. ГОСТ 25.503-97
«Расчёты и испытания на прочность. Методы испытаний на статическую прочность»
Помогает освоить правильные методы испытаний на статическую прочность деталей и узлов ГТД, что крайне важно для безопасной эксплуатации.

5. ГОСТ 25.505-80
«Расчёты и испытания на прочность. Методы испытаний на релаксацию напряжений»
Рекомендуется для глубокого понимания процесса релаксации напряжений, возникающего в деталях ГТД при длительном воздействии нагрузок.

6. ГОСТ 25.506-85
«Расчёты и испытания на прочность. Методы расчёта и испытаний на вибропрочность»
Обязателен для студентов, изучающих динамику и вибростойкость элементов газотурбинных двигателей, таких как лопатки и диски.

7. ГОСТ 25.507-85
«Расчёты и испытания на прочность. Методы испытания на многократную изгибающую усталость»

Особенно важен для расчёта элементов, подверженных циклическим нагрузкам, таким как лопатки компрессора и турбины.

8. ГОСТ 25.508-94
«Расчёты и испытания на прочность. Методы испытаний на усталостную прочность при пульсирующем растяжении»
Будет полезен при изучении вопроса долговечности элементов ГТД, испытывающих пульсирующее растягивающее усилие.

9. ГОСТ 25.509-85
«Расчёты и испытания на прочность. Методы испытаний на выносливость при повторно-статическом нагружении»
Является полезным документом для изучения вопросов, связанных с усталостью и пределом выносливости элементов газотурбинных двигателей.

10. ГОСТ 25.501-97
«Расчёты и испытания на прочность. Методы расчёта и испытаний на растяжение»
Используется для изучения методов расчёта и проведения испытаний на растяжение материалов, применяемых в производстве деталей ГТД.

4.2. Основная литература

1. Математические модели потоков в лопаточных машинах двигателей и агрегатов летательных аппаратов : учебное пособие / А. Б. Прокофьев, В. Н. Матвеев, О. В. Батурин [и др.]. — Самара : Самарский университет, 2021. — 200 с. — ISBN 978-5-7883-1659-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/256937
2. Малоразмерные авиационные газотурбинные двигатели/ В. А. Григорьев, В. С. Кузьмичев, В. А. Зрелов [и др.] ; под редакцией В. А. Григорьева, А. И. Ланшина. — Самара : Самарский университет, 2021. — 436 с. — ISBN 978-5-7883-1587-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/257072
3. Конструирование двигателей внутреннего сгорания : учебник / под редакцией Н. Д. Чайнова. — 3-е изд. — Москва : Машиностроение, 2023. — 496 с. — ISBN 978-5-907523-24-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/307301

4.3. Дополнительная литература

1. Малоразмерные авиационные газотурбинные двигатели : учебное пособие / В. А. Григорьев, В. С. Кузьмичев, В. А. Зрелов [и др.] ; под редакцией В. А. Григорьева, А. И. Ланшина. — 2-е изд., доп. — Самара : Самарский университет, 2022. — 452 с. — ISBN 978-5-7883-1715-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/336593
2. Батурин, О. В. Основные сведения о турбомашинах и их применении в современной технике : учебное пособие / О. В. Батурин, В. Н. Матвеев, Г. М. Попов. — Самара : Самарский университет, 2020. — 108 с. — ISBN 978-5-7883-1578-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/188956
3. Надежность авиационной техники : методические указания / составитель И. В. Любимов. — Санкт-Петербург : СПБГУ ГА им. А.А. Новикова, 2022. — 21 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/297245

4.4. Электронные образовательные ресурсы

Теплообменные аппараты энергоустановок
https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=11371

4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

Для освоения дисциплины и выполнения учебных, научно-исследовательских и проектных работ в рамках образовательной программы рекомендуется использование следующего лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения.

Microsoft Windows – лицензионная операционная система, используемая для обеспечения работы всех учебных компьютеров и персональных устройств в аудиториях университета. Доступна на всех компьютерах университета в рамках лицензионного соглашения. Студенты могут использовать свободно распространяемые альтернативы (Linux, Astra Linux) для выполнения учебных задач.

Microsoft Office – лицензионный пакет офисных приложений, включающий текстовый редактор Word, табличный процессор Excel, программу для создания презентаций PowerPoint. Используется для оформления расчётно-пояснительных записок, отчётов, презентаций и другой учебной документации. Доступен на компьютерах университета. Свободными аналогами являются LibreOffice и OpenOffice.

КОМПАС-3D – российская система трёхмерного моделирования, широко используемая в отечественном машиностроении. Позволяет выполнять параметрическое моделирование, создавать чертежи в соответствии с ЕСКД, проводить прочностные расчёты в среде APM FEM. Учебная версия доступна для свободного скачивания на сайте разработчика (https://kompas.ru).

4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Для успешного освоения образовательной программы и выполнения научно-исследовательских, проектных и выпускных квалификационных работ студентам рекомендуется использовать следующие современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы.

Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU – крупнейшая российская электронная библиотека научных публикаций, интегрированная с Российским индексом научного цитирования (РИНЦ). Содержит полнотекстовые статьи из научных журналов по энергетическому машиностроению, двигателестроению и смежным отраслям. Позволяет отслеживать публикационную активность и находить актуальные исследования. Доступ открыт с любого компьютера через сеть Интернет по адресу: https://elibrary.ru.

