

Балаковский инженерно-технологический институт – филиал федерального  
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Факультет атомной энергетики и технологий  
Кафедра «Атомная энергетика»

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
по дисциплине «Тепломассообмен»

**Направления подготовки**  
«13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника»

**Основная профессиональная образовательная программа**  
«Промышленная теплоэнергетика»

**Квалификация выпускника**  
Бакалавр

**Форма обучения**  
Заочная

## Цель освоения дисциплины

Изучение теоретических и технических основ работы различного типа нагнетателей (насосов, вентиляторов, компрессоров) и тепловых двигателей (паровых и газовых турбин, двигателей внутреннего и внешнего сгорания), используемых в теплоэнергетической отрасли, особенностей их эксплуатации, принципов выбора типов машин для конкретных энергетических систем обеспечивающих высокую эффективность и надежность работы установок.

Дисциплина изучается в соответствии с профессиональными стандартами:

- 24.083 Специалист-теплоэнергетик атомной станции;
- 24.009 Специалист по управлению проектами и программами в области производства электроэнергии атомными электростанциями.

## Место дисциплины в структуре ООП ВО

Перечень дисциплин, усвоение которых необходимо для изучений данной дисциплины: физика, техническая термодинамика, гидрогазодинамика.

В результате изучения этих дисциплин обучающиеся должны получить знания, необходимые для выполнения бакалаврской выпускной квалификационной работы и, впоследствии уметь применять на работе, связанной с обслуживанием тепловых двигателей.

При освоении данной дисциплины студент сможет частично продемонстрировать трудовые функции:

- А/01.6 Техническая поддержка эксплуатации оборудования, технологических систем, трубопроводов горячей воды и пара (ПС 24.083);
- А/02.6 Анализ технического состояния тепломеханического оборудования, технологических систем и трубопроводов (ПС 24.083);
- А/02.6 Организация работ по направлению деятельности проекта (ПС 24.009).

## Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В процессе освоения данной дисциплины у студента формируются следующие компетенции: общепрофессиональные

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	З-ОПК-1 Знать принципы функционирования и применения современных информационных технологий У-ОПК-1 Уметь применять информационные технологии для решения профессиональных задач В-ОПК-1 Владеть навыками использования современных информационных технологий для решения задач профессиональной деятельности
ОПК-2	Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения	З-ОПК-2 Знать основные принципы и требования построения алгоритмов, синтаксис языка программирования У-ОПК-2 Уметь разрабатывать алгоритмы для решения практических задач согласно предъявляемым требованиям В-ОПК-2 Владеть средой программирования и отладки для разработки программ для практического применения

ОПК-3	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	З-ОПК-3 Знать: основные математические приложения и физические законы, явления и процессы, на которых основаны принципы действия объектов профессиональной деятельности, а также аппарат теоретического и экспериментального исследования У-ОПК-3 Уметь: применять основные законы математики, физики и технических наук при моделировании технологических процессов В-ОПК-3 Владеть: математическим аппаратом, методами теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач
ОПК-4	Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	З-ОПК-4 Знать: основные законы движения жидкости и газа; законы термодинамики и термодинамических соотношений; законы и способы переноса теплоты и массы У-ОПК-4 Уметь: проводить расчеты теплотехнических установок и систем; расчеты термодинамических процессов, циклов и их показателей; расчет тепломассообмена в теплотехнических установках В-ОПК-4 Владеть: навыками демонстрации применения стандартных методов расчета теплотехнических установок и систем с учетом теплофизических свойств рабочих тел
ОПК-5	Способен учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок	З-ОПК-5 Знать: свойства, характеристики и конструктивные особенности узлов электрооборудования У-ОПК-5 Уметь: обосновать и использовать типовые решения при выборе электрооборудования В-ОПК-5 Владеть: навыками расчетов параметров и режимов объектов профессиональной деятельности и методами анализа причин нарушения исправности оборудования

профессиональные

Задачи профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
Сбор и анализ информационных исходных данных для проектирования	Тепловые и атомные электрические станции, реакторы и парогенераторы атомных электростанций, а также другое тепломеханическое оборудование согласно профессиональной деятельности; нормативно техническая документация и системы стандартизации; системы диагностики и автоматизированного управления технологическими	ПК-1 способен участвовать в сборе и анализе исходных данных для проектирования энергообъектов и их элементов в соответствии с нормативной документацией	З-ПК-1 Знать: документы и стандарты организации в области проектной деятельности; принципы работы эксплуатируемого оборудования, трубопроводов и технологических систем турбинного отделения У-ПК-1 Уметь: работать с информационным пространством на сервере (веб-сервере) организации для хранения, обмена и совместного использования информации по проекту В-ПК-1 Владеть:

	процессами в теплоэнергетике		методиками составления документации с описанием объема работ по направлению проекта; методами контроля ключевых показателей эффективности и качества по направлению проекта
Проведение теплотехнических расчетов оборудования согласно типовым методикам	Тепловые и атомные электрические станции, реакторы и парогенераторы атомных электростанций, а также другое тепломеханическое оборудование согласно профессиональной деятельности; нормативно техническая документация и системы стандартизации; системы диагностики и автоматизированного управления технологическими процессами в теплоэнергетике	ПК-5 способен проводить теплотехнические, гидравлические, прочностные расчеты по типовым методикам	З-ПК-5 Знать: требования нормативных правовых актов, нормативно-технических и методических документов для проведения типовых расчетов У-ПК-5 Уметь: выполнять расчеты по типовым методикам В-ПК-5 Владеть: информационно-коммуникационными технологиями, в том числе специализированным программным обеспечением для проведения расчетов

