

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Тепловая и атомная энергетика» им. А.И. Андрющенко

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

по дисциплине

Б.1.1.15 «Тепломассообмен»

направления подготовки

13.03.01 "Теплоэнергетика и теплотехника"

Профиль 1 «Промышленная теплотехника»

Профиль 3 «Тепловые электрические станции»

Профиль 4 «Энергообеспечение предприятий»

форма обучения – очная

курс – 2

семестр – 3, 4

зачетных единиц – 7 (3, 4)

часов в неделю – 3, 4

всего часов – 252 (108, 144)

в том числе:

лекции – 46 (18, 28)

коллоквиумы – (-, 8)

практические занятия – 36 (18, 18)

лабораторные занятия – 36 (18, 18)

самостоятельная работа – 126 (54,72)

зачет – 3 семестр

экзамен – 4 семестр

РГР – нет

курсовая работа – нет

курсовой проект – нет

## **1. Цели и задачи дисциплины**

Целью изучения дисциплины является получение студентами знаний физических законов основных способов переноса теплоты и массы и их приложения к практическим инженерным задачам, методам исследования процессов теплообмена. Дисциплина знакомит студентов с ролью теории подобия и методики моделирования процессов тепло- и массообмена, развивает навыки и умение творческого использования основных законов тепломассообмена при решении конкретных задач.

В дисциплине изучаются методы расчета и интенсификации процессов переноса теплоты, основы расчета тепломассообменной аппаратуры, приобретаются навыки экспериментального исследования процессов теплообмена.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП ВО**

Дисциплина «Тепломассообмен» входит в вариативную часть 1 блока дисциплин подготовки бакалавра по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими дисциплинами и частями ООП выражается в следующем.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: математика; физика; техническая термодинамика и гидрогазодинамика.

Знания, полученные по освоению дисциплины, необходимы при изучении следующих дисциплин профессионального цикла: паровые и газовые турбины, паровые котлы электрических станций и промышленных предприятий; источники и системы теплоснабжения; тепломассообменные аппараты; энергетические комплексы промпредприятий и при выполнении бакалаврской выпускной квалификационной работы.

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины**

Изучение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

– способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОПК-2);

– способность к проведению экспериментов по заданной методике, обработке и анализу полученных результатов с привлечением соответствующего математического аппарата (ПК-4).

Студент должен знать основные законы и фундаментальные принципы тепломассообмена, аналитические и экспериментальные методы

определения характеристик процессов тепломассообмена, методы решения задач и анализа полученных результатов.

Студент должен уметь: рассчитывать тепловые потоки через различные виды стенок при конвективном теплообмене, фазовых превращениях и тепловом излучении; проводить тепловой расчет теплообменных аппаратов; рассчитывать тепломассообменные процессы.

Студент должен владеть: методами теоретического и экспериментального исследования тепло- и массообмена.

В результате изучения дисциплины «Тепломассообмен» студенты должны иметь представление об основных направлениях рационального использования тепловой энергии, современных методах проектирования, позволяющих реализовать эффективные и экономичные технологии, обеспечивающие высокие показатели надежности и эффективности.

Студенты должны знать основные законы и фундаментальные принципы тепломассообмена, аналитические и экспериментальные методы определения характеристик процессов тепломассообмена, методы решения задач и анализа полученных результатов.

Изучая «Тепломассообмен», студенты получают навыки в решении задач теплопроводности и теплообмена применительно к условиям работы различных аппаратов и проведении тепловых расчетов установок по трансформации теплоты.

Содержание дисциплины «Тепломассообмен» по предлагаемой рабочей программе включает все основные разделы дисциплины, рекомендуемые Государственным Образовательным Стандартом высшего профессионального образования по направлению – Теплоэнергетика и теплотехника.

#### **4. Распределение трудоемкости (час.) дисциплины по темам и видам занятий**

№ модуля	№ недели	№ темы	Наименование темы	Часы					
				Всего	Лекции	Коллоквиум	Лабораторные	Практические	СРС
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>3 семестр</b>									
1	1	1	Введение. Основные понятия и определения	4	2	–	–	–	2
	2	2	Основные положения теории теплопроводности	6	2	–	–	–	4
	3 - 10	3	Теплопроводность при стационарном режиме	36	6	–	10	8	12
2	11 -	4	Теплопроводность в ребре	28	2	–	4	4	18

	15		постоянного и переменного сечения. Теплопроводность ребристой стенки						
	16	5	Теплопроводность с внутренними источниками тепла	10	2	–	–	–	8
	17, 18	6	Теплопроводность при нестационарном режиме	24	4	–	4	6	10
<b>Всего в 3 семестре</b>				<b>108</b>	<b>18</b>	<b>–</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>54</b>
<b>4 семестр</b>									
1	1, 2	1	Основные положения конвективного теплообмена	14	2	4	–	–	8
	3	2	Применение методов теории подобия к изучению процессов конвективного теплообмена	8	2	–	–	2	4
	4, 8	3	Конвективный теплообмен при вынужденном течении жидкости	30	4	–	6	2	18
	9, 10	4	Конвективный теплообмен при свободном движении	22	2	4	6	2	8
2	11,1 2	5	Теплообменные аппараты. Порядок теплового расчета теплообменных аппаратов	24	6	–	4	6	8
	13,1 4	6	Теплоотдача при конденсации паров	14	4	–	–	2	8
	15, 16	7	Теплоотдача при кипении жидкости	14	4	–	–	2	8
	17, 18	8	Теплообмен излучением	18	4	–	2	2	10
<b>Всего в 4 семестре</b>				<b>144</b>	<b>28</b>	<b>8</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>72</b>
<b>Всего</b>				<b>252</b>	<b>46</b>	<b>8</b>	<b>46</b>	<b>36</b>	<b>126</b>