КиберЛенинка – научная электронная библиотека открытого доступа. Содержит полнотекстовые научные статьи, в том числе по техническим наукам, энергетическому машиностроению и двигателестроению. Все материалы доступны бесплатно. Адрес ресурса: https://cyberleninka.ru.

Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов (docs.cntd.ru**)** – бесплатная база нормативных документов, включающая ГОСТы, технические условия, строительные нормы и правила. Удобна для оперативного поиска актуальных стандартов, необходимых при проектировании и расчётах деталей и узлов двигателей. Адрес: https://docs.cntd.ru.

Росстандарт (ФГУП «Стандартинформ») – официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. Содержит информацию о действующих стандартах, технических регламентах и нормативных документах. Адрес: https://www.gost.ru.

Научная библиотека Московского политехнического университета – электронный каталог библиотеки университета, содержащий информацию о фондах учебной и научной литературы. Доступен с любого устройства, имеющего подключение к интернету. Адрес: https://lib.mospolytech.ru.

«Известия вузов. Машиностроение» – рецензируемый научный журнал открытого доступа, публикующий статьи по актуальным проблемам машиностроения, включая двигателестроение. Входит в перечень ВАК. Содержит исследования по рабочему процессу ДВС, динамике, прочности и другим направлениям. Адрес: https://izvuzmash.ru.

Объединение сетевых электронных библиотек (СЭБ) – некоммерческое партнёрство, объединяющее научную и учебную литературу вузов — участников проекта. Обеспечивает

доступ к учебно-методическим материалам по техническим специальностям. Доступ осуществляется через портал ЭБС «Лань»: https://e.lanbook.com (авторизация по IP-адресам университета или через личный кабинет).

5. Материально-техническое обеспечение

Для успешного освоения дисциплины используется общий аудиторный фонд университета и специализированные аудитории, закреплённые за кафедрой, имеющие следующее материально-техническое обеспечение:

Наименование специальных помещений	Оснащённость специальных помещений
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-222 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, экран для проектора, переносной ноутбук, проектор. Возможность доступа в интернет.
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-223 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, переносной ноутбук. Возможность доступа в интернет.
Компьютерный класс № Нд-224 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Компьютеры и мебель для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, переносной ноутбук. Возможность доступа в интернет.
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-229 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, переносной ноутбук. Возможность доступа в интернет.
Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Н-406 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13	Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, экран для проектора, переносной ноутбук, проектор. Возможность доступа в интернет.

6. Методические рекомендации

6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

Эффективность освоения дисциплины определяется качеством организации учебного процесса, выбором адекватных форм и методов обучения. Преподавателю необходимо учитывать специфику дисциплины, уровень подготовленности обучающихся и современные образовательные технологии.

Возможно проведение занятий и аттестаций в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО-LMS). Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

Перед началом преподавания преподавателю необходимо:

- изучить рабочую программу, цели и задачи дисциплины;
- чётко представлять, какие знания, умения и навыки должен приобрести студент;
- ознакомиться с видами учебной работы и содержанием разделов дисциплины.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен:

- назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы;

- во вступительной части обосновать место и роль темы, раскрыть её практическое значение, увязать с предыдущим материалом;

- в основной части раскрывать содержание учебных вопросов, акцентировать внимание на ключевых категориях, явлениях и процессах, аргументированно обосновывать собственную позицию, приводить примеры, задавать риторические вопросы;

- руководить конспектированием, подчёркивая необходимость фиксации основных положений;

- в заключительной части сформулировать выводы, объявить план следующего занятия, дать рекомендации по подготовке.

При проведении практических (семинарских) занятий рекомендуется:

- обеспечивать активное участие всех студентов, использовать индивидуальные выступления, групповые дискуссии, решение практических задач, разбор кейсов;

- контролировать степень усвоения материала, поощрять самостоятельный поиск информации.

При проведении лабораторных занятий (при наличии) рекомендуется:

- ознакомить студентов с правилами техники безопасности;

- обеспечить понимание цели и задач каждой работы;

- организовать защиту работ с оценкой понимания сущности изучаемых процессов.

При организации самостоятельной работы студентов следует:

- чётко формулировать задания, указывать сроки выполнения;

- обеспечивать необходимыми учебно-методическими материалами;

- осуществлять регулярный контроль выполнения.

При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации рекомендуется:

- использовать разнообразные формы контроля в соответствии с фондом оценочных средств;

- обеспечить объективность оценивания, руководствуясь установленными критериями;

- своевременно доводить результаты до студентов с указанием ошибок и рекомендаций.

В целях повышения эффективности образовательного процесса рекомендуется использовать:

- мультимедийные презентации для визуализации материала;

- интерактивные методы обучения (деловые игры, дискуссии, разбор кейсов);

- дистанционные образовательные технологии;

- материалы, размещённые в системе дистанционного обучения Московского Политеха (СДО-LMS).

6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины осуществляется при контактной работе с преподавателем и в процессе самостоятельной работы. Эффективное освоение предполагает регулярное посещение всех видов аудиторных занятий, выполнение плана самостоятельной работы в полном объёме и прохождение аттестации в соответствии с календарным учебным графиком.

Студенту рекомендуется ознакомиться со списком основной и дополнительной литературы и взять в библиотеке необходимые издания. Доступ к информационным ресурсам организован в читальных залах библиотеки со стационарных ПЭВМ, либо с личного устройства через беспроводной доступ.