### Задачи воспитания, реализуемые в рамках освоения дисциплины

В процессе освоения данной дисциплины реализуются следующие задачи воспитания:

Направление/цели	Создание условий, обеспечивающих	Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин	Вовлечение в разноплановую внеучебную деятельность
<b>Профессиональное и трудовое воспитание</b>	- формирование культуры исследовательской и инженерной деятельности (В16)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования инженерного мышления и инженерной культуры за счёт практических студенческих исследований современных производственных систем; проектной деятельности студентов по разработке и оптимизации технологических систем, связанной с решением реальных производственных	1. Организация научно-практических конференций и встреч с ведущими специалистами предприятий города и ветеранами атомной отрасли. 2. Организация и проведение предметных олимпиад и участие в конкурсах профессионального мастерства. 3. Участие в ежегодных акциях студенческих строительных отрядов

		задач; прохождения через разнообразные игровые, творческие, фестивальные формы, требующие анализа сложного объекта, постановки относительно него преобразовательных задач для их оптимального решения.	
--	--	--	--

## Структура и содержание учебной дисциплины

Дисциплина преподается студентам в 4-ом и 5-ем семестрах. Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц, 288 ак. часа.

## Календарный план

(4-й семестр)

№ Р а з д е л а	№ Т е м ы	Наименование раздела (темы) дисциплины	Виды учебной деятельности (в часах)					Аттестация раздела (форма)	Максимальный балл за раздел
			Всего	Лекции	Лабораторные	Практические	СРС		
1	1	Теплопроводность. (Основные положения теплопроводности. Теплопроводность при стационарном режиме).	26	1	-	1	22/1		
	2	Теплопроводность. (Нестационарная теплопроводность).	26/4	1	-	1	24/1	КЛ	25
2	3	Конвективный теплообмен в однородной среде. (Основные положения конвективного теплообмена. Теория подобия конвективного теплообмена).	30/4	2	-	2/1	22/1		
	4	Конвективный теплообмен в однородной среде. (Обработка и обобщение результатов опытов).	26/4	2	-	2/1	24/1	КЛ	25
<b>Вид промежуточной аттестации</b>			<b>108/2</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>6/2</b>	<b>92/4</b>	<b>3</b>	<b>50</b>

\* - сокращенное наименование формы контроля

\*\* - сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращенное наименование форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КЛ	Коллоквиум
З	Зачёт

## (5-й семестр)

№ Р а з д е л а	№ Т е м ы	Наименование раздела (темы) дисциплины	Виды учебной деятельности (в часах)					Аттестация раздела (форма)	Максимальный балл за раздел
			Всего	Лекции	Лабораторные	Практические	СРС		
3	5	Теплообмен. (Теплоотдача при свободном и вынужденном течении жидкости)	42/1	2		2/1	36/2		
	6	Теплообмен. (Теплоотдача при фазовых превращениях. Тепло- и массообмен в двухкомпонентных средах).	42/1	2		2/1	36/2	КЛ	30
	7	Теплообмен . Теплообмен излучением).	44/1	2		2/1	38/2		
4	8	Теплообменные аппараты. (Тепловой расчет теплообменников)	52/1	2		4/1	43/3	КЛ	20
<b>Вид промежуточной аттестации</b>			<b>180/4</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>10/4</b>	<b>153/9</b>	<b>Э</b>	<b>50</b>

\* - сокращенное наименование формы контроля

\*\* - сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращенное наименование форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КЛ	Коллоквиум
Э	Экзамен

## Содержание лекционного курса

Тема лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции	Всего часов	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3
4 семестр		
Лекция 1. <i>Введение. Теплопроводность</i> Основные положения теплопроводности. Основные виды переноса теплоты. Температурное поле и градиент температуры. Коэффициент теплопроводности. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Тепловой поток. Термическое сопротивление. Дифференциальное уравнение теплопроводности.	0,5	2,8
Лекция 2. <i>Теплопроводность при стационарном режиме</i> Передача теплоты через однослойные и многослойные стенки различ-	0,5	2,8

