

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**Обнинский институт атомной энергетики –**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)**

**ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ**  
**Кафедра общей и специальной физики**

Одобрено на заседании  
Ученого совета ИАТЭ НИЯУ МИФИ  
Протокол от 24.04.2023 № 23.4

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Гидродинамика и теплообмен в ядерных энергетических установках /**  
**Hydrodynamics and Heat Transfer in Nuclear Power Plants**

---

*название дисциплины*

для студентов направления подготовки

14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

---

направление/профиль

Nuclear Technologies

---

Форма обучения: очная

г. Обнинск 2023 г.

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения ОП бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Коды компетенций	Результаты освоения ООП	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ПК-1	способность к участию в разработке методов прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные принципы теплообмена и методы математического моделирования теплообменных процессов и установок;</li> <li>• методики расчета процессов теплопроводности, конвективного теплообмена, радиационного теплообмена в элементах конструкций;</li> <li>• методики расчета теплообменных аппаратов, принципы и методы интенсификации теплопередачи;</li> <li>• основные источники научно-технической информации о новых разработках в области теплообмена и о теплофизических свойствах теплоносителей.</li> </ul>
ПК-5	способность к участию в проектировании основного оборудования атомных электростанций, термоядерных реакторов, плазменных и других энергетических установок с учетом экологических требований и обеспечения безопасной работы	<p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• разрабатывать компьютерные модели теплогидравлических процессов и выполнять численные эксперименты;</li> <li>• самостоятельно анализировать процессы теплообмена и принимать оптимальные решения при конструировании и эксплуатации оборудования энергетических установок;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками проведения научно-технических докладов, участия в профессиональной дискуссии ;</li> <li>• использованием информационно-компьютерных технологий, применяемых в дисциплине для повышения квалификации, получения профессиональной информации, компьютерного моделирования в математических пакетах и обработки данных.</li> </ul>

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина реализуется в рамках базовой/вариативной части.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: общей физики (ОПК-2, ПК-10), технической термодинамики (ПК-1, ПК-5), механики жидкости и газа (ПК-1, ПК-5)

Дисциплины и/или практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: Атомные станции, Основы функционирования АЭС, Безопасность АЭС, преддипломная практика, государственная аттестация

Дисциплина изучается на 3-4 курсах) в 6-7 семестрах.

**3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Вид работы	Форма обучения (вносятся данные по реализуемым формам)					
	Очная			Заочная		
	Семестр			Курс		
	№ 6	№ 7	Всего	№	№	Всего
	Количество часов на вид работы:					
<b>Контактная работа обучающихся с преподавателем</b>						
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	32	48	80			
В том числе:						
<i>лекции</i>	16	16	32			
<i>практические занятия</i>	16	16	32			
<i>лабораторные занятия</i>	-	16	16			
<b>Промежуточная аттестация</b>						
В том числе:						
<i>зачет</i>	-	-	-			
<i>экзамен</i>	-	36	36			
<b>Самостоятельная работа обучающихся</b>						
<b>Самостоятельная работа обучающихся (всего)</b>	40	60	100			
В том числе:						
проработка учебного материала	10	10				
выполнение индивидуальных заданий	10	20				
подготовка к контрольным испытаниям в течение семестра	10	10				
подготовка к контрольным испытаниям по окончании семестра)	10	20				
<b>Всего (часы):</b>	<b>72</b>	<b>144</b>	<b>216</b>			

<b>Всего (зачетные единицы):</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>			
----------------------------------	----------	----------	----------	--	--	--

**4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**4.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)**

№ п/п	Наименование раздела /темы дисциплины	Виды учебной работы в часах				
		Лек	Пр	Лаб	Внеауд	СРО
<b>1.</b>	<b>Название раздела 1</b>					
1.1.	Введение. Физические основы процессов переноса тепла.	2	2	-		4
1.2.	Тепловыделение в ядерных реакторах	2	-	-		2
1.3	Стационарная теплопроводность	2				
1.4	Теплопроводность с внутренними источниками тепла	2	4			8
1.5	Нестационарные процессы теплопроводности	2	2			4
1.6	Конвективный теплообмен в однофазных средах при вынужденном течении	2	4			10
1.7	Теплообмен при свободной конвекции	2	2			8
	<b>Итого за 6 семестр:</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>-</b>		<b>40</b>
<b>2.</b>	<b>Название раздела 2</b>					
2.1.	Теплообмен при конденсации	2	2			4
2.2.	Процессы теплообмена при кипении	2	4			8
2.3	Гидродинамика и теплообмен двухфазных потоков	2	2			8
2.4	Кризисы теплообмена при кипении в каналах	2	2			4
2.5	Теплообмен излучением	4	2	2		4
2.6	Основы теплового расчета теплообменников и парогенераторов	2	2	2		10
2.7	Процессы теплопереноса в энергетическом оборудовании	2	2			4
2.8	Процессы теплопереноса в энергетическом оборудовании	2	2			4
2.9	Стационарная теплопроводность			2		4
2.10	Нестационарные процессы теплопроводности			2		2
2.11	Конвективный теплообмен в однофазных средах при вынужденном течении			4		4
2.12	Теплообмен при свободной конвекции			4		4
	<b>Итого за 7 семестр:</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>		<b>100</b>
	<b>Всего:</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>16</b>		<b>140</b>

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам (темам)

### Лекционный курс

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.1.	Введение. Физические основы процессов переноса тепла.	<p>Понятие непрерывной среде. Процессы переноса тепла: теплопроводность, конвекция (вынужденная, свободная), излучение. Физические основы передачи тепла в различных средах. Роль процессов теплообмена в ядерной энергетике.</p> <p>Основные понятия. Температурное поле. Плотность теплового потока. Коэффициенты теплопроводности, температуропроводности. Плотность источников тепла в ЯЭУ. Линейный тепловой поток. Гипотеза Фурье.</p> <p>Теплоотдача (теплообмен) и теплопередача. Закон Ньютона. Коэффициент теплообмена, его физических смысл. тепловой пограничный слой. Теплопередача. Коэффициент теплопередачи. Термические сопротивления теплообмену и теплопередачи. Аналогия с законами электротехники.</p>
1.2.	Тепловыделение в ядерных реакторах	<p>Источники энергии. Процесс деления ядер. Распределение энергии между различными продуктами деления. Оценка тепловой мощности ядерного реактора.</p> <p>Распределение энерговыделения в реакторе. Коэффициенты неравномерности по радиусу, высоте, объему. Неравномерности по сечению твэла и ТВС.</p> <p>Распределение температур в канале с тепловыделением. Уравнение баланса тепла для элемента длины канала. Изменение средней температуры теплоносителя вдоль канала (случаи: однофазного потока, потока с кипением). Распределение температур в цилиндрическом твэле (с оболочкой и газовым зазором).</p> <p>Особенности процессов теплообмена в ЯЭУ. Внутренние источники тепла в конструктивных элементах (топливо, замедлитель, защита, регулирующие органы и др.). Необходимость высокой интенсивности теплообмена. Теплоносители разных классов. Роль гидродинамики потока.</p>
1.3	Теплопроводность при стационарных процессах	<p>Дифференциальное уравнение теплопроводности. Стационарные и нестационарные процессы. Внутренние источники тепла. Условия однозначности. Граничные условия 1, 2, 3 рода. Учет зависимости теплопроводности от температуры, переменная Кирхгофа.</p> <p>Распределения температуры в телах разной формы. Исходные уравнения. Поле температуры в пластине без- и с внутренними источниками тепла при разных граничных условиях (1, 3 рода). Многослойная плоская стенка. Поле температуры в цилиндрической стенке, сплошном цилиндре, шаре с тепловыделением. Критический диаметр тепловой изоляции. Методы измерения коэффициента теплопроводности.</p> <p>Перенос тепла в ребрах. распределение температуры в</p>

		ребре. Тепловой поток через основание ребра. Коэффициент эффективности ребра. Условия, при которых выгодно иметь ребристую поверхности. Теплоотдача через плоскую ребристую стенку.
1.4	Нестационарные процессы теплопроводности	<p>Основное уравнение теплопроводности нестационарных процессов. Приведение его к безразмерному виду. Безразмерные переменные. Две группы нестационарных процессов: стремление к тепловому равновесию, регулярные периодические изменения температуры.</p> <p>Охлаждение (нагревание) тела без внутреннего термического сопротивления. Изменение температуры во времени. Количество тепла, отдаваемое или воспринимаемое телом.</p> <p>Поле температуры в полубесконечном массиве при внезапном повышении температуры поверхности. Теплопроницаемость (теплоусвояемость).</p> <p>Поля температуры в телах простой формы (пластина, цилиндр, шар). Дифференциальное уравнение. Граничные условия. Роль критерия Био, его физический смысл. Решения для пластины при разных значениях критерия Био.</p> <p>Регулярные тепловые режимы. Две стадии охлаждения (нагревания) тела. Темп режима. Виды регулярных режимов: экспоненциальный, линейный, периодический. Методы измерения коэффициента теплообмена и теплофизических свойств с помощью регулярного теплового режима.</p>
1.5	Конвективный теплообмен в однофазных средах при вынужденном течении	<p>Основные положения. Гидродинамический, тепловой и диффузионный пограничные слои. Вынужденная и свободная конвекция. Оценка толщины ламинарного гидродинамического пограничного слоя. Термическое сопротивление теплообмену и распределение температур в средах с различными числами Прандтля.</p> <p>Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Условия однозначности. Особенности теплообмена при ламинарном и турбулентном течениях. Пульсации скорости и температуры в турбулентном потоке. Осреднение скорости и температуры по сечению канала. Изменения средней температуры жидкости вдоль обогреваемого канала.</p> <p>Подобие и моделирование тепловых процессов. Задача теории подобия. Теоремы подобия. Нахождение безразмерных величин с помощью теории размерностей и обработка результатов эксперимента с их помощью. Примеры соотношений. Выбор определяющих размеров и температур.</p> <p>Основы теорий теплообмена. Соотношение теории и эксперимента. Теплообмен при ламинарном течении в трубе. турбулентный перенос тепла и количества движения. Уравнения Рейнольдса, их осреднение. Полуэмпирические методы замыкания уравнений Рейнольдса. Коэффициенты турбулентного переноса: турбулентная вязкость и теплопроводность. Турбулентное число Прандтля. турбулентный перенос в вязком подслое. Универсальный профиль скорости. Аналогия между теплообменом и переносом количества движения - аналогия Рейнольдса.</p>