Изучение дисциплины должно сопровождаться интенсивной самостоятельной работой с рекомендованными источниками и материалами лекций. Начинать самостоятельные занятия следует с первого дня изучения дисциплины и проводить их регулярно.

Каждый студент должен самостоятельно планировать свою работу, исходя из возможностей и приоритетов. Для плодотворной работы важно организовать постоянное рабочее место, чередовать труд и отдых (перерывы каждые 1–2 часа).

Особое место уделяется консультированию как форме обучения и контроля. Консультирование предполагает взаимодействие между преподавателем и студентами, направленное на разрешение проблем.

Для успешного освоения дисциплины рекомендуется:

- систематически посещать лекции, вести конспект;
- готовиться к практическим занятиям заранее, изучая теорию и выполняя задания;
- при наличии лабораторных работ — выполнять их в соответствии с методическими указаниями, оформлять отчёты и готовиться к защите;
- своевременно выполнять задания для самостоятельной работы;
- активно участвовать в обсуждениях, задавать вопросы;
- использовать СДО-LMS для доступа к материалам и выполнения тестов;
- регулярно проверять свои знания с помощью вопросов для самопроверки.

При подготовке к текущему контролю и промежуточной аттестации рекомендуется:

- повторить теоретический материал по соответствующим разделам;
- выполнить практические задания, аналогичные разобранным на занятиях;
- ознакомиться с критериями оценивания;
- систематизировать материал, составить краткий план ответов;
- при необходимости посетить консультацию преподавателя.

Соблюдение данных рекомендаций позволит качественно освоить учебный материал и успешно пройти все формы контроля.

7. Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Сформированность компетенций при изучении дисциплины определяется посредством оценки соответствия ответов и/или выполнения заданий заявленным индикаторам в рамках мероприятий текущего контроля и промежуточной аттестации (зачёта). Дисциплина «Теплообмен и теплообменные аппараты в энергетическом машиностроении» является **обеспечивающей** для компетенции ПК-2, обеспечивая теоретические знания и практические навыки в области теории теплообмена, методов расчёта тепловых процессов и проектирования теплообменных аппаратов, необходимых для обеспечения оптимального теплового состояния поршневых двигателей и турбомашин, а также для разработки эффективных систем охлаждения, смазки и утилизации теплоты на третьем этапе сквозного проектирования «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация».

В процессе изучения дисциплины оценивается сформированность следующих компетенций и индикаторов:

ПК-2. Способен проводить расчетно-теоретические исследования узлов и систем поршневых двигателей и турбомашин с применением методов математического и компьютерного моделирования (CAE)

Индикатор достижения компетенции:

- **ИПК-2.8.** Способен проводить расчёт и анализ теплового состояния теплонапряжённого узла с применением методов сопряжённого теплообмена.

Дисциплина «Теплообмен и теплообменные аппараты в энергетическом машиностроении» является ключевой для третьего этапа сквозного проекта «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация», обеспечивая знания и навыки, необходимые для теплового расчёта деталей, проектирования систем охлаждения, смазки и теплообменных аппаратов разрабатываемого двигателя. В ходе изучения дисциплины студент осваивает фундаментальные законы и механизмы переноса теплоты (теплопроводность, конвективный теплообмен, тепловое излучение), методы расчёта стационарных и нестационарных температурных полей, методы определения коэффициентов теплоотдачи, классификацию и конструктивные схемы теплообменных аппаратов, методы теплового и гидравлического расчёта теплообменных аппаратов, методы интенсификации теплообмена, а также методы экспериментального исследования теплообменных процессов.

В процессе изучения дисциплины используются следующие методы контроля.

Текущее (рубежное) тестирование по модулям

Проводится после завершения изучения каждого из двух модулей дисциплины. Тестирование осуществляется в письменной или компьютерной форме и включает вопросы закрытого и открытого типа, а также расчётные задачи, направленные на проверку знаний законов теплопроводности, конвективного теплообмена, теплового излучения, методов расчёта температурных полей, определения коэффициентов теплоотдачи, расчёта теплообменных аппаратов, методов интенсификации теплообмена. Результаты тестирования используются для оценки уровня освоения материала модуля. Проверяемый индикатор: ИПК-2.8 (знания в области теплообмена для последующего анализа теплового состояния деталей).

Устный опрос (собеседование)

Проводится в ходе практических занятий для проверки понимания студентом теоретического материала, способности аргументированно излагать законы теплообмена, объяснять физический смысл критериев подобия, анализировать температурные поля, обосновывать выбор методов расчёта теплообменных аппаратов. Устный опрос может быть как индивидуальным, так и фронтальным. В рамках сквозного проекта устный опрос позволяет оценить способность студента выполнять тепловой анализ деталей двигателя и проектировать системы охлаждения. Проверяемый индикатор: ИПК-2.8.

Практические занятия

В ходе выполнения практических заданий (расчёт теплопроводности плоской и цилиндрической стенки, расчёт теплопередачи, расчёт коэффициентов теплоотдачи, расчёт теплообменных аппаратов, определение среднего температурного напора, выбор схемы движения теплоносителей) оценивается способность студента применять теоретические знания для решения конкретных профессиональных задач. Результаты выполнения практических заданий фиксируются в виде отчётов, которые защищаются студентом в устной форме. Практические занятия ориентированы на формирование навыков теплового расчёта, необходимых для выполнения третьего этапа сквозного проекта. Проверяемый индикатор: ИПК-2.8.