ной геометрической формы (цилиндрическую и шарообразную стенки).		
Лекция 3. <i>Нестационарная теплопроводность</i> Аналитическое описание процесса нестационарной теплопроводности. Охлаждение (нагревание) пластины (цилиндра, шара). Охлаждение (нагревание) тел конечных размеров.	0,5	1,8
Лекция 4. <i>Основные положения конвективного теплообмена</i> Основные понятия и определения. Краткие сведения из гидродинамики. Основные положения конвективного теплообмена.	0,5	1,8
Лекция 5. <i>Теория подобия конвективного теплообмена</i> Приведение дифференциальных уравнений конвективного теплообмена к безразмерному виду. Критерии подобия.	1	3-7
Лекция 6. <i>Обработка и обобщение результатов опытов</i> Методы экспериментального определения коэффициентов теплоотдачи.	1	1,2,8
Лекция 7. <i>Теплоотдача при свободном движении жидкости</i> Теплоотдача при свободном движении жидкости в неограниченном пространстве вдоль вертикальной пластины. Теплоотдача при свободном движении жидкости в неограниченном пространстве у горизонтальных поверхностей.	2	1,2,8
5 семестр		
Лекция 8. <i>Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности</i> Характер течения вдоль поверхности. Теплоотдача при ламинарном пограничном слое.	1	1,8
Лекция 9. <i>Теплоотдача при вынужденном течении жидкости в трубах</i> Особенности движения и теплообмена в трубах. Теплоотдача при ламинарном режиме течения жидкости в трубе.	1	1-4
Лекция 10. <i>Теплообмен при фазовых превращениях</i> Теплообмен при конденсации чистых паров. Основные положения теплообмена при конденсации чистых паров. Теплообмен при капельной конденсации пара.	1	1-4
Лекция 11. <i>Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей</i> Механизм процесса теплообмена при пузырьковом кипении жидкости. Структура потока при кипении в условиях свободного движения. Теплообмен при кипении жидкости внутри труб.	1	1-4
Лекция 12. <i>Тепло- и массообмен в двухкомпонентных средах</i> Основные положения тепломассообмена. Дифференциальные уравнения тепло- и массообмена. Тепло- и массоотдача. Тройная аналогия.	1	1-4
Лекция 13. <i>Теплообмен излучением</i> Описание процесса. Виды лучистых потоков. Основные законы теплового излучения. Методы исследования процессов лучистого теплообмена.	1	1-4
Лекция 14. <i>Теплообменные аппараты</i> Тепловой расчет теплообменников. Классификация теплообменных аппаратов. Основные положения и уравнения теплового расчета. Средняя разность температур и методы ее вычисления. Расчет выходной температуры теплоносителей.	2	1-4

### Перечень практических занятий

Тема практического занятия. Вопросы, отрабатываемые на практическом занятии	Всего часов	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3
4 семестр		
Теплопроводность при стационарном режиме	0,5	2,8
Теплопроводность при нестационарном режиме	0,5	2,8
Основные положения конвективного теплообмена	1	1,8
Теория подобия	1	1,8
Методы экспериментального определения коэффициентов теплоотдачи.	1	3-7
Теплоотдача при свободном движении жидкости	1	1,2,8
Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности	1	1,2,8
5 семестр		
Теплоотдача при вынужденном движении жидкости в трубах	2	1,8
Расчет теплоотдачи при конденсации и кипении.	2	1-4
Теплоотдача при кипении жидкости.	2	1-4
Расчет теплообмена излучением.	2	1-4
Тепловой расчет теплообменных аппаратов.	2	1-4

### Перечень лабораторных работ — не предусмотрено учебным планом

#### Задания для самостоятельной работы студентов

Вопросы для самостоятельного изучения (задания)	Всего часов	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3
4 семестр		
Коэффициент температуропроводности. Условия однозначности. Коэффициент теплоотдачи.	6	2,8,
Передача теплоты через многослойную шарообразную стенку. Пути интенсификации теплопередачи.	8	2,8,
Регулярный режим охлаждения (нагрева) тел. Приближенные методы решения задач теплопроводности.	8	1,8
Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена.	12	1,8
Критериальные уравнения.	12	3-7
Получение эмпирических критериальных уравнений.	10	1,2,8
Теплоотдача при свободном движении жидкости в ограниченном пространстве.	12	1,2,8
Теплоотдача при турбулентном пограничном слое.	12	1,8
Теплоотдача турбулентном и переходном режимах течения жидкости в трубе.	12	1 - 4
5 семестр		
Теплоотдача при пленочной конденсации движущегося пара на горизонтальных одиночных трубах и пучках труб и на вертикальной стенке, а также внутри труб.	16	1 - 4



Теплоотдача при пузырьковом кипении жидкости. Механизм теплообмена при пленочном режиме кипения жидкости.	20	1 - 4
Тепло- и массоотдача при испарении жидкости в парогазовую среду.	36	1 - 4
Теплообмен излучением в системе тел с плоскопараллельными поверхностями. Коэффициент излучения твердых тел и методы его определения.	38	1 - 4
Методы определения температур поверхности теплообмена. Гидромеханический расчет теплообменных аппаратов.	43	1 - 4
Контроль	13	

### Контрольная работа

Контрольная работа №1 выполняется в 4 семестре, контрольная работа №2 выполняется в 5 семестре

Контрольная работа №1 содержит четыре задачи.

Номер варианта исходных данных выбирается из таблиц к каждой задаче в соответствии с последней цифрой номера зачетной книжки.

#### Задача 1

Определить плотность теплового потока через плоскую стенку толщиной  $\delta$  (мм), если ее размеры  $A \times B$  (м), время прохождения потока теплоты  $\tau$  (сек), коэффициент теплопроводности  $\lambda$  (Вт/(мК)), температура на одной стороне стенки  $t_1$  и на другой стороне стенки  $t_2$

Последняя цифра	$\delta$ (мм)	$A \times B$ (м)	$\tau$ (сек)	$\lambda$ (Вт/(мК))	$t_1$	$t_2$
0	10	3 x 4	100	40	20	100
1	15	4 x 5	150	50	25	150
2	20	6 x 7	200	60	20	200
3	10	6 x 7	250	70	25	100
4	15	3 x 4	100	80	20	150
5	20	4 x 5	150	40	25	200
6	10	2 x 2	200	50	20	100
7	15	6 x 7	250	60	25	150
8	20	3 x 4	100	70	20	200
9	10	4 x 5	150	80	25	100

#### Задача 2

Пластина толщиной  $\delta$  (мм) прогрета до температуры  $t_0$  °С после чего одна поверхность теплоизолирована, а вторая прогревается постоянным тепловым потоком плотностью  $q$  (Вт/м<sup>2</sup>)

Найти температуру пластины на середине толщины через время  $\tau$ , материал пластины — медь.