## 5. Содержание лекционного курса

№ темы	Всего часов	№ лекции	Тема лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
<b>3 семестр</b>				
1	2	1	Введение. Предмет курса, общие понятия. Основные процессы передачи теплоты: теплопроводность, конвективный теплообмен, теплообмен излучением. Основные определения тепломассообмена. Теплоотдача, теплопередача.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
2	2	2	Основные положения теории теплопроводности. Температурное поле, температурный градиент, тепловой поток. Закон Фурье. Механизм процесса теплопроводности в газах, жидкостях, металлах, строительных и теплоизоляционных материалах.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5

			Коэффициент теплопроводности, его зависимость от различных факторов. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности. Закон Ньютона-Рихмана.	
3	2	3	Теплопроводность при стационарном режиме. Теплопроводность однородной плоской, цилиндрической, шаровой стенок при граничных условиях 1-го рода. Теплопроводность многослойной стенки. Распределение температур при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
3	2	4	Передача теплоты через плоскую, цилиндрическую и шаровую стенки при граничных условиях 3-го рода. Выражения для теплового потока, коэффициента теплопередачи и термического сопротивления.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
4	2	5	Теплопроводность в стержне (ребре) постоянного поперечного сечения. Передача теплоты через прямое ребро постоянной толщины, прямое ребро переменного сечения, круглое ребро постоянной толщины.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
4	2	6	Передача теплоты через ребристую стенку. Теплопроводность при наличии внутренних источников теплоты: пластина, цилиндр, труба. Передача теплоты через ребристую стенку.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
5	2	7	Теплопроводность при наличии внутренних источников теплоты: пластина, цилиндр, труба.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
6	2	8	Теплопроводность при нестационарном режиме. Теплопроводность тонкой пластины, длинного цилиндра и шара. Анализ решений, частные случаи.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
6	2	9	Нагревание (охлаждение) тел конечных размеров. Регулярный режим нагревания (охлаждения) тел: свойства температурного поля в начальный период и в период регулярного режима. Темп охлаждения и его определение. Определение теплофизических характеристик методом регулярного режима.	
<b>4 семестр</b>				
1	2	1	Основные положения конвективного теплообмена. Основные случаи теплоотдачи: теплоотдача в однофазных жидкостях и при фазовых превращениях; при вынужденной и естественной конвекции. Система дифференциальных уравнения конвективного теплообмена однокомпонентной системы: уравнения теплоотдачи; энергии; движения и сплошности. Условия однозначности	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
2	2	2	Применение методов подобия и размерностей к изучению процессов конвективного теплообмена. Приведение дифференциальных уравнений конвективного теплообмена и условий однозначности к безразмерному виду. Понятие о гидродинамическом и тепловом пограничных слоях. Ламинарное и турбулентное течение жидкости и связь с теплообменом	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
3	2	3	Понятие о гидродинамическом и тепловом пограничных слоях. Ламинарное и турбулентное течение жидкости и связь с теплообменом. Особенности	15.1; 15.2; 15.4; 15.5

			течения и теплообмена в трубах. Режимы течения. Участки гидродинамической и тепловой стабилизации. Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы течения. Теплоотдача при ламинарном и турбулентном режимах течения жидкости в гладких трубках круглого поперечного сечения. Расчетные уравнения.	
3	2	4	Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании одиночной трубы. Влияние на теплоотдачу степени турбулентности набегающего потока и угла атаки. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании пучка труб. Основные типы пучков труб. Влияние на теплоотдачу режима течения потока жидкости, номера ряда пучка, относительных шагов труб, угла атаки, расположения труб в пучке. Расчетные уравнения.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
4	2	5	Конвективный теплообмен при свободном движении жидкости. Факторы, обуславливающие свободное движение. Характер движения жидкости вдоль вертикальной стенки и изменение величины коэффициента теплоотдачи по высоте стенки. Характер движения жидкости вблизи горизонтальных труб и пластин. Расчетные уравнения. Методика расчета теплоотдачи при свободном движении в ограниченном пространстве	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
5	2	6	Теплообменные аппараты, назначение, классификация. Основы теплового расчета теплообменных аппаратов: Конструкторский и поверочный расчеты; уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи. Средний температурный напор. Сравнение прямого и противотока. Расчет температур теплоносителей.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
5	2	7	Гидравлический расчет теплообменных аппаратов: выражение для определения полного падения давления; сопротивление трения и местные сопротивления; затраты напора, обусловленные ускорением потока и преодолением гидростатического давления столба жидкости. Мощность, необходимая для перемещения теплоносителя.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
5	2	8	Особенности процессов тепло- и массообмена в контактных аппаратах и основы их расчета. Выбор рационального способа интенсификации процесса теплообмена в теплообменных аппаратах. Сравнение рекуператоров и регенераторов. Технико-экономический расчет и оптимальная компоновка теплообменных аппаратов.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
6	2	9	Теплообмен при конденсации чистого пара. Общие сведения о процессе. Пленочная и капельная конденсация. Конденсация сухого насыщенного пара на вертикальных стенках при ламинарном и турбулентном течении пленки. Влияние на теплоотдачу скорости пара.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
6	2	10	Конденсация пара внутри труб. Конденсация сухого насыщенного пара на горизонтальных трубах и пучках труб. Характер обтекания конденсатом пучков труб, изменение теплоотдачи по рядам, влияние скорости пара	15.1; 15.2; 15.4; 15.5