Лабораторные занятия

В ходе выполнения лабораторных работ студент работает с лабораторными установками, измерительным оборудованием. Проводятся работы по определению коэффициента теплопроводности материалов, исследованию конвективного теплообмена, изучению теплопередачи в теплообменном аппарате, определению эффективности оребрения. Оценивается умение работать с лабораторным оборудованием, проводить измерения, обрабатывать результаты, сравнивать экспериментальные и расчётные данные. Лабораторные работы выполняются в соответствии с методическими указаниями и защищаются студентом путем ответов на контрольные вопросы. Проверяемый индикатор: ИПК-2.8.

Индивидуальное задание в рамках сквозного проекта

Индивидуальное задание в рамках сквозного проекта является одним из ключевых методов контроля, позволяющим оценить способность студента применять полученные теоретические знания и практические навыки для решения комплексной профессиональной задачи. Задание выполняется студентом самостоятельно в течение семестра и представляет собой разработку раздела сквозного проекта, связанного с тепловым расчётом элемента двигателя или теплообменного аппарата. Содержание индивидуального задания включает расчёт температурного поля детали (поршня, головки блока, гильзы цилиндра), расчёт теплового потока и температур в характерных точках, расчёт теплообменного аппарата (радиатора, маслоохладителя, интеркулера) для заданных условий, выбор конструктивных параметров, оценку эффективности. Индивидуальное задание выполняется в форме пояснительной записки объёмом 10-15 страниц. Защита индивидуального задания проводится в форме презентации результатов перед преподавателем. Проверяемый индикатор: ИПК-2.8.

Зачёт

Промежуточная аттестация проводится в форме зачёта по завершении изучения дисциплины. Зачёт позволяет комплексно оценить знания, умения и навыки студента по всем разделам дисциплины. Зачёт проводится в форме устного собеседования по вопросам, охватывающим весь курс. Результаты зачёта определяют итоговую оценку по дисциплине и

отражают степень сформированности знаний, необходимых для выполнения третьего этапа сквозного проекта «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация». Проверяемый индикатор: ИПК-2.8.

Роль дисциплины в оценке результатов сквозного проекта

Дисциплина «Теплообмен и теплообменные аппараты в энергетическом машиностроении» формирует фундаментальные знания и навыки, необходимые для выполнения третьего этапа сквозного проекта — «Расчётное обоснование, верификация и оптимизация». В рамках этого этапа студент должен выполнить тепловой расчёт деталей двигателя, определить температурные поля, тепловые потоки, рассчитать и выбрать теплообменные аппараты (радиаторы, маслоохладители, интеркулеры), оценить тепловое состояние теплонапряжённых узлов. Результаты освоения дисциплины оцениваются в ходе защиты индивидуального задания и отчёта по третьему этапу сквозного проекта. Оценка сформированности компетенции ПК-2 по дисциплине учитывается при подведении итогов выполнения сквозного проекта в целом.

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

7.2.1 Критерии оценки текущего (рубежного) тестирования по модулям

Текущее (рубежное) тестирование проводится после завершения изучения каждого модуля. Тест состоит из 20 заданий различного типа (выбор правильного ответа, установление соответствия, краткий ответ, расчётная задача). Каждое верно выполненное задание оценивается в 1 балл. Максимальное количество баллов за тест — 20.

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если выполнено верно более 75% заданий теста (набрано более 15 баллов). Студент, получивший «зачтено», демонстрирует достаточное знание теоретического материала модуля, владеет основными законами теплопроводности, конвективного теплообмена и теплового излучения, умеет рассчитывать температурные поля, определять коэффициенты теплоотдачи, выполнять тепловой и гидравлический расчёт теплообменных аппаратов. Это свидетельствует о сформированности на пороговом уровне знаний, необходимых для освоения индикатора ИПК-2.8.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если выполнено верно менее 75% заданий теста (набрано 15 баллов и менее). Студент, получивший «не зачтено», не владеет основным материалом модуля, допускает грубые ошибки в применении законов теплопередачи, не может рассчитать тепловой поток через стенку, не понимает принципов работы теплообменных аппаратов. Студент обязан ликвидировать задолженность по модулю до прохождения следующего рубежного контроля.

7.2.2 Критерии оценки итогового тестирования по курсу

Оценка «зачтено» выставляется студенту, набравшему от 18 до 30 баллов (60-100% правильных ответов). Студент демонстрирует системные теоретические знания по всем разделам дисциплины, уверенно рассчитывает температурные поля, определяет коэффициенты теплоотдачи, выполняет тепловой и гидравлический расчёт теплообменных аппаратов, анализирует эффективность теплообмена. Сформированность индикатора ИПК-2.8 оценивается на пороговом или более высоком уровне, что позволяет студенту успешно выполнить раздел сквозного проекта, связанный с тепловым расчётом.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, набравшему от 0 до 17 баллов (менее 60% правильных ответов). Студент не демонстрирует системных знаний, не владеет основными понятиями, не может рассчитать тепловой поток, допускает грубые ошибки. Сформированность индикатора не достигла порогового уровня.