Последняя				
-----------	--	--	--	--

цифра шифра	$\delta$ (мм)	$t_0$ , $^{\circ}\text{C}$	$q$ (Вт/м <sup>2</sup> )	$\tau$ , мин
0	100	120	1000	10
1	90	125	1250	11
2	80	110	1300	12
3	70	118	1150	9
4	60	105	1000	14
5	50	125	1000	13
6	55	120	1250	16
7	65	117	1300	17
8	75	114	1150	12
9	85	121	1000	8

Задача 3 Сравнить характерный размер — эквивалентный диаметр  $d_0$  трех фигур: круг, квадрат и равносторонний треугольник, имеющих одинаковый характеризующий их размер (диаметр круга  $D$  равен стороне квадрата  $A$  и стороне треугольника). У какой фигуры эквивалентный диаметр наибольший, у какой наименьший.

Последняя цифра шифра	$D=A$ , м
0	3
1	4
2	5
3	2
4	6
5	9
6	7
7	8
8	4
9	3

#### Задача 4

В процессе эксперимента оценивалось только влияние скорости движения воды  $V$  м/с на коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  (Вт/м<sup>2</sup>К). Установить соотношение  $\alpha=f(V)$

Последняя цифра	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha$ 3	$V_1$	$V_2$	$V_3$
--------------------	------------	------------	---------------	-------	-------	-------

шифра						
0	1000	2000	3000	1	1,5	2
1	1100	2200	3200	1,25	1,7	1,9
2	1000	2000	3000	1,25	1,7	1,9
3	1100	2200	3200	1	1,5	2
4	500	1000	1500	1	1,5	2
5	500	1000	1500	1,25	1,7	1,9
6	750	1500	2000	1	1,5	2
7	750	1500	2000	1,25	1,7	1,9
8	1000	2000	3000	2	3	4
9	1100	2200	3200	2	3	4

Контрольная работа №2 содержит четыре задачи.

Задача 1 Определить коэффициент теплопередачи через медную стенку толщиной 2 мм, если через нее передается тепловой поток  $q = \text{Вт}/(\text{м}^2)$ , коэффициент теплоотдачи от греющей жидкости  $\alpha_1$   $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ , температура стенки со стороны греющей среды  $t_{c1}$   $^{\circ}\text{C}$ , температура нагреваемой жидкости  $t_{;ж2}$   $^{\circ}\text{C}$

Последняя цифра шифра	q	$\alpha_1$	$t_{c1}$	$t_{;ж2}$
0	1000	500	90	25
1	1100	600	80	20
2	1200	700	85	30
3	1300	500	90	25
4	1400	600	80	20
5	1000	700	85	30
6	1100	500	90	25
7	1200	600	80	20
8	1300	700	85	30
9	1400	500	90	25

Задача 2 Определить коэффициент теплоотдачи при кипении в большом объеме, если жидкость находится в состоянии насыщения с температурой  $t_1$ , температура стенки  $t_2$

Последняя цифра шифра	$t_1$	$t_2$
0	100	120

1	105	110
2	110	115
3	115	120
4	100	110
5	105	115
6	110	120
7	115	110
8	100	115
9	105	120

Задача 3 Диэлектрик с коэффициентом  $n$  преломления излучает в воздух. Чему равна направленная степень черноты в направлении, нормальном к поверхности и в направлении, составляющем угол  $\beta$  градусов с нормалью

Последняя цифра цифра	$n$	$\beta$
0	1,1	87
1	1,2	85
2	1,3	83
3	1.4	82
4	1,5	87
5	1,1	85
6	1,2	83
7	1,3	82
8	1.4	87
9	1,5	85

Задача 4 Определить поверхность теплообмена двухтрубного теплообменного аппарата, с коэффициентом теплопередачи между теплоносителями  $1500 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ , при передаче теплового потока  $5 \text{ кВт}$ , если температуры теплоносителя принимают значения, указанные в таблице, схема движения - противоток

Последняя цифра цифра	$t_{ж1}$	$t_{ж1 \text{ конеч}}$	$t_{ж2}$	$t_{ж2 \text{ конеч}}$
0	80	30	20	60
1	75	30	22	55
2	90	25	19	70

3	95	25	18	80
4	80	30	20	70
5	75	30	20	65
6	90	25	22	60
7	95	25	19	55
8	80	30	18	70
9	75	30	20	80

Контрольная работа выполняется в ученической тетради или на одной стороне листа формата А4 рукописным способом. Допускается набирать на компьютере и распечатывать на принтере на одной стороне стандартного листа формата А4. Шрифт: Times New Roman, высота 14; интервал – полуторный, выравнивание текста - по ширине.

**Расчетно-графическая работа учебным планом не предусмотрена.**

**Курсовая работа не предусмотрена учебным планом**

### **Образовательные технологии**

При реализации учебного материала курса используются различные образовательные технологии, способствующие созданию атмосферы свободной и творческой дискуссии как между преподавателем и студентами, так и в студенческой группе. Целью при этом является выработка у студентов навыков и компетенций, позволяющих самостоятельно вести исследовательскую и научно-педагогическую работу.