			и других факторов. Теплоотдача при капельной конденсации. Тепло- и массоотдача при конденсации пара из парогазовой смеси.	
7	2	11	Теплообмен при кипении жидкости. Механизм и процесс кипения. Условия зарождения и скорости роста парового пузырька. Отрывной диаметр, факторы, влияющие на интенсивность теплообмена при пузырьковом кипении в большом объеме. Уравнения, описывающие процесс теплообмена при пузырьковом кипении. Теплоотдача в пучках труб.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
7	2	12	Теплообмен при кипении жидкости в трубах. Характер движения парожидкостной смеси в горизонтальных и вертикальных трубах. Зависимость теплоотдачи от скорости циркуляции, объемного паросодержания и плотности теплового потока. Уравнения, описывающие процесс теплообмена. Критические плотности теплового потока. Расчет критических тепловых нагрузок. Механизм пленочного кипения. Расчет теплоотдачи при пленочном кипении жидкости.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
8	2	13	Теплообмен излучением. Основные понятия и определения: поверхностная и спектральная плотность потока излучения; интенсивность излучения; поглощательная, отражательная и пропускная способность тела. Законы теплового излучения: закон Планка, закон Вина, закон Релея-Джинса, закон Кирхгофа, закон Стефана-Больцмана, закон Ламберта.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
8	2	14	Радиационный теплообмен между твердыми телами, разделенными прозрачной средой. Теплообмен излучением в поглощающей среде. Поглощение, рассеивание и излучение энергии в газовых средах. Закон Бугера. Расчет теплообмена между излучающей средой и поверхностью твердого тела. Сложный теплообмен.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5

## 6. Содержание коллоквиумов

№ темы	Всего часов	№ коллоквиума	Тема коллоквиума. Вопросы, отрабатываемые на коллоквиуме	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
1	4	1	Виды конвективного теплообмена. Сложный теплообмен	15.1; 15.2
4	4	2	Теплоотдача при свободном движении в ограниченном пространстве	15.4; 15.5

## 7. Перечень практических занятий

№ темы	Всего часов	№ занятия	Тема практического занятия. Задания, вопросы, отрабатываемые на практическом занятии	Учебно-методическое обеспечение
--------	-------------	-----------	--	---------------------------------

1	2	3	4	5
3	2	1	Теплопроводность для плоской стенки при граничных условиях 1-го и 3-го рода	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
3	2	2	Теплопроводность для цилиндрической стенки при граничных условиях 1-го и 3-го рода. Критический диаметр изоляции	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
4	2	3	Теплопроводность в ребрах круглого сечения.	15.1; 15.2; 15.4
4	2	4	Теплопроводность ребристой стенки	15.1; 15.2; 15.4
5	2	5	Теплопроводность с внутренними источниками тепла плоской стенки	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
5	2	6	Теплопроводность с внутренними источниками тепла стержня	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
6	2	7	Определение распределения температур в теле при нагревании или охлаждении тел разной формы бесконечных размеров.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
6	2	8	Определение распределения температур в теле при нагревании или охлаждении тел разной формы конечных размеров.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
6	2	9	Определение количества теплоты на нагрев тел конечных размеров	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
<b>4 семестр</b>				
2	2	1	Критерии подобия. Критериальные уравнения	15.1; 15.2; 15.5
3	2	2	Теплоотдача при вынужденном движении в трубах	15.1; 15.2; 15.5
4	2	3	Теплоотдача при свободном движении около вертикальной стенки и горизонтальных труб	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
5	2	4	Определение коэффициента теплопередачи и температурного напора для различных теплообменников	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
5	2	5	Тепловой расчет кожухотрубчатых теплообменников	15.1; 15.2; 15.5
5	2	6	Аэродинамический расчет кожухотрубчатых теплообменников	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
6	2	7	Определение коэффициента теплоотдачи при конденсации пара на вертикальных стенках и на горизонтальных трубах	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
7	2	8	Определение коэффициента теплоотдачи при кипении в большом объеме и при движении внутри труб	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
8	2	9	Определение количества теплоты переданного излучением	15.1; 15.2; 15.4; 15.5

## 8. Перечень лабораторных работ

№ темы	Всего часов	Наименование лабораторной работы. Задания, вопросы, обрабатываемые на лабораторном занятии	Учебно-методическое обеспечение
1	2	4	3
<b>3 семестр</b>			
3	4	Определение коэффициента теплопроводности сыпучих материалов методом шара	15.1; 15.2; 15.4; 15.5; 15.6
3	4	Определение коэффициента теплопроводности методом трубы	15.1; 15.2; 15.4; 15.5; 15.6

4	4	Определение коэффициента теплопроводности материала стержня	15.1; 15.2; 15.4; 15.5; 15.6
6	6	Определение коэффициента температуропроводности методом регулярного режима	15.1; 15.2; 15.4; 15.5; 15.6
<b>4 семестр</b>			
3,5	10	Определение коэффициента теплопередачи в водяном теплообменнике	15.4; 15.5
4	6	Определение коэффициента теплоотдачи для горизонтальной трубы при свободной конвекции	15.1; 15.2; 15.4; 15.5; 15.6
8	2	Определение угловых коэффициентов излучения методом светового моделирования	15.1; 15.2; 15.4; 15.5; 15.6