7.2.3 Критерии оценки устного опроса (собеседования)

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который продемонстрировал достаточный уровень знаний материала. Студент владеет основными понятиями и методами теплообмена, умеет решать типовые задачи, объясняет физический смысл законов теплопроводности, конвективного теплообмена и теплового излучения. Допускаются отдельные неточности, не искажающие сути ответа. Студент владеет профессиональной терминологией.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не знает значительной части материала, допускает грубые ошибки в изложении, не может применить законы теплообмена для решения практических задач. Отсутствует понимание физических процессов теплопередачи. Не способен ответить на дополнительные вопросы, не владеет профессиональной терминологией.

7.2.4 Критерии оценки практических занятий

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который выполнил практическое задание правильно, в установленные сроки. Студент продемонстрировал понимание методики решения задачи, способность применять теоретические знания для расчёта теплопроводности, теплопередачи, коэффициентов теплоотдачи, параметров теплообменных аппаратов. При защите студент аргументирует полученные результаты, отвечает на уточняющие вопросы, демонстрирует владение профессиональной терминологией. В рамках сквозного проекта успешное выполнение практических заданий позволяет студенту овладеть методами теплового расчёта, необходимыми для проектирования систем охлаждения двигателя.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не выполнил практическое задание, выполнил его не в полном объёме, или выполнил с грубыми ошибками. Студент не понимает методику решения, не может объяснить полученные результаты, не отвечает на вопросы по существу задания, не владеет профессиональной терминологией. Студент обязан выполнить практическое задание повторно в установленные преподавателем сроки.

7.2.5 Критерии оценки лабораторных работ

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который выполнил лабораторную работу в полном объёме, в установленные сроки. Студент продемонстрировал умение работать с лабораторным оборудованием, проводить измерения, обрабатывать результаты, сравнивать экспериментальные и расчётные данные. При защите работы студент показывает понимание цели и методики проведения работы, уверенно отвечает на контрольные вопросы, правильно интерпретирует полученные результаты. Отчёт оформлен в соответствии с требованиями. Успешное выполнение лабораторных работ позволяет студенту получить практический опыт, необходимый для верификации расчётных моделей в рамках сквозного проекта.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не выполнил лабораторную работу, выполнил её не в полном объёме, или выполнил с грубыми ошибками. При защите студент не понимает цели и методики работы, не может ответить на контрольные вопросы, допускает грубые ошибки в интерпретации результатов. Отсутствует отчёт или он оформлен с грубыми нарушениями требований. Студент обязан выполнить лабораторную работу повторно в установленные преподавателем сроки.

7.2.6 Критерии оценки индивидуального задания в рамках сквозного проекта

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который выполнил индивидуальное задание в соответствии с требованиями. Студент демонстрирует понимание методов теплового расчёта, выполняет расчёт температурного поля детали или теплообменного аппарата, обосновывает выбор конструктивных параметров. Пояснительная записка оформлена в соответствии с требованиями. При защите студент отвечает на вопросы, демонстрирует понимание физических процессов теплопередачи. Сформированность индикатора ИПК-2.8 оценивается на пороговом или более высоком уровне.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не выполнил индивидуальное задание, выполнил его не в полном объёме или допустил грубые ошибки. Студент не демонстрирует понимания методов теплового расчёта, не может выполнить расчёты. Пояснительная записка отсутствует или оформлена с грубыми нарушениями. При защите студент не отвечает на вопросы, не владеет профессиональной терминологией. Сформированность индикатора не достигла порогового уровня. Студент обязан выполнить индивидуальное задание повторно в установленные преподавателем сроки.

7.2.7 Критерии оценки ответа на зачёте

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который продемонстрировал достаточный уровень знаний и умений, необходимых для формирования компетенций по дисциплине. Студент уверенно отвечает на вопросы, демонстрируя знание ключевых понятий и терминов дисциплины.

Ответы логичны и обоснованы, соответствуют требованиям программы. Студент способен решать типовые задачи и применять теоретические знания на практике.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не продемонстрировал достаточного уровня знаний и умений, допущены существенные ошибки, отсутствует понимание ключевых понятий и/или неспособность применять знания на практике. Ответы не соответствуют требованиям, уровень подготовки недостаточен.

7.3 Оценочные средства

7.3.1 Текущий контроль

7.3.1.1 Модульная структура дисциплины

Дисциплина изучается в 5-м семестре. Семестр делится на два равных модуля (периода), каждый из которых включает определённые темы.

Модуль 1 (недели 1–8) — Основы теории теплообмена

Включает темы: Тема 1. Введение. Основные механизмы переноса теплоты; Тема 2. Теплопроводность. Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки; Тема 3. Конвективный теплообмен. Критерии подобия; Тема 4. Тепловое излучение. Законы излучения; Тема 5. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенку.

Модуль 2 (недели 9–16) — Теплообменные аппараты. Интенсификация теплообмена

Включает темы: Тема 6. Классификация и конструкции теплообменных аппаратов; Тема 7. Тепловой и гидравлический расчёт теплообменных аппаратов; Тема 8. Методы интенсификации теплообмена; Тема 9. Экспериментальные методы исследования теплообмена.