Аудиторные занятия проводятся в виде лекций в аудиториях с использованием ПК и компьютерного проектора, практических занятий, с использованием ПК при проведении расчетов. Самостоятельная работа студентов проводится под руководством преподавателей, с оказанием консультаций и помощи при подготовке к контрольным работам, выполнении домашних заданий

### **Фонд оценочных средств**

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

№ п/п	Наименование контролируемых разделов (темы)	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Наименование оценочного средства
<b>Входной контроль</b>			
1	Входной контроль		Вопросы входного контроля (устно)
<b>Аттестация разделов, текущий контроль успеваемости</b>			
2	Теплопроводность	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ПК-1, ПК-5	Коллоквиум
3	Конвективный теплообмен в однородной среде	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ПК-1, ПК-5	Коллоквиум

4	Теплообмен	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ПК-1, ПК-5	Коллоквиум
5	Теплообменные аппараты	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ПК-1, ПК-5	Коллоквиум
Промежуточная аттестация			
6	Зачёт	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ПК-1, ПК-5	Вопросы к зачёту (Письменно)
7	Экзамен	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ПК-1, ПК-5	Вопросы к экзамену (Письменно)

Входной контроль предназначен для выявления пробелов в знаниях студентов и готовности их к получению новых знаний. Оценочные средства для входного контроля представляют собой вопросы, которые задаются студентам в устной форме.

### Вопросы входного контроля (устный опрос)

1. Что называется идеальным газом?
2. Что называется реальным газом?
3. Что называется параметрами состояния газа?
4. Назовите основные параметры, характеризующие газ в данном состоянии.
5. Как обозначаются основные параметры состояния, укажите их размерность.
6. Назовите приборы, которыми можно измерять параметры состояния.
7. Чем отличается международная шкала температур от абсолютной шкалы?
8. Напишите зависимость между абсолютной и практической стоградусной температурами.
9. Что такое избыточное и абсолютное давление?
10. Чем измеряют избыточное давление и как определяют истинное абсолютное давление?
11. Какое давление измеряют: манометром, барометром, вакуумметром?
12. Чему равен один Паскаль?
13. Чему равен 1 мм водяного столба, в паскалях?
14. Чему равен 1 мм ртутного столба, в паскалях?
15. Физическая сущность закона Бойля-Мариотта и аналитическое выражение его.
16. Физическая сущность закона Шарля.
17. Физическая сущность закона Гей-Люссака.
18. Что такое нормальные физические условия и чему равны в этом случае давление и температура?
19. Напишите уравнение состояния идеального газа.
20. Что такое газовая постоянная и универсальная газовая постоянная, какова их размерность?
21. Что такое плотность вещества?
22. Что такое удельный объем?
23. Что такое температура?
24. Что такое теплота?
25. Что такое энергия?

26. Что такое мощность?
27. Что такое работа газа?

### **Вопросы к промежуточному тестированию**

#### **Коллоквиум №1**

1. Температурное поле, градиент температуры. Закон (гипотеза) Фурье.
2. Температура, тепло, тепловой поток, плотность, теплового потока, линейная плотность теплового потока, термическое сопротивление и его виды.
3. Дифференциальные уравнения теплопроводности (вывод). Смысл коэффициентов теплопроводности и температуропроводности.
4. Условия однозначности для уравнения теплопроводности. Краевые условия.
5. Теплопроводность через плоскую одно- и многослойную стенку.
6. Теплопроводность через цилиндрическую одно- и многослойные стенки. Критический диаметр изоляции.
7. Изоляция трубопроводов. Критический диаметр изоляции.
8. Определение коэффициента теплопроводности.
9. Теплопроводность стержня, нагреваемого с одного конца (стержень конечной длины)
10. Теплопроводность стержня, нагреваемого с одного конца (стержень бесконечной длины).
11. Теплопроводность пластины с равномерно распределёнными внутренними источниками тепла  $q_v$ , Вт/м<sup>3</sup> при граничных условиях I и III рода.
12. Определение количества теплоты, теряемой безграничной пластины в процессе охлаждения.
13. Понятие регулярного режима при нагреве (охлаждении тела).
14. Нестационарная теплопроводность тел конечных размеров.

### **Вопросы к промежуточному тестированию**

#### **Коллоквиум №2**

1. Основной закон конвективного теплообмена (Ньютона-Рихмана). Термическое сопротивление.
2. Пути интенсификации процессов теплопередачи.
3. Коэффициент теплопередачи через стенку.
4. Критерии подобия. Физический смысл.
5. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена.
6. Условия однозначности для дифференциального уравнения конвективного теплообмена.
7. Понятие гидродинамического пограничного слоя. Толщина гидродинамического пограничного слоя
8. Понятие теплового пограничного слоя. Его связь с толщиной гидродинамического пограничного слоя и коэффициентом теплоотдачи.
9. Подобие физических процессов.
10. Моделирование процессов теплообмена, правила моделирования, получение критериальных уравнений.
11. Особенности моделирования теплоотдачи при ламинарном и турбулентном течении жидкости.
12. Обработка и обобщение опытных данных при моделировании процессов теплообмена
13. Расчёт теплоотдачи при свободной конвекции в неограниченном пространстве.
14. Расчет теплоотдачи при свободной конвекции около вертикальной поверхности.
15. Расчет теплоотдачи при свободной конвекции около горизонтальных труб.
16. Особенности расчёта теплоотдачи при свободной конвекции в ограниченном пространстве.
17. Теплоотдача при внешнем обтекании пластины.
18. Теплообмен при вынужденном движении жидкости по трубам и каналам.
19. Расчет теплоотдачи при вынужденном ламинарном течении жидкости в трубах и каналах.
20. Расчет теплоотдачи при вынужденном турбулентном течении жидкости в трубах и каналах.