		<p>Модели Прандтля и Кармана. Методы расчета теплообмена в каналах некруглой формы.</p> <p>Интенсивность теплообмена. Обтекание плоской поверхности ламинарным и турбулентным потоком. Гидродинамический и тепловой пограничные слои и методы их расчета. Соотношения толщин гидродинамического и теплового пограничных слоев. Изменение коэффициента теплообмена по длине пластины. Обтекание цилиндра, шара. Поперечное обтекание пучков труб. Влияние отрыва пограничного слоя. Изменение коэффициента теплообмена по окружности трубы. Влияние угла атаки.</p> <p>Вынужденное течение в каналах. Режимы: ламинарный, вязкостный вязкостно-гравитационный, переходный, турбулентный. Гидродинамический и тепловой начальные участки. Гладкие и шероховатые трубы. Изогнутые трубы, змеевики. Кольцевые каналы, каналы некруглой формы. Пучки стержней при продольном обтекании.</p>
1.6	Теплообмен при свободной конвекции	<p>Факторы, вызывающие свободное движение. Характер движения среды вдоль вертикальной поверхности. Оценка скорости течения при свободной конвекции. распределения температур и скоростей. Число Грасгофа. Параллельная и встречная свободная конвекция. Винтовое движение. Диаграммы режимов свободной, вынужденной и смешанной конвекции. Расчеты теплообмена при свободной конвекции в средах с разными числами Релея, Прандтля. Ламинарный, переходный и турбулентный (автомодельный) режим. теплообмен при свободном движении среды в ограниченном пространстве.</p>
1.7	Процессы диффузии	<p>Основные механизмы процесса диффузии. Типы диффузии: концентрационная, термодиффузия. Коэффициент диффузии. Тройная аналогия, соотношения для переноса тепла, количества движения, массы.</p> <p>Аналогия между переносом массы и переносом тепла. Диффузионные числа Нуссельта, Пекле, Шмидта. Расчет массообмена на основе аналогии с теплообменом.</p> <p>Массообмен между фазами. Испарение жидкости в газ, плотность потока. Влагосодержание, температура мокрого термометра. Массообмен между твердой поверхностью и теплоносителем.</p> <p>Конвективный массообмен в пограничном слое. Три области пограничного слоя. Коэффициент турбулентной диффузии. Малые и большие скорости массопереноса.</p> <p>Массоперенос в контурах. Перенос примесей и образование отложений. Растворение в объеме неподвижной среды. Растворение материала стенки потоком. Распределение концентрации примесей по контуру. Динамика образования отложений на поверхности.</p>
2.1.	Теплообмен при конденсации	<p>Физические процессы при конденсации. Условия возникновения процесса конденсации пара. Центры конденсации. Переохлаждение пара, критический радиус зародыша капли. Кривая конденсации.</p>



		<p>Капельная конденсация. Центры конденсации. Три составляющих суммарного термического сопротивления теплообмену (сопротивление фазового перехода, капли, эффект их взаимного влияния). Предельные случаи. Расчет теплообмена.</p> <p>Пленочная конденсация неподвижного сухого пара. Режимы течения пленки. Ламинарное течение пленки, теория Нуссельта, поправки к теории. Ламинарно-волновой и турбулентно-волновой режимы. Конденсация перегретого или влажного пара. Особенности теплообмена при конденсации паров металлов.</p> <p>Пленочная конденсация движущегося пара на вертикальной поверхности, влияние направления движения пара на коэффициент теплообмена. Горизонтальная труба и пучки труб. Характер обтекания пучков труб. Конденсация внутри трубы.</p> <p>Расчетные соотношения для теплообмена.</p> <p>Интенсификация теплообмена при конденсации. Методы уменьшения средней толщины пленки конденсата (гофрированные поверхности, ребра, желоба)</p>
2.2.	Процессы теплообмена при кипении	<p>Механизмы процесса. Методы отвода тепла от поверхности. Виды кипения - пузырьковое, пленочное. Кризис теплообмена. перегрев жидкости перед началом кипения и наличие центров парообразования - условия возникновения паровой фазы. Влияние смачиваемости стенки жидкостью и краевой угол. Критический радиус парового зародыша. Зарождение, рост и движение паровых пузырей. Капиллярная постоянная.</p> <p>Кипение в большом объеме. Кривая кипения. Пузырьковое кипение, две составляющих теплового потока. Влияние давления, шероховатости, отложений, свойств материала. Расчетные соотношения. Термодинамическое подобие. Кризис теплообмена. Термодинамическая и гидродинамическая теории кризиса. Кризис при кипении металлов. Теплообмен при пленочном кипении, механизмы теплообмена. Толщина пленки пара.</p>
2.3	Гидродинамика и теплообмен двухфазных потоков	<p>Основные положения. Гомогенные и гетерогенные, адиабатные и диабатные газожидкостные (парожидкостные) потоки. Термодинамически равновесные и неравновесные потоки. Приведенные скорости. Объемное, массовое, истинное паросодержание. Коэффициент скольжения. Скорость циркуляции. Массовая скорость. Формы, режимы течения двухфазных потоков в вертикальных и горизонтальных трубах. Распределение фаз и скоростей. Расчет истинных паросодержаний.</p> <p>Теплообмен в парогенерирующих каналах. Начало кипения. Процессы теплообмена в различных зонах парогенерирующего канала (зона подогрева, поверхностного кипения, развитого кипения, высыхания пленки, кризиса, закризисная). Изменение температуры жидкости, стенки, паросодержания (массового, балансного, истинного) по длине трубы.</p> <p>Кипение недогретой жидкости. Область поверхностного</p>

		<p>кипения. Параметры, влияющие на интенсивность теплообмена. Расчетные соотношения. Распределение температуры жидкости в поперечном сечении канала.</p> <p>Теплообмен в закризисной зоне парожидкостного потока. Структура потока. Термодинамическая неравновесность потока. Распределение температур в поперечном сечении канала. Расчет температуры пара. Колебания температуры стенки в начале закризисной зоны. Расчетные соотношения.</p> <p>Теплообмен перегретого пара. Изменение свойств пара с температурой. Расчетные соотношения.</p>
2.4	Кризисы теплообмена при кипении в каналах	<p>Общие положения. Кризис теплообмена как совокупность разных процессов.</p> <p>Механизмы кризиса в круглых трубах в потоке недогретой жидкости (с разными величинами недогрева), пузырьковом режиме, в дисперсно-кольцевом и дисперсном потоках. Кризис в потоке паро-металлической смеси.</p> <p>Диаграмма уноса и сопоставление ее с зависимостью критического теплового потока (КТП) от массового содержания. Сложный характер зависимости КТП от паросодержания (пять зон). Граничное паросодержание.</p> <p>Виды разных зависимостей для КТП и граничного паросодержания.</p> <p>Влияние различных факторов на кризис. Методы интенсификации теплообмена (турбулизация потока, закрутка). Влияние шероховатости поверхности и отложений. Моделирование кризиса. Правила пересчета КТП на разные жидкости.</p>
2.5	Теплообмен излучением	<p>Основные понятия. Спектр излучения. Поглощательная, отражательная, пропускная способности тел. Интегральное, монохроматическое излучение. Излучательная способность, яркость. Спектральная излучательная способность. Виды излучения - собственное, падающее, поглощенное, отраженное, эффективное, результирующее, их взаимная связь.</p> <p>Законы теплового излучения для абсолютно черного тела (Планка, Релея-Джинса, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта). Черные температуры - радиационная, цветовая, яркостная.</p> <p>Радиационные характеристики. Излучательные, поглощательные и отражательные характеристики реальных тел (металлов, диэлектриков, газов). Полусферическая излучательная способность. Прозрачность тел для теплового излучения.</p> <p>Теплообмен излучением между телами (в прозрачной среде, при наличии экранов, при произвольном расположении поверхностей). Угловые коэффициенты, расчетная поверхность. Теплообмен между телом и оболочкой. Коэффициент теплообмена излучением.</p> <p>Теплообмен в поглощающих и излучающих средах. Оптическая толщина среды. Особенности излучения газов и паров. Спектры излучения газов и их суммарное излучение.</p>
2.6	Сложный теплообмен	Виды сложного теплообмена и методы расчета. Эффекты