7.3.1.2 Рубежный контроль по модулям (устный опрос/собеседование)

Модуль 1. Основы теории теплообмена

Перечень вопросов для собеседования:

1. Роль теплообмена в обеспечении работоспособности поршневых двигателей и турбомашин. Место дисциплины в сквозном проектировании.
2. Механизмы переноса теплоты: теплопроводность, конвекция, тепловое излучение. Физическая сущность каждого механизма.
3. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности, его физический смысл, зависимость от температуры и структуры материала. Теплопроводность металлов, жидкостей, газов.
4. Стационарная теплопроводность плоской стенки. Температурное поле, тепловой поток. Термическое сопротивление теплопроводности.
5. Стационарная теплопроводность цилиндрической стенки. Температурное поле, тепловой поток. Логарифмическое распределение температуры.
6. Теплопроводность многослойной плоской и цилиндрической стенки. Общее термическое сопротивление.
7. Нестационарная теплопроводность. Критерий Фурье. Регулярный режим. Температурное поле при нестационарной теплопроводности.
8. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи, его физический смысл, факторы, влияющие на его величину.
9. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Ламинарный и турбулентный режимы течения. Влияние режима течения на теплоотдачу.
10. Критерии подобия в конвективном теплообмене: число Нуссельта (Nu), число Рейнольдса (Re), число Прандтля (Pr), число Грасгофа (Gr). Их физический смысл.
11. Критериальные уравнения для расчёта теплоотдачи при вынужденной конвекции в трубах и каналах. Уравнение Михеева.
12. Теплоотдача при свободной конвекции. Критерий Грасгофа. Критериальные уравнения для свободной конвекции.
13. Теплообмен при фазовых переходах: кипение и конденсация. Особенности теплоотдачи при кипении и конденсации.

14. Тепловое излучение. Природа излучения. Спектр электромагнитных волн. Основные понятия: излучательная способность, поглощательная способность, коэффициент поглощения.

15. Законы теплового излучения: закон Планка, закон Вина, закон Стефана-Больцмана, закон Кирхгофа, закон Ламберта.

16. Теплообмен излучением между телами. Приведённая степень черноты. Угловые коэффициенты излучения.

17. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенку. Коэффициент теплопередачи. Термическое сопротивление теплопередачи.

18. Теплопередача через оребрённую стенку. Эффективность оребрения. Критерии эффективности оребрения.

19. Сопряжённый теплообмен (СНТ): определение, применение для расчёта теплонапряжённых узлов.

Модуль 2. Теплообменные аппараты. Интенсификация теплообмена

Перечень вопросов для собеседования:

1. Классификация теплообменных аппаратов по принципу действия (рекуперативные, регенеративные, смесительные), по направлению движения теплоносителей (прямоточные, противоточные, перекрёстные), по конструкции.

2. Конструктивные схемы теплообменных аппаратов, применяемых в двигателестроении: радиаторы, маслоохладители, интеркулеры, рекуператоры.

3. Тепловой баланс теплообменного аппарата. Уравнение теплового баланса. Тепловая производительность.

4. Средний температурный напор. Определение среднелогарифмического температурного напора для прямоточной и противоточной схем.

5. Поправочный коэффициент для сложных схем движения теплоносителей.

6. Уравнение теплопередачи для теплообменного аппарата. Коэффициент теплопередачи для теплообменного аппарата.

7. Гидравлический расчёт теплообменных аппаратов. Потери давления в аппарате. Коэффициенты гидравлического сопротивления.

8. Конструктивный и поверочный расчёты теплообменных аппаратов. Последовательность расчёта.

9. Методы интенсификации теплообмена: оребрение, турбулизация потока, применение вихревых вставок, использование теплоносителей с высокими теплофизическими свойствами.

10. Тепловые трубы: принцип действия, конструкция, применение.

11. Эффективность теплообменных аппаратов. Метод ε-NTU (эффективность — число единиц переноса). Определение эффективности для различных схем движения теплоносителей.

12. Экспериментальные методы исследования теплообмена. Измерение температур, тепловых потоков, расходов теплоносителей.

13. Термопары и термометры сопротивления: принцип действия, типы, применение.

14. Расходомеры: типы, принцип действия, применение в теплотехническом эксперименте.

15. Обработка результатов эксперимента. Оценка погрешностей измерений. Сравнение экспериментальных данных с расчётными.

7.3.1.3 Рубежный контроль по модулям (тестирование)

Тестирование проводится после завершения изучения каждого модуля. Тест состоит из 20 заданий различного типа (выбор правильного ответа, установление соответствия, краткий ответ, расчётная задача). Каждое верно выполненное задание оценивается в 1 балл. Максимальное количество баллов за тест — 20. Оценка «зачтено» выставляется при выполнении верно более 75% заданий (более 15 баллов).

Пример тестовых заданий (один вариант)

1. **Какой механизм переноса теплоты осуществляется в неподвижной среде за счёт движения микрочастиц?**

- A) Конвекция
- B) Теплопроводность
- C) Тепловое излучение
- D) Диффузия
- *Правильный ответ: B*

2. **Какой закон описывает распределение температуры в плоской стенке при стационарной теплопроводности?**
   - A) Экспоненциальное
   - B) Логарифмическое
   - C) Линейное
   - D) Параболическое
   - *Правильный ответ: C*
3. **Какой критерий подобия характеризует интенсивность теплоотдачи?**
   - A) Re
   - B) Pr
   - C) Nu
   - D) Gr
   - *Правильный ответ: C*
4. **Какая схема движения теплоносителей в теплообменном аппарате обеспечивает наибольший средний температурный напор?**
   - A) Прямоточная
   - B) Противоточная
   - C) Перекрёстная
   - D) Смешанная
   - *Правильный ответ: B*
5. **Какой метод интенсификации теплообмена основан на увеличении поверхности теплопередачи?**
   - A) Турбулизация потока
   - B) Оребрение
   - C) Использование вихревых вставок
   - D) Применение жидкометаллических теплоносителей
   - *Правильный ответ: B*