21. Особенности расчета теплоотдачи при переходном режиме вынужденного течения жидкости в трубах и каналах.
22. Теплоотдача при внешнем обтекании одиночных труб и пучков труб.

### **Вопросы к промежуточному тестированию**

#### **Коллоквиум №3**

1. Особенности расчёта теплоотдачи при фазовых переходах.
2. Теплоотдача при конденсации неподвижного сухого пара на вертикальной поверхности.
3. Особенности теплоотдачи при конденсации пара на пучках труб.
4. Кривая кипения при «паровом» и «электрическом обогреве поверхности», фазы процесса, критические плотности теплового потока
5. Теплоотдача при пузырьковом кипении жидкости в большом объеме.
6. Расчёт теплоотдачи при кипении движущейся жидкости в трубах.
7. Основные положения тепломассообмена.
8. Тепло- и массоотдача.
9. Дифференциальные уравнения тепло- и массообмена.
10. Тройная аналогия.
11. Тепло- и массоотдача при испарении жидкости в парогазовую среду.

### **Вопросы к промежуточному тестированию**

#### **Коллоквиум №4**

1. Основные законы лучистого теплообмена.
2. Закон Кирхгофа.
3. Закон Ламберта.
4. Связь законов Стефана-Больцмана и Планка.
5. Связь эффективного и результирующего потоков лучистой энергии.
6. Расчет количества лучистой энергии, идущей с одного тела на другое в диатермичной среде. Угловой коэффициент и взаимная поверхность
7. Теплообмен излучением между двумя параллельными пластинами при наличии экрана между ними.
8. Расчет теплообмена излучением между двумя телами, одно из которых находится в полости другого.
9. Расчет теплообмена излучением между излучающим газом и стенкой
10. Теплообменные аппараты. Классификация.
11. Основные уравнения для расчётов параметров в рекуператорах.
12. Схемы движения теплоносителей. Цель конструкторского и проверочного расчетов теплообменников.
13. Вычисление среднего температурного напора в теплообменниках.
14. Расчет среднего температурного напора для теплообменных аппаратов со сложной схемой движения теплоносителей.

### **Вопросы к собеседованию (к зачету):**

1. Конвекция.
2. Теплопроводность.
3. Излучение.
4. Свободная конвекция.
5. Вынужденная конвекция.
6. Теплоотдача.
7. Теплопередача.
8. Радиационно-конвективный теплообмен.



9. Коэффициент теплопроводности.
10. Коэффициент теплоотдачи.
11. Температурное поле.
12. Изотермическая поверхность.
13. Тепловой поток.
14. Плотность теплового потока.
15. Закон Фурье.
16. Коэффициент температуропроводности.
17. Закон Ньютона–Рихмана.
18. Условия однозначности.
19. Коэффициент теплопередачи.
20. Критический диаметр изоляции.
21. Среднегарифмический температурный напор.
22. Ламинарный режим течения жидкости.
23. Турбулентный режим течения жидкости.
24. Определяющие и определяемые критерии подобия.
25. Число Нуссельта.
26. Число Прандтля.
27. Число Эйлера.
28. Число Пекле.

**Вопросы к собеседованию (к экзамену):**

1. Основные виды переноса теплоты.
2. Теплопроводность в твердых телах.
3. Математическое описание процесса теплопроводности.
4. Температурное поле и градиент температуры.
5. Закон Фурье. Тепловой поток. Коэффициент теплопроводности.
6. Термическое сопротивление.
7. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Коэффициент температуропроводности.
8. Условия однозначности для процессов теплопроводности.
9. Передача теплоты через однослойные и многослойные стенки различной геометрической формы (плоскую, цилиндрическую и шарообразную стенки).
10. Пути интенсификации теплопередачи.
11. Нестационарная теплопроводность. Аналитическое описание процесса.
12. Охлаждение (нагревание) пластины (цилиндра, шара).
13. Охлаждение (нагревание) тел конечных размеров.
14. Регулярный режим охлаждения (нагрева) тел.
15. Приближенные методы решения задач теплопроводности.
16. Конвективный теплообмен. Основные понятия и определения.
17. Уравнение Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи.
18. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена.
19. Краткие сведения из гидродинамики. Аналогия Прандтля.
20. Основы теории подобия.
21. Приведение дифференциальных уравнений конвективного теплообмена и условий однозначности к безразмерному виду.
22. Критерии подобия, их физический смысл.
23. Методы экспериментального определения коэффициентов теплоотдачи. Получение эмпирических критериальных уравнений.