		<p>взаимодействия различных механизмов теплообмена.</p> <p>Радиационный теплообмен между потоком излучающего газа и стенкой. Радиационно-кондуктивный теплообмен. Радиационно-конвективный теплообмен.</p> <p>Контактный теплообмен. термические сопротивления контакта и параметры, влияющие на него (шероховатость, давление). Тепловая проводимость газовой прослойки</p>
2.7	Основы теплового расчета теплообменников и парогенераторов	<p>Типы теплообменников. Схемы движения теплоносителей: прямоток, противоток, комбинированные схемы. Основные положения теплового расчета. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Средний логарифмический температурный напор. Сравнение прямотока и противотока. Расчет необходимой поверхности. Расчет конечных температур.</p> <p>Эффективность теплообменника. Изменение характеристик во время эксплуатации.</p> <p>Теплогидравлические неравномерности в теплообменниках.</p> <p>Общие характеристики и принципы теплового расчета парогенераторов. Схемы парогенераторов (с естественной и многократной циркуляцией, прямоточные). Особенности расчета теплопередачи в различных зонах парогенераторов. <math>Q-t</math> диаграмма. Определение плотностей теплового потока и температуры поверхностей. Интенсификация теплопередачи.</p>
2.8	Особенности процессов теплообмена в различных режимах работы реактора	<p>Распределение энерговыделения в переходных режимах от одного уровня мощности к другому. Остаточное тепловыделение, изменение его во времени после остановки реактора.</p> <p>Изменение температуры в переходных процессах. Среднее термическое сопротивление твэла. Постоянные времена для процессов внутри и вне твэла. Изменение температуры твэла. Времена запаздывания.</p> <p>Кризис теплообмена в нестационарных условиях. Квазистационарный подход. Критерии гидродинамической и тепловой нестационарности.</p> <p>Тепловые удары. Изменение температуры изолированной трубы при быстром снижении температуры теплоносителя. Оценка термических напряжений.</p> <p>Особенности температурных режимов при расслоении теплоносителя. Опасность стратифицированных течений, их устойчивость, критерии подобия.</p>

### Практические/семинарские занятия

№	Наименование раздела /темы дисциплины	Содержание
1.	<b>Название раздела 1</b>	
1.1.	Вводное занятие.	Физические основы процессов переноса тепла. Основные определения. Законы Фурье, Ньютона, Стефана Больцмана. Размерности единиц. Электро-

		тепловая аналогия.
1.2.	Стационарная теплопроводность без внутренних источников тепла	Дифференциальное уравнение теплопроводности. Решение уравнения в декартовых и цилиндрических координатах при граничных условиях 1 и 3 рода. Коэффициент теплопередачи.
1.3	Стационарная теплопроводность с объемным тепловыделением	Решение задач для плоской стенки с тепловыделением, сплошного цилиндра. Распределение температуры в твэле.
1.4	Нестационарные процессы теплопроводности	Решение задач для пластины, цилиндра, шара. Критерии Био и Фурье
1.5	Теория теплового подобия	Условия подобия тепловых процессов. Безразмерные критерии. Числа Рейнольдса. Пекле, Прандтля, Грасгофа, Нуссельта.
1.6	Конвективный теплообмен в однофазных средах при вынужденном течении	Решение задач для вынужденного течения воды, воздуха в круглой трубе и каналах сложной формы. Ламинарный и турбулентный режимы течения. Критериальные уравнения.
1.7	Теплообмен при свободной конвекции	Решение задач для свободного обтекания пластины, цилиндра, шара в разных режимах. Критериальные уравнения. Теплообмен в прослойках.
1.8	Теплообмен при продольном и поперечном обтекании трубных пучков	Решение задач для вынужденного течения в пучках стержней, поперечного обтекания цилиндра, пучка труб.
2.1.	Повторение темы «Конвективный теплообмен»	
2.2.	Теплообмен при конденсации неподвижного пара	Кривая конденсации. Расчет теплообмена при пленочной и капельной конденсации. Свойства воды на линии насыщения.
2.3	Теплообмен в потоке движущего пара	Пленочная конденсация движущегося пара на вертикальной поверхности, влияние направления движения пара на коэффициент теплообмена. Горизонтальная труба и пучки труб. Характер обтекания пучков труб. Конденсация внутри трубы.
2.4	Кипение в большом объеме	Опыт Нукиямы. Кривая кипения. Виды кипения - пузырьковое, пленочное. Соотношения для расчета интенсивности теплообмена.
2.5	Кризис теплообмена при кипении в большом объеме	Гидродинамическая теория кризиса. Соотношение Кутателадзе. Решение задач.
2.6	Кипение в каналах	Основные параметры двухфазного потока.
2.7	Теплообмен в парогенерирующих каналах.	Процессы теплообмена в различных зонах парогенерирующего канала (зона подогрева, поверхностного кипения, развитого кипения, высыхания пленки, кризиса, закризисная). Изменение температуры жидкости, стенки, паросодержания (массового, балансного, истинного) по длине трубы.
2.8	Кризисы теплообмена при кипении в каналах	Общие положения. Кризис теплообмена как совокупность разных процессов. Сложный характер зависимости КТП от паросодержания (пять зон). Граничное паросодержание
2.9	Скелетные таблицы критического теплового потока для круглой трубы	Виды разных зависимостей для КТП и граничного паросодержания. Влияние различных факторов на кризис.
2.10	Теплообмен излучением в прозрачных средах	Основные понятия. Спектр излучения. Законы теплового излучения для абсолютно черного тела

		(Планка, Релея-Джинса, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта).
2.11	Теплообмен излучением в среде с поглощением	Оптическая толщина среды. Особенности излучения газов и паров. Спектры излучения газов и их суммарное излучение..
2.12	Основы теплового расчета теплообменных аппаратов	Схемы движения теплоносителей: прямоток, противоток, комбинированные схемы. Основные положения теплового расчета. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Средний логарифмический температурный напор.
2.13	Основы теплового расчета теплообменных аппаратов	Сравнение прямотока и противотока. Расчет необходимой поверхности. Расчет конечных температур.
2.14	Основы теплового расчета теплообменных аппаратов	Эффективность теплообменника. Изменение характеристик во время эксплуатации.
2.16	Заключительное занятие по теме «Теплообмен в однофазном теплоносителе»	
2.17	Заключительное занятие по теме «Теплообмен в средах с фазовыми переходами»	

### Лабораторные занятия

№	Тема	Название лабораторной работы
1	Стационарная теплопроводность	Определение теплопроводности твердых материалов методом пластины. Работа №2
2	Нестационарная теплопроводность	Определение теплопроводности твердых тел методом регулярного режима Работа №6
3	Теплообмен при вынужденной конвекции	Теплоотдача при вынужденном движении воздуха в трубе Работа №5
4	Теплообмен при свободной конвекции	Теплоотдача вертикального цилиндра при естественной конвекции. Работа №4 Теплоотдача горизонтального цилиндра при естественной конвекции воздуха Работа №1
5	Теплообмен излучением	Определение коэффициента излучения твердого тела калориметрическим методом Работа №3
6	Теплообмен в аппаратах	Исследование работы теплообменного аппарата Работа №7

## 5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. презентации лекций курса;
2. фонд задач для проведения практических занятий;
3. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках. – М., Энергоатомиздат, Учебное пособие для вузов. 2000. – 456 с. (имеется в библиотеке ИАТЭ НИЯУ МИФИ).
4. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках. – М., Энергоатомиздат, Издание 2-ое переработанное, Учебное пособие для вузов. 2008. – 346 с. (имеется в библиотеке ИАТЭ НИЯУ МИФИ).

5. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Теплообмен. – М., Изд-во МЭИ. Учебное пособие для вузов. 2005. – 548 с. (имеется в библиотеке ИАТЭ НИЯУ МИФИ).
6. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А., Соловьев С.Л. Теплообмен в ядерных энергетических установках. Учебное пособие для вузов. М.: Изд-во МЭИ, 2003. - 548с. (имеется в библиотеке ИАТЭ НИЯУ МИФИ).
7. Гидравлические расчеты. Под редакцией Кириллова П.Л. Обнинск, Изд-во ГНЦ РФ ФЭИ, 2007. - 250 с. (имеется в библиотеке ИАТЭ НИЯУ МИФИ).
8. Кириллов П.Л., Терентьева М.И., Денискина Н.Б. Теплофизические свойства материалов ядерной техники, Учебное справочное пособие. М., ИздАт, 2007. – 200с. (имеется в библиотеке ИАТЭ НИЯУ МИФИ).

## 6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

### 6.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или её части) / и ее формулировка	Наименование оценочного средства
<b>Текущий контроль, 6 семестр</b>			
1.	Стационарная теплопроводность без внутренних источников тепла	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее задание, лабораторная работа, компьютерный тест
2.	Стационарная теплопроводность с внутренним тепловыделением	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее задание, компьютерный тест.
3	Нестационарная теплопроводность	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее задание, лабораторная работа, компьютерный тест
4	Теория теплового подобия	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее задание, компьютерный тест
5	Теплообмен при вынужденной конвекции	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее задание, лабораторная работа, компьютерный тест.
6	Теплообмен при свободной конвекции	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее задание, лабораторная работа, компьютерный тест
<b>Промежуточный контроль, 6 семестр</b>			
	зачет	ПК-1, ПК-5	Задания для зачета
Всего:			
<b>Текущий контроль, 7 семестр</b>			
1.	Теплообмен при конденсации	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее задание, компьютерный тест
2.	Теплообмен при кипении	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее задание, компьютерный тест
3	Теплообмен излучением	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее задание, лабораторная работа,
4	Основы расчета теплообменных	ПК-1, ПК-5	Индивидуальное домашнее

	аппаратов		задание, лабораторная работа,
<b>Промежуточный контроль, 7 семестр</b>			
	экзамен	ПК-1, ПК-5	Экзаменационные билеты, фонд экзаменационных задач

## **6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

а) примеры типовых вопросов:

Тема: Теплопроводность \_\_\_\_\_

- T1.** Как направлен градиент температуры по отношению к изотермической поверхности?
- T2.** Распределение температуры в трехслойной плоской стенке показано на рисунке. Как соотносятся коэффициенты теплопроводности используемых материалов, если толщины слоев одинаковы?
- T3.** Какое физическое свойство тела можно измерить с помощью регулярного режима?
- T4.** Какова размерность темпа охлаждения?
- T5.** Три тела: пластина толщиной  $2D$ , цилиндр и шар радиуса  $R$  ( $D=R$ ), выполненные из одного материала и имеющие одинаковую начальную температуру охлаждаются в среде с постоянной температурой. Какое из тел будет охлаждаться быстрее?
- T6.** Может ли термическое сопротивление теплопередачи между жидкостями, разделенными твердой стенкой быть больше термического сопротивления твердой стенки?
- T7.** Интенсивность охлаждения плоского твэла одинакова с обеих сторон. Как изменится температура одной поверхности твэла, если с противоположной стороны теплообмен ухудшится?
- T8.** В плоской стенке при  $q=const$  распределение температуры подчиняется линейному закону, если коэффициент теплопроводности стенки не зависит от температуры ( $\lambda=const$ ). Как изменится распределение температуры в стенке, если  $\lambda=a+bt$  ( $a, b$  – положительные величины).
- T9.** Плоская стенка состоит из трех слоев одинаковой толщины, но изготовленных из разных материалов: изолятор, металл, изолятор. Каково распределение температуры в такой стенке?
- T10.** Твэл состоит из топливной таблетки и оболочки, отделенной от таблетки слоем инертного газа. Наружная поверхность твэла омывается водой. Как изменится распределение температуры внутри твэла, если скорость течения воды увеличится?
- T11.** Можно ли определить значение температуры в любой точке твердого тела в любой момент времени из дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности?
- T12.** Зависит ли от рода граничных условий результат решения дифференциального уравнения теплопроводности для тел одинаковой формы?
- T13.** Как рассчитать теплопроводность материала, пользуясь методом регулярного режима?
- T14.** Три пластины из разных материалов: стали, дерева и кафельной плитки находятся при одной и той же температуре  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Почему, касаясь каждой из пластин рукой, температура которой  $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ , человек ощущает в одних случаях холод, в других тепло?

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

Оценивается полнота овладения теоретическими физиологическими знаниями и умение применять эти знания для описания процессов происходящих в биологических системах. Критериями оценки является:

- 1) правильность, полнота и логичность построения ответа;
- 2) умение оперировать специальными терминами;
- 3) использование в ответе дополнительного материала;
- 4) умение иллюстрировать теоретические положения практическим материалом, приводить примеры;

в) описание шкалы оценивания:

Допуск к зачёту по дисциплине осуществляется при количестве баллов более 35. Зачёт студент получает при наборе общей суммы баллов свыше 60.

Оценку «зачтено» получают следующие студенты:

- отчитавшиеся о выполнении лабораторных работ за семестр;
- получившие положительную оценку за ответы во время устного опроса;
- получившие оценку «зачтено» за ответы на тестовые задания текущего контроля;
- давшие правильный (полный, логичный, с употреблением соответствующей терминологии и примерами) устный ответ на вопросы к зачету.

Оценку «не зачтено» получают следующие студенты:

- пропустившие лабораторные занятия без уважительной причины;
- не отчитавшиеся о выполнении лабораторных работ за семестр;
- получившие неудовлетворительные оценки за ответы во время устного опроса;
- давшие неполный, нелогичный устный ответ на вопросы к зачету, не владеющие соответствующей терминологией.

### **6.2.2. Экзамен**

#### **1. Вопросы, требующие подробного вывода**

- 1.1. Дифференциальное уравнение теплопроводности (вывод). Условия однозначности. Граничные условия 1, 2, 3 рода.
- 1.2. Стационарное распределение температуры в плоской стенке без внутреннего тепловыделения при граничных условиях 3 рода (вывод).
- 1.3. Стационарное распределение температуры в плоской стенке с внутренним тепловыделением при граничных условиях 1 рода (вывод).
- 1.4. Стационарное распределение температуры в сплошном цилиндре с внутренним тепловыделением при граничных условиях 3 рода (вывод).
- 1.5. Стационарное распределение температуры в цилиндрической стенке с внутренним тепловыделением при граничных условиях 1 рода (вывод).
- 1.6. Стационарное распределение температуры в шаре с внутренним тепловыделением при граничных условиях 1 рода (вывод).
- 1.7. Критический диаметр тепловой изоляции (вывод).
- 1.8. Уравнение баланса тепла для элемента длины канала. Распределение температур в канале с тепловыделением (вывод).
- 1.9. Стационарное распределение температуры и тепловой поток в процессе теплопередачи через плоскую цилиндрическую стенку (вывод). Термическое сопротивление.
- 1.10. Стационарное распределение температуры и линейный тепловой поток в процессе теплопередачи через цилиндрическую стенку (вывод). Линейное термическое сопротивление.



- 1.11. Изменение температуры во времени при охлаждении (нагревании) тела с бесконечно малым термическим сопротивлением (вывод).
- 1.12. Средний логарифмический температурный напор в теплообменном аппарате (вывод).
2. Коэффициенты и критерии
  - 2.1. Коэффициент теплообмена, его физический смысл. Связь коэффициента теплообмена с толщиной теплового пограничного слоя.
  - 2.2. Коэффициент теплопередачи, его размерность и физический смысл.
  - 2.3. Термические сопротивления теплообмену и теплопередачи. Аналогия с законами электротехники.
  - 2.4. Критерий Био, его физический смысл. Температурное поле в пластине при разных значениях критерия Био ( $Bi \rightarrow 0$ ,  $Bi \rightarrow \infty$ ,  $Bi \sim 1$ ).
  - 2.5. Три класса теплоносителей в зависимости от значения числа Прандтля. Термическое сопротивление теплообмену и распределение температур в средах с различными числами Прандтля
  - 2.6. Критерии Рейнольдса, Грасгофа, Прандтля и Нуссельта, определение этих критериев и физический смысл. Выбор определяющих размеров и определяющих температур.
  - 2.7. Чем отличаются механизмы теплопроводности в газах, жидкостях и твердых телах?
3. Конвективный теплообмен в однофазной среде
  - 3.1. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Запись условий однозначности.
  - 3.2. Каковы особенности теплообмена при продольном обтекании пучков стержней по сравнению с течением в круглой трубе? Вид расчетных зависимостей.
  - 3.3. Распределение температур в цилиндрическом твэле (с оболочкой и газовым зазором). Неравномерность температуры по периметру твэла в ТВС.
  - 3.4. Каковы особенности теплообмена в жидких металлах? К чему приводит наличие контактного термического сопротивления?
  - 3.5. Как рассчитывать коэффициент теплообмена при вынужденном течении жидкости в каналах?
  - 3.6. Какие факторы вызывают свободное движение? Как движется среда вдоль вертикальной поверхности при условиях свободной конвекции?
  - 3.7. Как осуществляется теплообмен при свободном движении среды в ограниченном пространстве (в прослойках)? Что такое эквивалентная теплопроводность?
  - 3.8. Теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра. Условия отрыва пограничного слоя. Изменение коэффициента теплообмена по окружности.
  - 3.9. Особенности теплообмена при ламинарном и турбулентном течениях. Пульсации скорости и температуры в турбулентном потоке. Осреднение скорости и температуры по сечению канала.
  - 3.10. Изменение профилей скорости и температуры на гидродинамическом и тепловом начальном участке. Соотношения толщин гидродинамического и теплового пограничных слоев.
  - 3.11. Аналогия между теплообменом и переносом количества движения - аналогия Рейнольдса. Полуэмпирические теории турбулентности - модели Прандтля и Кармана.
4. Двухфазные потоки

- 4.1. Какие режимы течения двухфазных потоков реализуются в вертикальных и горизонтальных трубах?
  - 4.2. Виды кипения - пузырьковое, пленочное. Кризис теплообмена. Капиллярная постоянная.
  - 4.3. Кипение в большом объеме. Кривая кипения как зависимость плотности теплового потока от температурного напора. Влияние давления, шероховатости, отложений на поверхности на вид кривой кипения.
  - 4.4. В чем состоят основные положения гидродинамической теории кризиса теплообмена Кутателадзе С.С.?
  - 4.5. Какие факторы влияют на критический тепловой поток в каналах?
  - 4.6. Как меняются температура жидкости, температура стенки, паросодержание (массовое, балансное, истинное) по длине парогенерирующего канала?
  - 4.7. Процессы теплообмена в различных зонах парогенерирующего канала (зона подогрева, поверхностного кипения, развитого кипения, высыхания пленки, кризиса, закризисная).
  - 4.8. Как рассчитывать теплообмен при пузырьковом кипении воды в большом объеме?
  - 4.9. Как рассчитать теплообмен при пленочной конденсации неподвижного сухого пара
  - 4.10. Пленочная конденсация движущегося пара на вертикальной поверхности, влияние направления движения пара на коэффициент теплообмена.
5. Теплообмен излучением
    - 5.1. Закон Стефана Больцмана для абсолютно черного и серого тел. Коэффициент излучения
    - 5.2. Закон Стефана Больцмана для системы из двух тел, разделенных прозрачной средой. Приведенный коэффициент излучения.
    - 5.3. Закон Планка теплового излучения абсолютно черного тела.
    - 5.4. Закон Вина как частный случай закона Планка.
    - 5.5. Закон Релея-Джинса как частный случай закона Планка.
    - 5.6. Закон излучения Кирхгофа.
    - 5.7. Теплообмен излучением между телами при наличии экранов.
  6. Теплообмен в аппаратах
    - 6.1. Какая схема движения теплоносителей в теплообменных аппаратах эффективнее: прямоток или противотока?
    - 6.2. Как с помощью уравнений теплового баланса и теплопередачи рассчитать поверхность теплообменного аппарата?
    - 6.3. Расчет среднего логарифмического напора в теплообменнике сложной схемы (относительно противотока).
    - 6.4. Схемы движения теплоносителей в теплообменных аппаратах. Сравнение прямотока и противотока.
    - 6.5. Распределение энерговыделения в активной зоне реактора. Коэффициенты неравномерности по радиусу, высоте, объему.
    - 6.6. Расчет распределения температуры в топливной таблетке тепловыделяющего элемента. Учет зависимости теплопроводности топлива от температуры. Интегральная теплопроводность.
- б) критерии оценивания компетенций (результатов):

15-20 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который :

- владеет методологией данной дисциплины, знает определения основных понятий;
- полно раскрывает содержание теоретических вопросов билета;
- умеет увязать теорию и практику при решении задач.