## 9. Задания для самостоятельной работы студентов

№ темы	Всего Часов	Задания, вопросы, для самостоятельного изучения (задания)	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4
<b>3 семестр</b>			
1	2	Можно ли по расположению изотермических поверхностей судить о величине градиента температуры или плотности теплового потока	15.1; 15.2; 15.4; 15.5; 15.7
2	4	Можно ли рассматривать дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье как одну из форм закона сохранения энергии	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
3	4	Теплопроводность многослойной шаровой стенки. Критический диаметр изоляции для шаровой стенки	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
1	4	Как изменяется коэффициент теплопроводности для чистых металлов и сплавов	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
3	4	Является ли перенос теплоты через стекло примером сложного теплообмена	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
4	18	В чем эффективность применения ребристых поверхностей Где следует ставить ребра – со стороны среды с большим или меньшим коэффициентом теплоотдачи и почему	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
5	8	Какие критерии и как влияют на скорость изменения температуры внутри тела и на поверхности при нестационарной теплопроводности	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
6	10	Чем характеризуется регулярный режим нестационарной теплопроводности	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
<b>4 семестр</b>			
1	8	Система дифференциальных уравнений описывающих конвективный теплообмен	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
2	2	Какие критерии подобия описывают вынужденное и свободное движение	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
3	4	Верно ли, что относительное изменение скорости течения и относительное изменение теплоотдачи при ламинарном и турбулентном режимах одинаково	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
3	4	Как изменяется влияние скорости потока при	15.1; 15.2; 15.4;

		изменение режима движения жидкости	15.5
2	2	Как получить критериальное уравнение степенной формы	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
3	6	Теплоотдача в изогнутых и шероховатых трубах	15.1; 15.2; 15.4
4	4	В каком случае можно производить расчет теплоотдачи при свободном движении в большом объеме, а в каких случаях в ограниченном объеме	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
4	4	Можно ли исключить свободную конвекцию в зазоре между двумя горизонтальными поверхностями, отличающимися друг от друга температурой	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
3	4	Особенности определения коэффициента теплоотдачи при сверхзвуковых скоростях	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
5	2	Докажите эффективность противотока относительно прямотока	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
5	2	В каких случаях прямоток равно эффективен противотоку	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
5	2	Определение конечных температур теплоносителей в теплообменных аппаратах	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
5	2	Особенности теплообмена в пластинчатых теплообменниках	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
6	8	Почему критерий Рейнольдса при конденсации пара характеризует интенсивность теплообмена. Существуют ли конструктивные решения для повышения интенсивности теплообмена при конденсации	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
7	8	Опишите структуру потока при кипении жидкости внутри вертикальной и горизонтальной трубок. Как рассчитывается процесс теплообмена при кипении движущейся жидкости в трубах.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
8	6	Перечислите способы интенсификации теплообмена излучением. Покажите на примерах.	15.1; 15.2; 15.4; 15.5
8	4	Укажите различие между местными и средними угловыми коэффициентами излучения и способы их определения	15.10; 15.11; 15.13; 15.14

### **10. Расчетно-графическая работа**

*Не предусмотрена учебным планом.*

### **11. Курсовая работа**

*Не предусмотрена учебным планом.*

### **12. Курсовой проект**

*Не предусмотрен учебным планом.*

### 13. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

В процессе освоения образовательной программы у обучающегося в ходе изучения дисциплины Б.1.1.5 «Тепломассообмен» должны сформироваться профессиональные компетенции ОПК-2, ПК-4.

Под компетенцией **ОПК-2** понимается способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.

Для формирования данной компетенции необходимы базовые знания, фундаментальных разделов математики, физики, термодинамики, гидрогазодинамики, информатики.

Карта компетенций дисциплины Б.1.1.5 «Тепломассообмен»					
Компетенции		Перечень компонентов	Технология формирования	Форма оценочного средства	Ступени уровней освоения компетенций
Индекс	Формулировка				
ОПК-2	способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	<p>Знать: основные и фундаментальные принципы теплообмена, аналитические и экспериментальные методы определения характеристик процессов теплообмена, методы решения задач и анализа полученных результатов.</p> <p>Уметь: выполнять инженерные теплотехнические расчеты, используя основные законы теплообмена.</p> <p>Владеть: законами и основными понятиями теплообмена; применять на практике методы теоретического и экспериментального исследования теплообмена; рассчитывать тепловые потоки через различные виды стенок при конвективном</p>	<p>Лекции</p> <p>Коллоквиумы</p> <p>Самостоятельная работа</p> <p>Лабораторные занятия</p> <p>Практические занятия</p>	<p>Устный ответ</p> <p>Зачет</p> <p>Экзамен</p>	<p><b>Пороговый (удовлетворительный) уровень:</b></p> <p>Знает: законы, определяющие теплопроводность, конвективный теплообмен, тепловое излучение; величины, характеризующие процессы переноса теплоты теплопроводностью, конвекцией и излучением.</p> <p>Умеет: выполнять инженерные теплотехнические расчеты, используя основные законы теплообмена. Владеет: законами теплообмена; применять на практике методы теоретического и экспериментального исследования теплообмена.</p> <p><b>Продвинутый (хорошо) уровень:</b></p> <p>Знает: законы, определяющие</p>

		<p>теплообмене, фазовых превращениях и тепловом излучении; проводить тепловой расчет теплообменных аппаратов; рассчитывать тепломассообменные процессы.</p>		<p>теплопроводность, конвективный теплообмен, тепловое излучение, молекулярную диффузию; величины, характеризующие процессы переноса теплоты теплопроводностью, конвекцией, излучением и массоотдачей; методы теоретического и экспериментального определения величин интенсивности теплового потока, теплопроводности различных сред и материалов; теорию подобия, как метод рационального проведения экспериментальных исследований.</p> <p>Умеет:</p> <p>выполнять инженерные теплотехнические расчеты, используя основные законы тепломассообмена.</p> <p>Владеет:</p> <p>законами тепломассообмена; применять на практике методы теоретического и экспериментального исследования тепломассообмена; рассчитывать тепловые потоки через различные виды стенок при конвективном теплообмене, фазовых превращениях и тепловом излучении.</p> <p><b>Высокий (отлично) уровень:</b></p> <p>Знает: законы, определяющие теплопроводность, конвективный теплообмен, тепловое излучение, молекулярную диффузию; величины, характеризующие процессы переноса теплоты теплопроводностью, конвекцией,</p>
--	--	---	--	---