24. Теплоотдача при свободном движении жидкости в неограниченном пространстве вдоль вертикальной пластины.
25. Теплоотдача при свободном движении жидкости в неограниченном пространстве у горизонтальных поверхностей.
26. Теплоотдача при свободном движении жидкости в ограниченном пространстве.
27. Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности.
28. Теплоотдача при ламинарном пограничном слое.
29. Теплоотдача при турбулентном пограничном слое.
30. Особенности движения и теплообмена в трубах.
31. Теплоотдача при ламинарном, турбулентном и переходном режимах течения жидкости в трубе.
32. Основные положения теплообмена при конденсации чистых паров.
33. Теплоотдача при пленочной конденсации движущегося пара на горизонтальных одиночных трубах и пучках труб и на вертикальной стенке, а также внутри труб.
34. Теплообмен при капельной конденсации пара.
35. Механизм процесса теплообмена при пузырьковом кипении жидкости.
36. Структура потока при кипении в условиях свободного движения.
37. Теплообмен при кипении жидкости внутри труб.
38. Теплоотдача при пузырьковом кипении жидкости.
39. Механизм теплообмена при пленочном режиме кипения жидкости.
40. Основные положения тепломассообмена. Тепло- и массоотдача.
41. Дифференциальные уравнения тепло- и массообмена.
42. Тройная аналогия.
43. Тепло- и массоотдача при испарении жидкости в парогазовую среду.
44. Теплообмен излучением. Описание процесса.
45. Виды лучистых потоков. Основные законы теплового излучения.
46. Методы исследования процессов лучистого теплообмена.
47. Теплообмен излучением в системе тел с плоскопараллельными поверхностями.
48. Коэффициент излучения твердых тел и методы его определения.
49. Классификация теплообменных аппаратов.
50. Основные положения и уравнения теплового расчета.
51. Средняя разность температур и методы ее вычисления.
52. Расчет выходной температуры теплоносителей.
53. Методы определения температур поверхности теплообмена.
54. Гидромеханический расчет теплообменных аппаратов.

### **Шкалы оценки образовательных достижений**

зачет

<b>Баллы</b> (итоговой рейтинговой оценки)	<b>Оценка (балл за ответ на зачете)</b>	<b>Требования к знаниям</b>
100-60	«зачтено»	<p>4 Оценка «зачтено» если он имеет знания основного материала, если он прочно усвоил программный материал, последовательно, четко и логически стройно его излагает его на зачете, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения, умеет тесно увязывать теорию с практикой</p> <p>5 Учебные достижения в семестровый период и результатами рубежного контроля демонстрируют достаточную степень</p>

		овладения программным материалом.
59-0	«не зачтено»	<p>55. Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «не зачтено» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.</p> <p>56. Учебные достижения в семестровый период и результатами рубежного контроля демонстрировали не высокую степень овладения программным материалом по минимальной планке.</p>

#### Экзамен

Баллы (рейтинговой оценки)	Оценка экзамена (баллы за от- веты на экза- мене)	Требования к знаниям
90-100	«отлично»	<p>Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.</p> <p>Записывает расчетные формулы, объясняет их значение, перечисляет основные законы, записывает математические выражения основных законов.</p>
70-89	«хорошо»	<p>Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.</p>
60-69	«удовлетворительно»	<p>Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.</p>
0-59	«неудовлетворительно»	<p>Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.</p>

#### Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины

Основная литература:

1. Горбачев, М. В. Тепломассообмен : учебное пособие / М. В. Горбачев. — Новосибирск : НГТУ, 2015. — 443 с. <https://e.lanbook.com/book/118074>
2. Дерюгин, В. В. Тепломассообмен : учебное пособие / В. В. Дерюгин, В. Ф. Васильев, В. М. Уляшева. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 240 с. <https://e.lanbook.com/book/145855>
3. Горбачев, М. В. Тепломассообмен : учебное пособие / М. В. Горбачев. — Новосибирск : НГТУ, 2015. — 443 с. <https://e.lanbook.com/book/118074>
4. Шаров, Ю. И. Тепломассообмен : учебное пособие / Ю. И. Шаров, О. К. Григорьева. — Новосибирск : НГТУ, 2018. — 164 с. <https://e.lanbook.com/book/118187>
5. Шкаровский, А. Л. Теплоснабжение : учебник / А. Л. Шкаровский. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 392 с. <https://e.lanbook.com/book/136185>

#### Дополнительная литература:

6. Горбачев, М. В. Тепломассообмен. Теплопроводность : учебное пособие / М. В. Горбачев. — Новосибирск : НГТУ, 2020. — 76 с. <https://e.lanbook.com/book/152134>
7. Дюкова, И. Н. Тепломассообмен. Экспериментальное исследование характеристик теплообмена : учебное пособие / И. Н. Дюкова. — Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2015. — 32 с. <https://e.lanbook.com/book/71868>
8. Замалеев, З. Х. Основы гидравлики и теплотехники : учебное пособие / З. Х. Замалеев, В. Н. Посохин, В. М. Чефанов. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 352 с. <https://e.lanbook.com/book/100922>

### **Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины**

Лекционные занятия проводятся в мультимедийной аудитории №.411.

Автоматизированное рабочее место преподавателя:

Компьютер ORION 215 – 1;

процессор-AMD Athlon(tm)IIx2215, 2,70 GHz

оперативная память – 4,00 Gb.

Проектор Casio XJ-V2 – 1;

Микрофон Aceline AMIC-1 настольный-1;

Экран настенный с электроприводом -1;

Лицензионное и свободное программное обеспечение общего и профессионального назначения.

Практические занятия проводятся в лаборатории «Теплотехника и термодинамика» (ауд.318)

Комплект учебно-наглядных пособий и плакатов;

Комплект документации, методическое обеспечение;

Лабораторный стенд ТОТ-ТПБ для испытания различных конструкций теплообменников;

Лабораторные установки для выполнения лабораторных работ:

1.Определение теплоемкости воздуха;

2.Определение критического диаметра тепловой изоляции;

3.Определение критического перепада давления и критической скорости;

4.Определение коэффициента теплопроводности сыпучих материалов.

Лабораторный стенд «Технология очистки и обезвреживания промышленных выбросов».