8-14 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- Сделал все, что требуется для получения оценки «отлично», однако при этом допустил незначительные неточности при изложении материала, не искажающие содержание ответа по существу вопроса.

1-7 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- владеет методологией данной дисциплины, знает определения основных понятий;
- раскрывает содержание не всех теоретических вопросов
- не всегда умеет увязать теорию и практику при решении задач;
- выполнил одну из двух задач в индивидуальной работе.

0 баллов за ответ на вопрос выставляется студенту, который:

- имеет пробелы в знаниях основного учебного материала по дисциплине, не может дать четкого определения основных понятий;
- не умеет решать задачи и не может разобраться в конкретной ситуации;
- не может успешно продолжать дальнейшее обучение в связи с недостаточным объемом знаний.

в) описание шкалы оценивания:

Максимальная сумма баллов семестровой аттестации (зачета) – 40 баллов.

В билет по зачету входит 2 вопроса и задача:

1. на оценку умения анализировать термодинамические (технические) процессы и алгоритмы расчета с целью обеспечения их эффективной и безопасной работы (ПК-11) Максимальная сумма баллов -20 баллов
2. на оценку умения проводить термодинамические расчеты оборудования ЯЭУ в стационарных и нестационарных режимах работы (ПК-13). Максимальная сумма баллов - 20 баллов

### ***6.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций***

Рейтинговая оценка знаний является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы студентов.

Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.

Текущий контроль осуществляется три раза в семестр: контрольные точки № 1, №2, №3.

Результаты текущего контроля и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Вид контроля	Этап рейтинговой системы Оценочное средство	Балл	
		Минимум	Максимум
Текущий	Контрольная точка № 1 Коллоквиум	10	20
	Контрольная точка № 2 Индивидуальное домашнее задание	15	20
	Контрольная точка № 3 Компьютерное тестирование	10	20
Промежуточный	Зачет	25	40
ИТОГО за 6 семестр		60	100

Вид контроля	Этап рейтинговой системы	Балл
--------------	--------------------------	------

	Оценочное средство	Минимум	Максимум
Текущий	Контрольная точка № 1 Компьютерное тестирование	10	20
	Контрольная точка № 2 Лабораторные работы	10	20
	Контрольная точка № 3 Индивидуальное домашнее задание	15	20
Промежуточный	Экзамен	25	40
<b>ИТОГО за 7 семестр</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания:

Процедура оценивания знаний, умений, владений по дисциплине включает учет успешности по всем видам заявленных оценочных средств.

Тесты по разделам проводятся на практических занятиях и включают вопросы по предыдущему разделу. Тестирование проводится с помощью СЭО «Пегас». Баллы формируются автоматической системой, переводятся в систему оценок преподавателем в соответствии с утвержденной шкалой оценивания.

Темы докладов-презентаций распределяются на первом занятии, готовые доклады сообщаются в соответствующие сроки, в соответствии с технологической картой БРС.

Устный опрос проводится на каждом практическом занятии и затрагивает как тематику прошедшего занятия, так и лекционный материал. Применяется групповое оценивание ответа или оценивание преподавателем.

По окончании освоения дисциплины проводится промежуточная аттестация в виде зачета, что позволяет оценить совокупность приобретенных в процессе обучения компетенций. При выставлении итоговой оценки применяется балльно-рейтинговая система оценки результатов обучения.

Зачет предназначен для оценки работы обучающегося в течение всего срока изучения дисциплины и призван выявить уровень, прочность и систематичность полученных обучающимся теоретических знаний и умений приводить примеры практического использования знаний (например, применять их в решении практических задач), приобретения навыков самостоятельной работы, развития творческого мышления.

Оценка сформированности компетенций на зачете для тех обучающихся, которые пропускали занятия и не участвовали в проверке компетенций во время изучения дисциплины, проводится после индивидуального собеседования с преподавателем по пропущенным или не усвоенным обучающимся темам с последующей оценкой самостоятельно усвоенных знаний на зачете.

## **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

### ***а) основная учебная литература:***

1. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках. – М., Энергоатомиздат, Учебное пособие для вузов. 2000. – 456 с. *(имеется в библиотеке ИАТЭ НИЯУ МИФИ).*
2. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках. – М., Энергоатомиздат, Издание 2-ое переработанное, Учебное пособие для вузов. 2008. – 346 с. *(имеется в библиотеке ИАТЭ НИЯУ МИФИ).*
3. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен. – М., Изд-во МЭИ. Учебное пособие для вузов. 2005. – 548 с. *(имеется в библиотеке ИАТЭ НИЯУ МИФИ).*

4. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А., Соловьев С.Л. Теплообмен в ядерных энергетических установках. Учебное пособие для вузов. М.: Изд-во МЭИ, 2003. - 548с. (имеется в библиотеке ИАТЭ НИЯУ МИФИ).
5. Гидравлические расчеты. Под редакцией Кириллова П.Л. Обнинск, Изд-во ГНЦ РФ ФЭИ, 2007. - 250 с. (имеется в библиотеке ИАТЭ НИЯУ МИФИ).
6. Кириллов П.Л., Терентьева М.И., Денискина Н.Б. Теплофизические свойства материалов ядерной техники, Учебное справочное пособие. М., ИздАт, 2007. – 200с. (имеется в библиотеке ИАТЭ НИЯУ МИФИ).
7. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). М., Энергоатомиздат, 1990, 360 с.
8. Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике / под. общ. ред. П. Л. Кириллова. – В трех томах. Москва : ИздАТ, 2010-2014. томы / П. Л. Кириллов [и др.]. - 2014. - 685 с. : ил., табл.

**б) дополнительная учебная литература:**

1. Гидродинамика и теплообмен в атомных энергетических установках./ Авт. Субботин В.И., Ибрагимов М.Х.-Г., Ушаков П.А. и др. - М.: Атомиздат, 1975. - 408с.
2. Двайер О. Теплообмен при кипении жидких металлов-. Перев. с англ., - М.: Мир, 1980. - 516с.
3. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. - М.: Наука, 1982. - 472с.
4. Жуков А.В., Сорокин А.П., Матюхин Н.М. Межканальный обмен в ТВС быстрых реакторов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 182с.
5. Зигель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением. - М.: Мир, 1975. - 934с.
6. Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации. - М.: Энергия, 1977. - 240с.
7. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергоиздат, 1981 г., - 416 с.
8. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. Интенсификация теплообмена в каналах. - 3-е изд., перер. и доп. - М.: Машиностроение, 1990. - 208с.
9. Кириллов П.Л. Свойства материалов ядерной техники, Изд-во ИАТЭ, 1990.
10. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). - 2-е издание, переработанное и дополненное, - М.: Энергоатомиздат, 1990 г., - 360 с.
11. Кокорев Л.С., Харитонов В.В, Теплогидравлические расчеты и оптимизация ядерных энергетических установок: Учебное пособие для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 248с.
12. Крамеров А.Я., Шевелев Я.В, Инженерные расчеты ядерных реакторов. - 2-ое изд. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 736с.
13. Кузнецов Ю.Н. Теплообмен в проблеме безопасности ядерных реакторов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 296с.
14. Кутателадзе С.С. Анализ подобия в теплофизике. - Новосибирск: Наука, 1982. - 280с.
15. Лыков А.В. Теория теплопроводности: Учебное пособие для вузов. - М.; Высшая школа, 1967. - 599с.
16. Петухов Б.С Теплообмен в движущейся однофазной среде. - М., Изд-во МЭИ, 1993. - 352с.
17. Проектирование теплообменных аппаратов АЭС I Ф.М. Митенков, В.Ф. Головкин, П.А. Ушаков, Ю.С. Юрьев. - М.: Энергоатомиздат, 1988.- 296с.
18. Справочник по теплообменникам /Перев. с англ. под ред. Б.С. Петухова, В.К. Шикова, т.1, 2. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 560с.; - 352с.

**8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее - сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины**

1. E-learning for Nuclear Newcomers  
[<http://www.iaea.org/NuclearPower/Infrastructure/elearning/index.html> Режим доступа: 29.05.2014].

2. Росатом - корпорация знаний [<https://www.youtube.com/user/MirnyAtom> Режим доступа: 29.05.2014].
3. Энциклопедия атома Росатом - корпорация знаний [[http://www.rosatom.ru/journalist/videogallery/enciklopediya\\_atoma/defDocument](http://www.rosatom.ru/journalist/videogallery/enciklopediya_atoma/defDocument) Режим доступа: 29.05.2014].
4. Национальный комитет по тепломассообмену <http://www.nchmt.ru>. НКТМ РАН объединяет ученых и специалистов Академии наук, других научных учреждений, высших учебных заведений, промышленных предприятий и фирм, деятельность которых связана с изучением процессов тепло- и массообмена.
5. Журнал "Теплофизика высоких температур" <http://www.maik.ru>
6. Worldwide Directory of Specialists in Thermal & Fluids Science and Engineering, (WDS) База данных специалистов в области теплофизики и динамики жидкости (в области науки и техники) <http://www.edata-center.com/specialists/>
7. The Proceedings of the International Centre for Heat and Mass Transfer Труды Международного центра по тепло- и массообмену <http://www.edata-center.com/proceedings/1bb331655c289a0a.html>
8. Энциклопедия по термодинамике, тепломассообмену и динамике жидкости <http://www.thermopedia.com/>
9. База данных современных достижений (компьютерные программы, экспериментальные результаты, информация о конференциях и др.) в области теплофизики с открытым доступом ThermalHUB is to serve the heat transfer community by providing convenient global access to comprehensive, state-of-the-art information, computing, and communications resources <http://thermalhub.org/>
10. Свойства воды и водяного пара <http://portal.tpu.ru/SHARED/b/BVBORISOV/academic/thermodynamics/Tab3/WS-tabl..pdf>