					<p>излучением и массоотдачей;</p> <p>методы теоретического и экспериментального определения величин интенсивности теплового потока, теплопроводности различных сред и материалов;</p> <p>теорию подобия, как метод рационального проведения экспериментальных исследований;</p> <p>расчет интенсивности теплового потока при конвективном теплообмене при свободном и вынужденном движении жидкости в различных геометрических системах.</p> <p>Расчет теплообмена при фазовых превращениях и тепловом излучении. Тепловой расчет теплообменных аппаратов различного типа.</p> <p>Умеет:</p> <p>выполнять инженерные теплотехнические расчеты, используя основные законы теплообмена.</p> <p>Владеет:</p> <p>законами теплообмена; применять на практике методы теоретического и экспериментального исследования теплообмена;</p> <p>рассчитывать тепловые потоки через различные виды стенок при конвективном теплообмене, фазовых превращениях и тепловом излучении;</p> <p>проводить тепловой расчет теплообменных аппаратов;</p> <p>рассчитывать теплообменные процессы.</p>
--	--	--	--	--	--

ПК-4	<p>способность к проведению экспериментов по заданной методике, обработке и анализу полученных результатов с привлечением соответствующего математического аппарата</p>	<p>Знать: основные законы и фундаментальные принципы теплообмена; аналитические и экспериментальные методы определения характеристик процессов теплообмена; методы решения задач и анализа полученных результатов.          Уметь: выполнять инженерные теплотехнические расчеты, используя основные законы теплообмена.          Владеть: законами теплообмена; применять на практике методы теоретического и экспериментального исследования теплообмена; рассчитывать тепловые потоки через различные виды стенок при конвективном теплообмене, фазовых превращениях и тепловом излучении; проводить тепловой расчет теплообменных аппаратов; рассчитывать теплообменные процессы.</p>	<p>Лекции          Коллоквиумы          Самостоятельная работа          Лабораторные занятия          Практические занятия</p>	<p>Устный ответ          Зачет          Экзамен</p>	<p><b>Пороговый (удовлетворительный) уровень:</b>          Знает: законы, определяющие теплопроводность, конвективный теплообмен, тепловое излучение; величины, характеризующие процессы переноса теплоты теплопроводностью, конвекцией, излучением и массообменом.          Умеет: выполнять инженерные теплотехнические расчеты, используя основные законы теплообмена.          Владеет: законами теплообмена; применять на практике методы теоретического и экспериментального исследования теплообмена.</p> <p><b>Продвинутый (хорошо) уровень:</b>          Знает: законы, определяющие теплопроводность, конвективный теплообмен, тепловое излучение, молекулярную диффузию; величины, характеризующие процессы переноса теплоты теплопроводностью, конвекцией, излучением и массообменом; методы теоретического и экспериментального определения величин интенсивности теплового потока, теплопроводности различных сред и материалов; теорию подобия, как метод рационального проведения экспериментальных исследований.</p>
------	---	---	--	---	---

					<p>Умеет:  выполнять инженерные теплотехнические расчеты, используя основные законы теплообмена.  Владеет:  законами теплообмена; применять на практике методы теоретического и экспериментального исследования теплообмена; рассчитывать тепловые потоки через различные виды стенок при конвективном теплообмене, фазовых превращениях и тепловом излучении. <b>Высокий (отлично)</b>  <b>уровень:</b>  Знает: законы, определяющие теплопроводность, конвективный теплообмен, тепловое излучение, молекулярную диффузию; величины, характеризующие процессы переноса теплоты теплопроводностью, конвекцией, излучением и массоотдачей; методы теоретического и экспериментального определения величин интенсивности теплового потока, теплопроводности различных сред и материалов; теорию подобия, как метод рационального проведения экспериментальных исследований; расчет интенсивности теплового потока при конвективном теплообмене при свободном и вынужденном движении жидкости в различных геометрических системах.  Расчет</p>
--	--	--	--	--	---

					<p>теплообмена при фазовых превращениях и тепловом излучении. Тепловой расчет теплообменных аппаратов различного типа.</p> <p>Умеет:</p> <p>выполнять инженерные теплотехнические расчеты, используя основные законы теплообмена.</p> <p>Владеет:</p> <p>законами теплообмена; применять на практике методы теоретического и экспериментального исследования теплообмена;</p> <p>рассчитывать тепловые потоки через различные виды стенок при конвективном теплообмене, фазовых превращениях и тепловом излучении; проводить тепловой расчет теплообменных аппаратов; рассчитывать теплообменные процессы.</p>
--	--	--	--	--	--

Для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины «Б.1.1.5 «Теплообмен», проводится промежуточные аттестации в виде модуля.

### Вопросы для зачета

#### 3 семестр

1. Предмет теплообмена. Виды теплообмена: теплопроводность, конвекция, тепловое излучение.
2. Температурное поле, температурный градиент, тепловой поток. Закон Фурье.
3. Коэффициент теплопроводности газов, жидкостей, твердых тел.

4. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
5. Условие однозначности для процессов теплопроводности.
6. Теплопроводность плоской однослойной и многослойной стенок при граничных условиях 1 рода.
7. Передача теплоты через однослойную и многослойную плоские стенки при граничных условиях 3 рода.
8. Графическое определение неизвестных температур плоской многослойной стенки при граничных условиях 3 рода.
9. Теплопроводность однородной и многослойной цилиндрической стенки при граничных условиях 1 рода.
10. Передача теплоты через однородную и многослойную цилиндрическую стенку при граничных условиях 3 рода.
11. Критический диаметр цилиндрической стенки.
12. Передача теплоты через шаровую стенку при граничных условиях 1 и 3 рода.
13. Интенсификация теплопередачи.
14. Тепловая изоляция. Порядок расчета тепловой изоляции.
15. Нестационарные процессы теплопроводности. Общие положения.
16. Теплопроводность в стержне (ребре) постоянного сечения. Стержень бесконечной длины.
17. Теплопроводность стержня конечной длины.
18. Охлаждение (нагревание) неограниченной пластины.
19. Охлаждение (нагревание) бесконечно длинного цилиндра.
20. Определение количества теплоты, отданного пластиной и цилиндром в процессе охлаждения.
21. Охлаждение (нагревание) тел конечных размеров.
22. Зависимость процесса охлаждения (нагревания) от формы и размеров тела.
23. Регулярный режим охлаждения (нагревания) тел.
24. Теплопередача через ребристую плоскую стенку.
25. Теплопроводность круглого ребра постоянного сечения.
26. Теплопроводность прямого ребра переменного сечения.
27. Теплопроводность однородной пластины при наличии внутренних источников теплоты.
28. Теплопроводность однородного цилиндрического стержня при наличии внутренних источников теплоты.

### **Вопросы для экзамена**

#### 4 семестр

1. Конвективный теплообмен. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена.
2. Условия однозначности для процессов конвективного теплообмена.
3. Гидродинамический и тепловой пограничные слои.

4. Сущность подобия. Теоремы подобия.
5. Условия гидродинамического и теплового подобия.
6. Получение эмпирических критериальных уравнений.
7. Определяющий размер и определяющая температура.
8. Теплоотдача при естественной конвекции в неограниченном пространстве.
9. Теплоотдача при естественной конвекции в ограниченном пространстве.
10. Теплоотдача при движении жидкости вдоль пластины.
11. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости в трубах.
12. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости в изогнутых и шероховатых трубах.
13. Теплоотдача при поперечном омывании одиночной трубы.
14. Теплоотдача при поперечном омывании пучков труб.
15. Классификация теплообменных аппаратов.
16. Основные положения теплового расчета.
17. Схемы движения теплоносителей. Изменение температур теплоносителей вдоль поверхности теплообмена
18. Средний температурный напор.
19. Сравнение прямого тока с противотоком.
20. Определение конечных температур рабочих жидкостей.
21. Тепловой расчет регенеративных теплообменных аппаратов.
22. Гидромеханический расчет теплообменных аппаратов.
23. Гидравлическое сопротивление элементов теплообменных аппаратов.
24. Оптимальная компоновка теплообменных аппаратов.
25. Теплообмен при конденсации чистого пара. Основные положения.
26. Теплообмен при пленочной конденсации неподвижного пара на вертикальной стенке. Ламинарный режим.
27. Теплообмен при пленочной конденсации неподвижного пара на вертикальной стенке. Турбулентный режим.
28. Теплообмен при пленочной конденсации движущегося пара внутри труб.
29. Теплообмен при пленочной конденсации движущегося пара на горизонтальных одиночных трубах и пучках труб.
30. Факторы, влияющие на конденсацию пара.
31. Механизм кипения жидкости. Минимальная работа образования пузырька критического диаметра, минимальный радиус пузырька и т.д.
32. Пузырьковый и пленочный режим кипения. Первый и второй кризисы кипения.
33. Расчет теплоотдачи при пузырьковом режиме кипения в неограниченном объеме.
34. Расчет теплоотдачи при пузырьковом режиме кипения в трубах.
35. Теплоотдача при пленочном режиме кипения жидкости.

36. Структура потока при кипении жидкости по длине вертикальной трубы.
37. Теплообмен излучением. Основные понятия и положения.
38. Закон Планка.
39. Закон Релея-Джинса и закон Вина.
40. Закон Стефана-Больцмана.
41. Закон Кирхгофа.
42. Закон Ламберта.
43. Теплообмен излучением в системе тел с плоскопараллельными поверхностями.
44. Теплообмен излучением при наличии экранов.
45. Теплообмен излучением между телом и его оболочкой.
46. Излучение газов и паров. Особенности излучения газов и паров. Закон Бугера.
47. Теплообмен излучением между газом и его оболочкой.

### Тестовые задания по дисциплине

1. Какие примеси относятся к грубодисперсным:
  - 1) коллоидные
  - 2) взвешенные
  - 3) истинно-растворенные
  - 4) растворенные
  
2. Каким показателем определяется наличие грубодисперсных примесей:
  - 1) Мутность
  - 2) Жесткость
  - 3) Щелочность
  - 4) Окисляемость
  
3. В каком виде находятся коллоидно-растворенные примеси:
  - 1) нейтральном
  - 2) отрицательно заряженном
  - 3) положительно заряженном
  - 4) истинном
  
4. Каким показателем определяется наличие коллоидных примесей:
  - 1) Мутность
  - 2) Жесткость
  - 3) Щелочность
  - 4) Окисляемость
  
5. Каким способом удаляются газы коллоидно-растворенные примеси?
  - 1) умягчение
  - 2) фильтрация
  - 3) коагуляция
  - 4) деаэрация
  
6. Какие катионы находящиеся в воде приводят к накипеобразованию:
  - 1) Fe<sup>+2</sup>
  - 2) Si<sup>+2</sup>
  - 3) Cu<sup>+2</sup>
  - 4) Ca<sup>+2</sup>
  
7. Какой показатель определяет жесткость воды?
  - 1) Ж<sub>о</sub>
  - 2) Щ<sub>р</sub>
  - 3) О
  - 4) S
  
8. Размерность общей жесткости воды
  - 1) мг-экв/кг
  - 2) мг/кг
  - 3) мг/л
  - 4) ppm
  
9. Какой показатель определяет щелочность воды?
  - 1) Ж<sub>о</sub>
  - 2) Щ<sub>р</sub>
  - 3) О
  - 4) S
  
10. Какой показатель определяет сухой остаток в воде?
  - 1) Ж<sub>о</sub>
  - 2) Щ<sub>р</sub>
  - 3) О
  - 4) S

11. Каким процессом осуществляется очистка механических фильтров от забивания?