Реализация компетентностного подхода в процессе изучения дисциплины предполагает организацию интерактивных занятий. Интерактивные занятия проводятся в виде лабораторных занятий, во время которых обучающиеся в непосредственном контакте с преподавателем осваивают практические навыки проведения экспериментальных исследований.

### **Учебно-методические рекомендации для студентов**

1. Указания для прослушивания лекций

Перед началом занятий внимательно ознакомиться с учебным планом проведения лекций и списком рекомендованной литературы.

Перед посещением очередной лекции освежить в памяти основные концепции пройденного ранее материала. Подготовить при необходимости вопросы преподавателю. Не надо опасаться, что вопросы могут быть простыми.

На лекции основное внимание следует уделять не формулам и математическим выкладкам, а содержанию изучаемых вопросов, определениям и постановкам задач.

В процессе изучения лекционного курса необходимо по возможности часто возвращаться к основным понятиям и методам решения задач (здесь возможен выборочный контроль знаний студентов).

Желательно использовать конспекты лекций, в которых используется принятая преподавателем система обозначений.

Для более подробного изучения курса следует работать с рекомендованными литературными источниками и вновь появляющимися источниками.

## 2. Указания для участия в практических занятиях

Перед посещением уяснить тему практического занятия и самостоятельно изучить теоретические вопросы.

Получить у преподавателя задание на выполнение практического задания, как правило это решение задачи по пройденному лекционному материалу. Решение задачи оформить письменно или выполнить с использованием компьютера и при необходимости распечатать и сдать преподавателю на проверку.

Перед посещением уяснить тему практического занятия и самостоятельно изучить теоретические вопросы.

В конце занятия при необходимости выяснить у преподавателя неясные вопросы.

Основные результаты выполнения работы необходимо распечатать.

## 3. Указания для выполнения самостоятельной работы

Получить у преподавателя задание и список рекомендованной литературы. Изучение теоретических вопросов следует проводить по возможности самостоятельно, но при затруднениях обращаться к преподавателю.

Подготовить письменный отчет о проделанной работе.

При выполнении фронтальных заданий по усмотрению преподавателя работа может быть оценена без письменного отчета на основе ответов на контрольные вопросы, при условии активной самостоятельной работы.

Подготовить ответы на контрольные вопросы

# Методические рекомендации для преподавателей

## 1. Указания для проведения лекций

На первой вводной лекции сделать общий обзор содержания курса и отметить новые методы и подходы к решению задач, рассматриваемых в курсе, довести до студентов требования кафедры, ответить на вопросы.

При подготовке к лекционным занятиям необходимо продумать план его проведения, содержание вступительной, основной и заключительной части лекции, ознакомиться с новинками учебной и методической литературы, публикациями периодической печати по теме лекционного занятия. Уточнить план проведения семинарского занятия по теме лекции. Перед изложением текущего лекционного материала напомнить об основных итогах, достигнутых на предыдущих лекциях. С этой целью задать несколько вопросов аудитории и осуществить выборочный контроль знания студентов.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы по теме занятия. Раскрывая содержа-

ние учебных вопросов, акцентировать внимание студентов на основных категориях, явлениях и процессах, особенностях их протекания. Раскрывать сущность и содержание различных точек зрения и научных подходов к объяснению тех или иных явлений и процессов.

Следует аргументировано обосновать собственную позицию по спорным теоретическим вопросам. Приводить примеры. Задавать по ходу изложения лекционного материала риторические вопросы и самому давать на них ответ. Это способствует активизации мыслительной деятельности студентов, повышению их внимания и интереса к материалу лекции, ее содержанию. Преподаватель должен руководить работой студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой темы, особо выделяя, категориальный аппарат. В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции. Объявить план очередного практического занятия, дать краткие рекомендации по подготовке студентов к семинару. Определить место и время консультации студентам, пожелавшим выступить на семинаре с докладами и рефератами.

На последней лекции уделить время для обзора наиболее важных положений, рассмотренных в курсе.

## 2. Указания для проведения практических занятий

Подготовить теоретические вопросы или задачи, которые должны выполнить студенты вовремя практического занятия. Подготовить список литературных источников, необходимых для выполнения задания и которые студенты могут получить в библиотеке института. Подготовить перечень интернет-ресурсов, которые помогут в выполнении практического задания. После получения отчет выполнить проверку и на следующем практическом занятии разобрать допущенные ошибки и подсказать, как их необходимо устранить.

Четко обозначить тему занятия.

Обсудить основные понятия, связанные с темой.

В процессе решения задач вести дискуссию со студентами о правильности применения теоретических знаний.

Отмечать студентов, наиболее активно участвующих в решении задач и дискуссиях.

## 3. Указания по контролю самостоятельной работы студентов

По усмотрению преподавателя задание на самостоятельную работу может быть индивидуальным или фронтальным.

При использовании индивидуальных заданий требовать от студента письменный отчет о проделанной работе.

При применении фронтальных заданий вести коллективные обсуждения со студентами основных теоретических положений.

С целью контроля качества выполнения самостоятельной работы требовать индивидуальные отчеты (допустимо вместо письменного отчета применять индивидуальные контрольные вопросы).

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС НИЯУ МИФИ и учебным планом основной образовательной программы по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника.

Рабочую программу составил: доцент Устинов Н.А.

Рецензент: доцент Костин Д.А.

Программа одобрена на заседании УМКН 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника.

Председатель учебно-методической комиссии Разуваев А.В.