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии, в свободное время.
Практические занятия	При подготовке к практическим занятиям повторить основные понятия и формулы по темам домашнего задания. Решая упражнения и задачи, предварительно понять, какой теоретический материал нужно изучить. Решить типовую задачу из данной темы на доске с преподавателем. Написать план решения задач, попробовать на его основе решить 1-2 аналогичные задачи самостоятельно. При возникновении трудностей с решением или пониманием сформулировать и задать вопросы преподавателю
Лабораторные работы	При подготовке к лабораторным работам необходимо ознакомиться с описаниями стендов, а также с методами оценки экспериментальных данных, подготовить ответы на контрольные вопросы.
Домашние задания	Перед решением домашних заданий необходимо разобраться с теоретическим материалом по данной теме, который необходимо изучить, разобраться с типовыми задачами, которые имеются в задачнике и которые решались в аудитории. Написать план решения задач, и на его основе решить задачи.
Индивидуальное домашнее задание	Поскольку индивидуальные домашние задания рассматривают несколько тем, то перед решением необходимо определить механизмы теплообмена, повторить

	методики расчета, подготовить таблицы свойств
Коллоквиум	Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам. При подготовке к коллоквиуму необходимо разобрать определения всех понятий и выводы всех уравнений описывающих процессы переноса тепла.
Подготовка к экзамену	При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, задачи практических занятий, рекомендуемую литературу и интернет источники. Основной акцент следует сделать на понимание физики процессов.

Процедура оценивания знаний, умений, навыков по дисциплине включает учет успешности по всем видам оценочных средств. Оценка качества подготовки включает текущую и промежуточную аттестацию.

**Текущий контроль** представляет собой проверку усвоения учебного материала, регулярно осуществляемую на протяжении обучения на каждом семинаре.

Текущий контроль осуществляется в форме решения задач, докладов, коллоквиума и контрольных работ.

Формами **промежуточного контроля** является экзамен, баллы за который выставляются по итогам устного опроса на экзамене.

Экзамен складывается из двух оценочных средств, устный ответ на вопросы к экзамену, при этом студент должен ответить на 3 вопроса из примерного перечня вопросов для подготовки к экзамену и отчитаться по лабораторным работам за второй семестр.

Оценка по дисциплине выставляется по следующим критериям:

«Отлично» выставляется при предоставлении отчетов по лабораторным работам (не менее 70%), сданном экзамене на отлично.

«Хорошо» выставляется при предоставлении отчетов по лабораторным работам (не менее 70 %) и сданном экзамене на хорошо.

«Удовлетворительно» выставляется при предоставлении отчетов по лабораторным работам (не менее 70 %) и сданном экзамене на удовлетворительно.

«Неудовлетворительно» выставляется студентам, если не предоставлены отчеты по лабораторным работам, либо на экзамене студент набрал менее 20 баллов.

При изучении курса «Гидродинамика и теплообмен» необходимо руководствоваться дидактическими единицами, представленными в образовательном стандарте дисциплины и учебной программой, составленной согласно Стандарту.

Программа предусматривает:

**Лекции:** 32 часа (1 час в неделю)

**Организация деятельности студента:**

- По темам всех лекций имеются презентации.
- Отдельно старосте группы выдается список рекомендуемой литературы, имеющейся в библиотеке ИАТЭ, для изучения тем по курсу.

Студент должен иметь лекционную тетрадь, где оформляет конспект лекций: кратко, схематично, последовательно фиксирует основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечает важные мысли, выделяет ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации. График консультаций имеется на кафедре и в электронном виде на страничке кафедры.

**Практические занятия:** 32 час: 6 семестр – 16 часов (1 час в неделю), в 7 семестре – 16 часа (1 час в неделю).

Семинарские занятия призваны научить студентов разбираться в проблемных вопросах физиологии человека и животных, ориентироваться в специальной литературе, самостоятельно работать с литературными и электронными источниками, научиться осуществлять поиск физиологической информации, уяснять и уметь оценивать различные точки зрения.

Целью семинарских занятий для студентов, приступающих к изучению курса, является: более глубокое знакомство с ключевыми теоретическими вопросами, изучаемыми на занятиях.

Основные задачи:

- 1) обретение навыков научно-исследовательской работы на основе анализа текстов источников и применения различных методов исследования;
- 2) выработка умения самостоятельно и критически подходить к изучаемому материалу, включая библиографию и средства электронной информации (Интернет).

Порядок проведения:

1-ый час – объяснение теоретических основ по теме;

2-ой час – решение каждым студентом индивидуальных задач с использованием справочных материалов и консультацией преподавателя.

### **Организация деятельности студента:**

В начале каждого семестра студенты получают структуру курса (план лекций), план семинарских занятий, список тем для подготовки к докладам, а также проведению занятий в интерактивных формах.

### **Контрольные работы:**

Подготовка предполагает проработку лекционного материала, составление в рабочих тетрадях вспомогательных схем для наглядного структурирования материала с целью упрощения его запоминания. Следует обращать внимание на основную терминологию, классификацию, отличительные особенности, наличие соответствующих связей между отдельными процессами.

### **Подготовка доклада к семинарскому занятию**

Основные этапы подготовки доклада

- выбор темы;
- консультация преподавателя;
- подготовка плана доклада;
- работа с источниками и литературой, сбор материала;
- написание текста доклада;
- оформление рукописи и предоставление ее преподавателю до начала доклада, что определяет готовность студента к выступлению;
- выступление с докладом, ответы на вопросы.

Тематика доклада предлагается преподавателем. Доклад может быть подготовлен как в печатной, так и в рукописной форме.

Технические требования к тексту доклада: шрифт 14, интервал 1,5, объем – 3 листа.

Текст доклада должен иметь титульный лист, оформленный в соответствии с образцом, имеющимся на кафедре, и содержать Ф.И.О. студента, Ф.И.О. преподавателя, название предмета, тему доклада, год выполнения, план доклада. Доклад должен содержать правильно оформленные ссылки на использованные источники и литературу.

Студент должен провести домашнюю репетицию устного выступления с докладом и удостовериться, что по времени доклад укладывается в отведенные для него 6-7 минут.

Домашняя (внеаудиторная) подготовка доклада оценивается до 2-х баллов, выступление и



ответы на вопросы также до 2-х баллов (характеристика оценки устного выступления дана выше). Итого за выполнение данного задания студент может получить до 4-х баллов.

**Самостоятельная работа 100 часов:** Студенты самостоятельно прорабатывают материал по предложенным темам. Форма отчетности – конспект. Материал входит в вопросы промежуточного, текущего и итогового контроля.

Работа с учебной и научной литературой является главной формой самостоятельной работы и необходима при подготовке к устному опросу на семинарских занятиях, к модульным контрольным работам, тестированию, экзамену. Она включает проработку лекционного материала - изучение рекомендованных источников и литературы по тематике лекций, конспектирование монографий и научных статей по темам семинарских занятий.

Конспекты научной литературы при самостоятельной подготовке к семинарским занятиям должны быть выполнены аккуратно, содержать ответы на каждый поставленный в теме вопрос, иметь ссылку на источник информации с обязательным указанием автора, названия и года издания используемой научной литературы. Конспект может быть опорным (содержать лишь основные ключевые позиции), но при этом позволяющим дать полный ответ по вопросу, может быть подробным. Объем конспекта определяется самим студентом.

В процессе работы с учебной и научной литературой студент может:

- делать записи по ходу чтения в виде простого или развернутого плана (т.е. создавать перечень основных вопросов, рассмотренных в источнике);
- составлять тезисы (цитирование наиболее важных, значимых мест статьи или монографии, короткое изложение основных мыслей автора);
- готовить аннотации (краткое обобщение проблемных вопросов работы);
- создавать конспекты (развернутые тезисы, которые содержат и доказательства).

Конспекты лекций и научной литературы в обязательном порядке проверяются преподавателем либо во время семинарского занятия, либо во внеаудиторное время (по усмотрению преподавателя).

За конспект студент может получить от 0,5 до 2-х балла.

### **Итоговый контроль: зачет /экзамен**

- Вопросы к экзамену выдаются студентам в электронном и распечатанном виде в начале семестра.

Подготовка к экзамену требует более тщательного изучения материала по теме или блоку тем, акцентирования внимания на определениях, терминах, содержании понятий, датах, именах, характеристиках отдельных событий. Как правило, при подготовке к тестированию и экзамену используется основной учебник, рекомендованный в рабочей программе, а также конспекты лекций и научной литературы, составленные в ходе изучения всего курса.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

- Компьютерное тестирование по итогам изучения разделов дисциплины.
- Проверка домашних заданий и консультирование посредством электронной почты.
- Использование электронных презентаций при проведении практических занятий.

### **10.2. Перечень программного обеспечения**

- Программы, демонстрации видео материалов (проигрыватель «Windows Media Player»).
- Программы для демонстрации и создания презентаций («Microsoft Power Point»).

### **10.3. Перечень информационных справочных систем**

– Консультант Плюс – Справочно-правовая система (разработчик ЗАО «Консультант Плюс»).

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Минимально необходимый для реализации дисциплины перечень материально-технического обеспечения включает в себя:

- аудитория для лекционных занятий с ноутбуком, проектором и экраном;
- лаборатория теплообмена с установками и средствами измерения;
- компьютерный класс;
- электронная база заданий для проведения семинаров, банк домашних заданий, программы для тестирования.

## **12. Иные сведения и (или) материалы**

### **12.1. Перечень образовательных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Основная цель использования активных и интерактивных форм проведения учебных занятий в учебном процессе – формирование и развитие компетенций и профессиональных навыков обучающихся.