7.3.1.4 Оценочные средства для индивидуального задания в рамках сквозного проекта

Индивидуальное задание в рамках сквозного проекта является одним из ключевых методов контроля, позволяющим оценить способность студента применять полученные теоретические знания и практические навыки для решения комплексной профессиональной задачи. Задание выполняется студентом самостоятельно в течение семестра и представляет собой разработку раздела сквозного проекта, связанного с тепловым расчётом элемента двигателя или теплообменного аппарата.

Содержание индивидуального задания:

Индивидуальное задание включает в себя выполнение следующих этапов:

1. **Анализ объекта теплового расчёта.** Студент выбирает объект для теплового расчёта: деталь двигателя (поршень, головка блока цилиндров, гильза цилиндра, клапан) или теплообменный аппарат (радиатор, маслоохладитель, интеркулер). Проводится анализ условий работы, определяются граничные условия (тепловые потоки, температуры окружающей среды, коэффициенты теплоотдачи).
2. **Расчёт температурного поля детали (при выборе детали).** Для выбранной детали выполняется расчёт стационарного температурного поля. Определяются температуры в характерных точках, тепловые потоки, термические напряжения (при необходимости). Рассчитываются тепловые зазоры в сопряжениях.
3. **Расчёт теплообменного аппарата (при выборе аппарата).** Для заданных параметров (расходы теплоносителей, температуры на входе, требуемая тепловая производительность) выполняется тепловой и гидравлический расчёт теплообменного аппарата.

Определяются необходимые геометрические параметры (площадь поверхности теплообмена, длина труб, число ходов), потери давления, коэффициент теплопередачи.

4. **Выбор конструктивных параметров.** На основе выполненных расчётов обосновываются конструктивные параметры детали или аппарата. Для теплообменного аппарата выбирается тип конструкции (кожухотрубный, пластинчатый, ребристый), материалы, схема движения теплоносителей.

5. **Оценка эффективности.** Для теплообменного аппарата определяется эффективность по методу ε-NTU. Сравниваются различные варианты конструкции. Оценивается влияние выбранных параметров на эффективность работы аппарата.

Требования к оформлению:

Индивидуальное задание выполняется в форме пояснительной записки объёмом 10-15 страниц, включающей:

- титульный лист с указанием темы задания, ФИО студента, группы, руководителя;
- содержание;
- введение с обоснованием актуальности теплового расчёта выбранного объекта;
- основную часть, содержащую анализ условий работы, расчёт температурного поля или тепловой и гидравлический расчёт теплообменного аппарата, выбор конструктивных параметров, оценку эффективности;
- графические материалы (схемы, эскизы, графики распределения температур);
- заключение с выводами по результатам выполненной работы;
- список использованных источников.

Примерные темы индивидуальных заданий:

1. Расчёт температурного поля поршня дизельного двигателя.
2. Расчёт температурного поля головки блока цилиндров бензинового двигателя.
3. Расчёт тепловых зазоров в сопряжении «гильза цилиндра — поршень».
4. Тепловой и гидравлический расчёт радиатора системы охлаждения двигателя.
5. Тепловой и гидравлический расчёт маслоохладителя для системы смазки двигателя.
6. Тепловой и гидравлический расчёт интеркулера (промежуточного охладителя наддувочного воздуха).
7. Сравнительный анализ эффективности прямоточной и противоточной схем движения теплоносителей в теплообменном аппарате.
8. Расчёт теплового состояния клапана газораспределительного механизма.

7.3.1.5 Оценочные средства для практических занятий

Типовые задания для практических занятий

Модуль 1. Основы теории теплообмена

Задание 1. Расчёт теплового баланса двигателя.

Задание 2. Расчёт теплового потока через плоскую стенку.

Задание 3. Расчёт теплопередачи через цилиндрическую стенку.

Задание 4. Определение коэффициента теплоотдачи при вынужденной конвекции.

Задание 5. Определение коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции.

Задание 6. Расчёт теплопередачи через оребрённую стенку.

Модуль 2. Теплообменные аппараты. Интенсификация теплообмена

Задание 7. Расчёт среднего температурного напора для прямоточной и противоточной схем.

Задание 8. Конструктивный расчёт теплообменного аппарата.

Задание 9. Расчёт эффективности теплообменного аппарата методом ε-NTU.

7.3.1.6 Оценочные средства для лабораторных занятий

Перечень лабораторных работ и контрольные вопросы для защиты

Лабораторная работа №1. Определение коэффициента теплопроводности материала калориметрическим методом

Контрольные вопросы: Что такое коэффициент теплопроводности? Как устроена лабораторная установка? Какие факторы влияют на точность определения коэффициента теплопроводности? Как зависит коэффициент теплопроводности от температуры?

Лабораторная работа №2. Исследование стационарной теплопроводности плоской стенки

Контрольные вопросы: Как распределяется температура в плоской стенке при стационарной теплопроводности? Как определить тепловой поток через стенку? Каковы основные источники погрешности? Как влияет теплопроводность материала на распределение температуры?