- 1) Взрыхление 2) Регенерация 3) Обратная отмывка 4) Восстановление

13. Каким процессом осуществляется умягчение?

- 1) Na-катионирование 2) А-ионирование 3) ОН-ионирование 4) Обессоливание

14. Как изменяется солесодержание при Na-катионировании?

- 1) Уменьшается 2) Увеличивается 3) Не уменьшается 4) Не увеличивается

15. Как изменяется солесодержание при H-катионировании?

- 1) Уменьшается 2) Увеличивается 3) Не уменьшается 4) Не увеличивается

16. За счет какого процесса происходит удаление растворенного в воде кислорода:

- |         |             |           |           |
|---------|-------------|-----------|-----------|
| 1)      | 2)          | 3)        | 4)        |
| Кипение | Конденсация | Деаэрация | Дегазация |

17. Укажите размерность солесодержания:

- 1) мкг-экв/кг 2) мг-экв/кг 3) % 4) мг/кг

18. Что характеризует содержание в воде Са и Mg?

- 1) Щелочность 2) Солесодержание 3) Окисляемость 4) Жесткость

19. Как изменяется солесодержание при нано-фильтрации?

- 1) Уменьшается 2) Увеличивается 3) Не изменяется 4) Не увеличивается

20. От чего зависит выбор коагулянта?

- 1) рН воды 2) Температуры 3) Времени коагуляции 4) Интенсивности перемешивания.

Процедура оценивания знаний, умений, навыков по дисциплине «Б.1.1.5 «Тепломассообмен» включает учет успешности выполнения практических занятий, лабораторных работ, самостоятельной работы, тестовых заданий и сдачу экзамена.

**Практические занятия** считаются успешно выполненными в случае представления самостоятельно решенных задач по заданным темам и при успешном отчете по данной решенной задаче.

**Лабораторные работы** считаются успешно выполненными в случае предоставления в конце занятия отчета, включающего тему, ход работы, соответствующие рисунки и подписи (при наличии), и защите устного отчета– ответе на вопросы по теме работы. Шкала оценивания – «зачтено / не зачтено». «Зачтено» за лабораторную работу ставится в случае, если она полностью правильно выполнена, при этом обучающимся показано свободное владение материалом по дисциплине. «Не зачтено» ставится в случае, если работа выполнена неправильно, тогда она возвращается студенту на доработку и затем вновь сдаётся на проверку преподавателю.

**Самостоятельная работа** считается успешно выполненной в случае предоставления реферата по каждой теме. Задание для реферата

соответствует пункту 9 рабочей программы. Оценивание рефератов проводится по принципу «зачтено» / «не зачтено». «Зачтено» выставляется в случае, если реферат оформлен в соответствии с критериями:

- правильность оформления реферата (титильная страница, оглавление и оформление источников);

- уровень раскрытия темы реферата / проработанность темы;

- структурированность материала;

- количество использованных литературных источников.

В случае, если какой-либо из критериев не выполнен, реферат возвращается на доработку.

В конце семестра обучающийся письменно отвечает на **тестовые задания**, содержащие вопросы по изученному материалу. Оценивание тестовых заданий проводится по принципу «зачтено» / «не зачтено». В качестве критериев оценивания используется количество правильных ответов. При ответе более чем, на 50 % вопросов выставляется «зачтено», в случае меньшего количества правильных ответов ставится «не зачтено».

К **экзамену** по дисциплине обучающиеся допускаются при:

- предоставлении всех отчетов по всем лабораторным работам;

- сдачи рефератов с учетом того, что они «зачтены» преподавателем;

- успешном написании тестовых заданий.

Экзамен сдается устно, по билетам, в которых представлено 2 вопроса из перечня «Вопросы для экзамена». Оценивание проводится по пятибалльной системе.

#### **14. Образовательные технологии**

Чтение лекций по данной дисциплине проводится с частичным использованием мультимедийного оборудования.

Студентам предоставляется возможность для самоподготовки и подготовки к экзамену использовать конспект лекций, подготовленный студентом во время чтения лекции преподавателем.

При работе используется диалоговая форма ведения лекций с постановкой и решением проблемных задач, обсуждением дискуссионных моментов и т.д.

При проведении лабораторных занятий создаются условия для максимально самостоятельного выполнения заданий.

При организации вне аудиторной самостоятельной работы по данной дисциплине студентом осуществляется подготовка рефератов, направленных на закрепление знаний и умений.

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки реализация компетентного подхода предусматривает использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Во время практических занятий решаются конкретные задачи по определению тепловых потерь зданий и сооружений, а также эффективности

различных типов изоляции на примерах реальных проектов теплоснабжения промышленных предприятий и жилых зданий.

Кроме того, при тепловом расчете современных теплообменных аппаратов используется программное обеспечение по расчету теплообменников современных производителей «Машинпекс» (Германия) и «Альфа Лаваль» Швеция.

Студенты ежегодно приглашаются на весеннюю выставку по энергосбережению в Саратовской области, а также студента показываются самые современные теплоиспользующие устройства не только с Российских выставок но Международных выставок, посвященных энергоэффективности в промышленности и жилом строительстве.