Активные и интерактивные формы проведения занятий реализуются при подготовке по программам профессионального образования и предполагают обучение в сотрудничестве. Участники образовательного процесса (преподаватель и студенты) взаимодействуют друг с другом, обмениваются информацией, совместно решают проблемы, моделируют ситуации в атмосфере делового сотрудничества, оптимальной для выработки навыков и качеств будущего профессионала.

Основные преимущества активных и интерактивных форм проведения занятий: – активизация познавательной и мыслительной деятельности студентов; – усвоение студентами учебного материала в качестве активных участников; – развитие навыков рефлексии, анализа и критического мышления; – усиление мотивации к изучению дисциплины и обучению в целом; – создание благоприятной атмосферы на занятии; – развитие коммуникативных компетенций у студентов; – развитие навыков владения современными техническими средствами и технологиями обработки информации; – формирование и развитие способности самостоятельно находить информацию и определять уровень ее достоверности; – использование электронных форм, обеспечивающих четкое управление учебным процессом, повышение объективности оценки результатов обучения студентов; – приближение учебного процесса к условиям будущей профессиональной деятельности.

Активные и интерактивные формы учебных занятий используются при проведении лекций, практических и лабораторных занятий, выполнении курсовых проектов (работ), при прохождении практики и других видах учебных занятий.

Использование активных и интерактивных форм учебных занятий позволяет осуществлять оценку усвоенных знаний, сформированности умений и навыков, компетенций в рамках процедуры текущего контроля по дисциплине (междисциплинарному курсу, профессиональному модулю), практике.

Активные и интерактивные формы учебных занятий реализуются преподавателем согласно рабочей программе учебной дисциплины (профессионального модуля) или программе практики

Основная цель использования активных и интерактивных форм проведения учебных занятий в учебном процессе – формирование и развитие компетенций и профессиональных навыков обучающихся. 1.2. Активные и интерактивные формы проведения занятий реализуются при подготовке по программам среднего профессионального образования и предполагают обучение в сотрудничестве. Все участники образовательного процесса (преподаватель и студенты) взаимодействуют друг с другом, обмениваются информацией, совместно решают проблемы, моделируют ситуации в атмосфере делового сотрудничества, оптимальной для выработки навыков и качеств будущего профессионала. 1.3. Основные преимущества активных и интерактивных форм проведения занятий: – активизация познавательной и мыслительной деятельности студентов; – усвоение студентами учебного материала в качестве активных участников; – развитие навыков рефлексии, анализа и критического мышления; – усиление мотивации к изучению дисциплины и обучению в целом; – создание благоприятной атмосферы на занятии; – развитие коммуникативных компетенций у студентов; – развитие навыков владения современными техническими средствами и технологиями обработки информации; – формирование и развитие способности самостоятельно находить информацию и определять уровень ее достоверности; – использование электронных форм, обеспечивающих четкое управление учебным процессом, повышение объективности оценки результатов обучения студентов; – приближение учебного процесса к условиям будущей профессиональной деятельности. 1.4. Активные и интерактивные формы учебных занятий могут быть использованы при проведении лекций, практических и лабораторных занятий, выполнении курсовых проектов (работ), при прохождении практики и других видах учебных занятий. 1.5. Использование активных и интерактивных форм учебных занятий позволяет осуществлять оценку усвоенных знаний, сформированности умений и навыков, компетенций в рамках процедуры текущего контроля по дисциплине (междисциплинарному курсу, профессиональному модулю), практике. 1.6. Активные и интерактивные формы учебных занятий реализуются преподавателем согласно рабочей программе учебной дисциплины (профессионального модуля) или программе практики

## ***12.2. Формы организации самостоятельной работы обучающихся (темы, выносимые для самостоятельного изучения; вопросы для самоконтроля; типовые задания для самопроверки)***

Студенты самостоятельно прорабатывают материал по предложенным темам. Форма отчетности – конспект. Материал входит в вопросы промежуточного, текущего и итогового контроля.

Работа с учебной и научной литературой является главной формой самостоятельной работы и необходима при подготовке к устному опросу на семинарских занятиях, к модульным контрольным работам, тестированию, экзамену. Она включает проработку лекционного материала - изучение рекомендованных источников и литературы по тематике лекций, конспектирование монографий и научных статей по темам семинарских занятий.

Конспекты научной литературы при самостоятельной подготовке к семинарским занятиям должны быть выполнены аккуратно, содержать ответы на каждый поставленный в теме вопрос, иметь ссылку на источник информации с обязательным указанием автора, названия и года издания используемой научной литературы. Конспект может быть опорным (содержать лишь основные ключевые позиции), но при этом позволяющим дать полный ответ по вопросу, может быть подробным. Объем конспекта определяется самим студентом.

В процессе работы с учебной и научной литературой студент может:

- делать записи по ходу чтения в виде простого или развернутого плана (т.е. создавать перечень основных вопросов, рассмотренных в источнике);
- составлять тезисы (цитирование наиболее важных, значимых мест статьи или монографии, короткое изложение основных мыслей автора);
- готовить аннотации (краткое обобщение проблемных вопросов работы);

- создавать конспекты (развернутые тезисы, которые содержат и доказательства).

Конспекты лекций и научной литературы в обязательном порядке проверяются преподавателем либо во время семинарского занятия, либо во внеаудиторное время (по усмотрению преподавателя).

За конспект студент может получить от 0,5 до 2-х балла.

Примеры тем для самостоятельной работы (в скобках рекомендуемая литература):

- Инновационный путь развития водоводяных реакторов – реакторы на сверхкритических параметрах теплоносителя
- Кризисы теплообмена при кипении воды в трубах
  - (Кириллов П.Л., Богословская Г.П. *Тепломассообмен в ядерных энергетических установках.* – М., Энергоатомиздат, Учебное пособие для вузов. 2000. – с. 228-250.)
  - (Дорошук В.Е. *Кризисы теплообмена при кипении воды в трубах.* - М.: Энергоатомиздат, 1983. – с. 30-62.)
  - (Тонг Л. *Кризис кипения и критический тепловой поток: Перев. с англ.,* - М.: Атомиздат, 1976. – с. 21-51).
- Анализ подобия в теплофизике
  - (Кириллов П.Л., Богословская Г.П. *Тепломассообмен в ядерных энергетических установках.* – М., Энергоатомиздат, Учебное пособие для вузов. 2000. – с. 23-29, 86-92, 179-187)
  - (Кутателадзе С.С. *Анализ подобия в теплофизике.* - Новосибирск: Наука, 1982. – с. 21-68.)
  - (Новиков И.И., Боршанский В.М. *Теория подобия в термодинамике и теплопередаче.* - М.: Атомиздат, 1979. – с. 46-92).
- Теория и техника теплофизического эксперимента
  - *Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: Справочник.* / под ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина, - 2-е изд., перер. - М.: Энергоатомиздат, 1988.- 560с.

### **12.3. Краткий терминологический словарь**

**Абсолютно белое тело** – тело, отражающее все падающее на него излучение.

**Абсолютно прозрачное тело** – тело, пропускающее через себя все падающее на него излучение.

**Абсолютно черное тело** – тело, поглощающее все падающее на него излучение.

**Бародиффузия** – диффузия, причиной возникновения которой является неоднородность полного давления.

**Безразмерная координата** – координата, отнесенная к характерному линейному размеру.

**Безразмерная температура** – представляет собой отношение избыточной температуры тела в произвольный момент времени к избыточной температуре в начальный момент времени.

**Безразмерное количество теплоты** – количество теплоты, переданное телу или телом за определенное время к начальной внутренней энергии тела.

**Водяной эквивалент** – произведение массового расхода теплоносителя на его удельную изобарную теплоемкость.

**Вторичная физическая величина** – величина, которая может быть выражена через другие первичные величины согласно определениям или физическим законам.

**Граничные условия** – разновидность условий однозначности, задают распределение физических параметров на поверхности тела для каждого момента времени.

**Диффузия** – самопроизвольный процесс проникновения одного вещества в другое в направлении установления внутри них равновесного распределения концентраций.

**Диффузия конвективная** – процесс диффузии, происходящий главным образом за счет интенсивного перемешивания отдельных частей взаимодействующих веществ.

**Диффузия молекулярная** – диффузия, обусловленная тепловым движением молекул.

**Излучение** – процесс распространения теплоты с помощью электромагнитных волн.

**Изотермическая поверхность** – геометрическое место точек, имеющих в данный момент времени одинаковую температуру.

**Интегральный лучистый поток** – суммарное количество энергии всех длин волн, излучаемое с поверхности тела в единицу времени.

**Интенсивность излучения** – представляет собой плотность потока интегрального излучения, отнесенную к рассматриваемому интервалу длин волн.

**Капельный режим конденсации** – процесс конденсации, происходящий на не полностью смачиваемой поверхности, когда конденсат осаждается на ней в виде капель.

**Кипение** – процесс парообразования, характеризующийся возникновением новых свободных поверхностей раздела жидкой и паровой фаз внутри жидкости, нагретой выше температуры насыщения.

**Количество теплоты** – тепловая энергия, передаваемая от одного тела к другому в течение какого-то времени.

**Конвективный массообмен** – переход вещества из одной фазы в другую путем молекулярной и конвективной диффузий.

**Конвективный теплообмен** – сложный вид теплообмена, при котором совместно протекают процессы конвекции и теплопроводности.

**Конвекция** – перенос теплоты с помощью движущейся жидкотекучей среды или газового потока.

**Конвекция вынужденная** – теплообмен при движении жидкости под действием внешних сил, например, создаваемых насосом, вентилятором, компрессором.

**Конвекция свободная** – конвекция, возникающая за счет разности давлений (плотности), обусловленной неоднородностью температурного поля жидкости.

**Конденсация** – переход вещества из газообразного состояния в жидкое.

**Концентрационная диффузия** – диффузия, причиной возникновения которой является неравномерное распределение концентрации вещества.