Лабораторная работа №3. Исследование конвективного теплообмена при вынужденной конвекции в трубе

Контрольные вопросы: Как определяется коэффициент теплоотдачи? Какие критерии подобия используются при расчёте? Как влияет скорость потока на коэффициент теплоотдачи? Как определить режим течения?

Лабораторная работа №4. Исследование теплоотдачи при свободной конвекции

Контрольные вопросы: Что такое свободная конвекция? Какой критерий подобия характеризует свободную конвекцию? Как зависит коэффициент теплоотдачи от перепада температур? Как изменяется коэффициент теплоотдачи по высоте пластины?

Лабораторная работа №5. Исследование теплообмена излучением

Контрольные вопросы: Что такое абсолютно чёрное тело? Сформулируйте закон Стефана-Больцмана. Как определяется степень черноты тела? Какие факторы влияют на излучательную способность?

Лабораторная работа №6. Исследование теплопередачи в теплообменном аппарате (труба в трубе)

Контрольные вопросы: Что такое коэффициент теплопередачи? Как определяется средний температурный напор? Какая схема движения теплоносителей эффективнее и почему? Как рассчитать тепловую производительность аппарата?

Лабораторная работа №7. Изучение эффективности оребрения поверхности

Контрольные вопросы: Для чего применяется оребрение? Что такое эффективность оребрения? Какие факторы влияют на эффективность оребрения? В каких случаях применение оребрения неэффективно?

Лабораторная работа №8. Исследование эффективности теплообменного аппарата методом ε-NTU

Контрольные вопросы: Что такое эффективность теплообменного аппарата? Как определяется число единиц переноса NTU? Как влияет схема движения теплоносителей на эффективность? Как определить эффективность по графику?

Лабораторная работа №9. Изучение методов интенсификации теплообмена

Контрольные вопросы: Какие методы интенсификации теплообмена существуют? Как влияет турбулизация потока на теплоотдачу? Что такое тепловая труба и как она работает? Как оценить эффективность интенсификации?

7.3.1.7 Курсовой проект (курсовая работа)

Курсовой проект (курсовая работа) по дисциплине не предусмотрены учебным планом. Результаты освоения дисциплины используются при выполнении последующих курсовых проектов по профильным дисциплинам (Б1.1.22, Б1.2.8, Б1.2.9) и в выпускной квалификационной работе.

7.3.2 Промежуточная аттестация (зачёт)

7.3.2.1 Условия допуска к зачёту

Студент допускается к сдаче зачёта при выполнении следующих условий:

- Успешное прохождение всех двух рубежных контролей (устных опросов по модулям) с оценкой не ниже «удовлетворительно».
- Выполнение и защита всех лабораторных работ, предусмотренных учебным планом (9 лабораторных работ).

• Выполнение и защита всех практических занятий (не менее 80% заданий выполнены и защищены).

• Выполнение и защита индивидуального задания в рамках сквозного проекта с оценкой не ниже «удовлетворительно».

• Отсутствие академической задолженности по дисциплине.

7.3.2.2 Структура зачёта

Зачёт проводится в форме устного собеседования по вопросам, охватывающим весь курс. Студент отвечает на два теоретических вопроса (по одному из каждого модуля). По усмотрению преподавателя может быть задан дополнительный вопрос или предложено решение расчётной задачи.

7.3.2.3 Перечень вопросов к зачёту

Модуль 1. Основы теории теплообмена

1. Роль теплообмена в обеспечении работоспособности поршневых двигателей и турбомашин.
2. Механизмы переноса теплоты: теплопроводность, конвекция, тепловое излучение.
3. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности.
4. Стационарная теплопроводность плоской стенки. Термическое сопротивление.
5. Стационарная теплопроводность цилиндрической стенки.
6. Теплопроводность многослойной стенки.
7. Нестационарная теплопроводность. Критерий Фурье.
8. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи.
9. Гидродинамический и тепловой пограничные слои.
10. Критерии подобия в конвективном теплообмене: Nu, Re, Pr, Gr.
11. Критериальные уравнения для расчёта теплоотдачи при вынужденной конвекции.
12. Теплоотдача при свободной конвекции.
13. Теплообмен при фазовых переходах: кипение и конденсация.
14. Законы теплового излучения.
15. Теплообмен излучением между телами.
16. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенку. Коэффициент теплопередачи.
17. Теплопередача через оребрённую стенку. Эффективность оребрения.
18. Сопряжённый теплообмен (СНТ).

Модуль 2. Теплообменные аппараты. Интенсификация теплообмена

19. Классификация теплообменных аппаратов.
20. Конструктивные схемы теплообменных аппаратов в двигателестроении.
21. Тепловой баланс теплообменного аппарата.
22. Средний температурный напор. Определение для прямоточной и противоточной схем.
23. Уравнение теплопередачи для теплообменного аппарата.
24. Гидравлический расчёт теплообменных аппаратов. Потери давления.
25. Конструктивный и поверочный расчёты теплообменных аппаратов.
26. Методы интенсификации теплообмена.
27. Тепловые трубы: принцип действия, применение.
28. Эффективность теплообменных аппаратов. Метод ε-NTU.
29. Экспериментальные методы исследования теплообмена.
30. Термопары и термометры сопротивления.
31. Расходомеры: типы, принцип действия.
32. Обработка результатов эксперимента. Оценка погрешностей.