В рамках учебного курса предусмотрены встречи с представителями российских (ООО «НПО Поволжская энергетическая компания») и зарубежных компаний (фирмы «BOSCH - Саратов», «LOOS», «Buderus», «Wiessmann».

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, составляет не менее 20%.

Тема занятия	Вид занятия	Интерактивная форма
Основные законы передачи теплоты	лекция	дебаты
Способы интенсификации теплообмена	лекция	дискуссия
Теплоотдача при свободном движении в ограниченном пространстве	лекция	дискуссия
Сравнение различных видов теплообменных аппаратов	лекция	дебаты
Преимущества и недостатки смесительных аппаратов «Фисоник»	лекция	дискуссия
Особенности излучения газов и паров	лекция	дебаты

## 15. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 1. Обязательные издания.

1. Мирам А.О. Техническая термодинамика. Тепломассообмен [Электронный ресурс]: учебник / Мирам А.О. - Москва : АСВ, 2011. - . 352 с.- Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930938418.html>

2. Григорьев Б.А. Тепломассообмен [Электронный ресурс] : учебник / Григорьев Б.А. - Москва : Издательский дом МЭИ, 2011. - . 562 с.- Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/MPEI155.html>

3. Задачник по технической термодинамике и теории тепломассообмена : учеб. пособие / В. Н. Афанасьев [и др.] ; под ред.: В. И. Крутова, Г. Б. Петражицкого. - 2-е изд., стер. - СПб. : БХВ-Петербург, 2011. - 384 с.  
Экземпляры всего: 10

4. Цветков Ф. Ф. Тепломассообмен : учеб. пособие / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев. - 3-е изд., стереотип. - М. : Изд. дом МЭИ, 2006. - 550 с. Экземпляры всего: 9

5. Задачник по технической термодинамике и теории тепломассообмена : учеб. пособие / В. Н. Афанасьев [и др.] ; под ред.: В. И. Крутова, Г. Б. Петражицкого. - 2-е изд., стер. - СПб. : БХВ-Петербург, 2011. - 384 с. Экземпляры всего: 10

*2. Дополнительные издания.*

6. Цветков Ф. Ф. Задачник по тепломассообмену: учеб. пособие / Ф. Ф. Цветков, Р. В. Керимов, В. И. Величко. - 3-е изд., стер. - М. : ИД МЭИ, 2010. - 196 с. Экземпляры всего: 3

7. Исаченко В.П. Теплопередача : учеб. пособие / В.П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел, 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоиздат, 1981. - 416 с. Экземпляры всего: 56

8. Краснощеков Е. А. Задачник по теплопередаче: учеб. пособие / Е. А. Краснощеков. - 4-е изд., перераб. - М. : Энергия, 1980. - 288с. Экземпляры всего: 29

9. Авчухов В. В. Задачник по процессам тепломассообмена [Текст] : учеб. пособие / В. В. Авчухов. - М. : Энергоатомиздат, 1986. - 141 с. Экземпляры всего: 80

10. [Михеев, М. А.](#) Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. - 3-е изд., репринт. - М. : ИД "Бастет", 2010. - 344 с. Экземпляры всего: 20

11. Теплотехника : учебник для вузов / под ред. В. Н. Луканина. - 5-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2006. - 671 с. Экземпляры всего: 22

*3. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля).*

*4. Периодические издания.*

12. Теплоэнергетика : теорет и науч.- практ.журн.-М.: МАИК "Наука/Интерпериодика", 2013-2015-.- Выходит ежемесячно.-ISSN 0040-3636

*5. Интернет-ресурсы.*

13. Интернет-версия справочника «Теплотехника и теплоэнергетика» – <http://tw.t.mpei.ac.ru/ТТНВ/>

14. Сайт программы WaterSteamPro (программа расчета свойств воды, водяного пара, газов и смесей газов) – <http://www.wsp.ru/>

## 6. Источники ИОС.

15. Тепломассобмен

[https://portal.sstu.ru/Fakult/EF/PT/btpenz%D0%BE\\_3\\_1\\_5/default.aspx](https://portal.sstu.ru/Fakult/EF/PT/btpenz%D0%BE_3_1_5/default.aspx)

[https://portal.sstu.ru/Fakult/EF/TE/b4tpenzo\\_b315\\_5/default.aspx](https://portal.sstu.ru/Fakult/EF/TE/b4tpenzo_b315_5/default.aspx)

## 7. Профессиональные Базы Данных.

16. Портал по теплофизике для студентов, преподавателей и научных сотрудников – <http://www.thermophysics.ru/>

8. Печатные и электронные образовательные ресурсы в формах адаптированных для студентов с ограниченными возможностями здоровья.

9. Ресурсы материально-технического и учебно-методического обеспечения, предоставляемые организациями-участниками образовательного процесса.

17. Сервер, позволяющий вести дистанционно в Интернете инженерные и научно-технические расчеты, в том числе и в области теплоэнергетики – [www.vpu.ru/mas](http://www.vpu.ru/mas)

## 16. Материально-техническое обеспечение дисциплины.

Для осуществления образовательного процесса по дисциплине необходима лекционная аудитория общей площадью не менее 100 кв.м., оснащенная доской, экраном, компьютером и проектором.

Для лабораторных занятий необходима учебная аудитория общей площадью не менее 60 кв.м., оснащенная оборудованием лабораторных работ, доской, компьютером и имеющая доступ к проводному Интернету либо к *Wi-fi*.

Для выполнения самостоятельной работы обучающиеся могут воспользоваться компьютерными классами факультета и Электронно-библиотечной системой ВУЗа.

Для оформления письменных работ, презентаций к докладу обучающимся необходимы пакеты программ MicrosoftOffice (Excel, Word, PowerPoint), AcrobatReader, InternetExplorer, или других аналогичных.