**Коэффициент поглощения** – отношение части лучистой энергии, поглощенной телом, ко всей падающей на тело энергии излучения.

**Коэффициент облученности** – учитывает долю излучения первого тела, которая воспринимается вторым телом.

**Коэффициент оребрения** – отношение площади оребренной поверхности трубы к площади гладкой поверхности.

**Коэффициент отражения** – отношение части лучистой энергии, отраженной телом, ко всей падающей на тело энергии излучения.

**Коэффициент проицаемости** – отношение части лучистой энергии, прошедшей сквозь тело, ко всей падающей на тело энергии излучения.

**Коэффициент теплоотдачи** – тепловой поток, проходящий через 1 м<sup>2</sup> поверхности при разности температур между поверхностью тела и окружающей средой в 1 градус, значение характеризует интенсивность теплообмена между поверхностью тела и жидкостью.

**Коэффициент теплопередачи** – количество теплоты, проходящей через единицу поверхности стенки в единицу времени от горячего к холодному теплоносителю при разности температур между ними в 1 градус.

**Коэффициент теплопроводности** – тепловой поток, проходящий через единицу поверхности при единичном температурном градиенте.

**Критериальное уравнение** – зависимость между каким-либо определяемым критерием подобия и другими определяющими критериями подобия.

**Критерий подобия** – безразмерное соотношение параметров, характеризующих процесс, которое у подобных явлений в сходственных точках в сходственные моменты времени имеет численно одинаковое значение.

**Критический диаметр изоляции** – величина, характеризующая эффективность применения тепловой изоляции, не зависит от размеров изолируемого трубопровода, а зависит от коэффициента теплопроводности изоляции и наружного

коэффициента теплоотдачи.

**Линейный коэффициент теплопередачи** – количество теплоты, проходящей через 1 м трубы в единицу времени от горячего теплоносителя к холодному при разности температур между ними в 1 градус.

**Лучистый теплообмен** – процесс распространения теплоты с помощью электромагнитных волн.

**Массообмен** – перенос вещества одного или нескольких компонентов из одной среды в другую.

**Массоотдача** – конвективный массообмен между движущейся средой и межфазной поверхностью.

**Начальные условия** – разновидности условий однозначности, задают закон распределения температуры внутри тела в начальный момент времени, применяются для нестационарных процессов.

**Неограниченная пластина** – пластина, длина и ширина которой намного больше ее толщины.

**Нестационарный процесс теплопроводности** – процесс, происходящий при условиях, когда поле температуры в теле изменяется не только в пространстве, но и во времени.

**Определяющая скорость** – скорость среды, использованная при выводе какого-либо конкретного критериального уравнения.

**Определяющая температура** – температура среды, использованная при выводе какого-либо конкретного критериального уравнения.

**Определяющий размер** – размер тела (поверхности, канала, трубы и т. д.), использованный при выводе какого-либо конкретного критериального уравнения.

**Первичная физическая величина** – величина, которая характеризует какое-либо физическое явление непосредственно, без связи с другими величинами.

**Пленочный режим кипения** – процесс кипения жидкости, при котором пузырьки пара соединяются и образуют паровую пленку, которая полностью покрывает поверхность нагрева и отделяет ее от жидкости.

**Пленочный режим конденсации** – процесс конденсации, происходящий на полностью смачиваемой поверхности, когда конденсирующийся насыщенный пар образует сплошную пленку конденсата определенной толщины.

**Плотность потока массы** – поток массы, проходящий через единицу поверхности.

**Плотность теплового потока** – количество теплоты, проходящее в единицу времени через единицу поверхности (второе название – удельный тепловой поток).

**Поверхностная плотность потока интегрального излучения** – тепловой поток, излучаемый на всех длинах волн с единицы поверхности тела по всем направлениям.

**Пограничный гидродинамический слой** – тонкий слой жидкости вблизи поверхности тела, в котором происходит изменение скорости жидкости от значения скорости невозмущенного потока вдали от стенки до нуля, непосредственно на стенке.

**Пограничный тепловой слой** – тонкий слой жидкости вблизи поверхности тела, в котором происходит изменение температуры жидкости от температуры стенки до температуры невозмущенного потока вдали от стенки.

**Подобие геометрическое** – подобие углов, линейных размеров, геометрических фигур и т. д.

**Подобие кинематическое** – подобие распределения скоростей в сходственных точках.

**Полное подобие физических явлений** – этот вид подобия означает, что все величины, характеризующие данное явление, должны находиться в определенных соотношениях для сходственных точек и сходственных моментов времени.

**Полное термическое сопротивление теплопередачи** – величина, обратная коэффициенту теплопередачи, представляет собой сумму термических сопротивлений теплоотдачи и внутреннего термического сопротивления стенки.

**Поток массы** – количество вещества, проходящего в единицу времени через данную

поверхность в направлении нормали к ней.

**Пузырьковый режим кипения** – процесс кипения жидкости, при котором происходит образование отдельных пузырьков на поверхности нагрева, их движение после отрыва от поверхности и интенсивное перемешивание жидкости.

**Пучок труб коридорный** – несколько труб, расположенных рядами, друг за другом.

**Пучок труб шахматный** – несколько труб, расположенных в шахматном порядке.

**Рабочая поверхность теплообменника** – представляет собой твердую стенку, которая с обеих сторон омывается теплоносителями, и через которую происходит теплопередача.

**Размерность** – выражение *вторичной* (производной) физической величины через *первичные* (основные).

**Регенеративный теплообменник** – аппарат, в котором одна и та же поверхность нагрева через определенные промежутки времени омывается то горячей, то холодной жидкостью.

**Рекуперативный теплообменник** – представляет собой устройство, в котором две жидкости с различными температурами текут в пространстве, разделенном твердой стенкой.

**Серое тело** – тело, для которого коэффициенты поглощения, отражения, проницаемости не равны единице и не зависят от длины волны падающего излучения.

**Сложный теплообмен** – это теплообмен, при котором теплота передается с помощью двух или трех простых способов (теплопроводностью, конвекцией и излучением).

**Смесительный теплообменник** – устройство, в котором осуществляется теплообмен при непосредственном контакте и смешении горячей и холодной сред.

**Среднеарифметический температурный напор** – средний по поверхности теплообмена температурный напор в теплообменном аппарате, равный большей разности за вычетом меньшей разности температур на концах теплообменника, деленных на натуральный логарифм отношения этих разностей.

**Степень черноты** – отношение поверхностной плотности потока собственного интегрального излучения данного тела к поверхностной плотности потока интегрального излучения абсолютно черного тела при той же температуре.

**Температурное поле** – совокупность значений температур во всех точках рассматриваемого тела или части пространства в данный момент времени.

**Температурное поле нестационарное** – температурное поле, в котором температура изменяется с течением времени.

**Температурное поле стационарное** – температурное поле, в котором температура не изменяется с течением времени.

**Температурный градиент** – вектор, направленный по нормали к изотермической поверхности в сторону возрастания температуры и численно равный производной от температуры по этому направлению.

**Температурный напор** – разность температур между поверхностями тел или телом и теплоносителем, или между горячим и холодным теплоносителями.

**Теплоаккумулирующая насадка** – поверхность нагрева регенеративного теплообменника.

**Тепловая изоляция** – покрытие горячей поверхности, которое способствует снижению потерь теплоты в окружающую среду.

**Тепловая проводимость стенки** – отношение коэффициента теплопроводности материала стенки к ее толщине, величина обратная термическому сопротивлению стенки.

**Тепловой поток** – количество теплоты, передаваемое в единицу времени.

**Тепловой расчет теплообменников конструктивный** – выполняется при

проектировании новых аппаратов, целью расчета является определение поверхности теплообмена.

**Тепловой расчет теплообменников поверочный** – выполняется в случае, если известна поверхность нагрева теплообменного аппарата, целью расчета является определение количества переданной теплоты и конечных температур рабочих жидкостей.

**Тепловые лучи** – электромагнитные волны (лучи) с длиной волны от 0,8 до 400 мкм, их еще называют инфракрасными.

**Тепломассообмен** – наука о закономерностях переноса теплоты и вещества в пространстве или совместное протекание процессов тепло- и массообмена.

**Тепломассообменный аппарат** – устройство, в котором осуществляются процессы тепло- и массообмена между двумя или несколькими средами.

**Теплоносители** – подвижные среды, которые участвуют в процессах тепломассообмена.

**Теплообмен** – процесс переноса теплоты от более нагретых тел к менее нагретым.

**Теплообменник с внутренними источниками энергии** – устройство, в котором применяются не два, как обычно, а один теплоноситель, который отводит теплоту, выделенную в самом аппарате.

**Теплоотдача** – вид конвективного теплообмена, когда теплотой обмениваются поверхность твердого тела и жидкость, движущаяся у этой поверхности.

**Теплопередача** – сложный вид теплообмена, при котором теплота передается от одной подвижной горячей среды к другой подвижной холодной среде через твердую стенку всеми способами.

**Теплопроводность** – передача теплоты внутри одного тела или при непосредственном соприкосновении тел, обусловленная тепловым движением микрочастиц (атомов, молекул).

**Термическое сопротивление стенки** – отношение толщины стенки к ее коэффициенту теплопроводности, показывает величину падения температуры при прохождении через стенку удельного теплового потока, равного единице.

**Термическое сопротивление теплоотдачи** – отношение единицы к коэффициенту теплоотдачи.

**Термодиффузия** – диффузия, причиной возникновения которой является неоднородность температурного поля.

**Условия однозначности** – определяют частные особенности протекающих процессов, дополняют дифференциальные уравнения, бывают геометрическими, физическими, начальными и граничными.

**Центры парообразования** – отдельные точки поверхности теплообмена, в которых происходит зарождение пузырьков пара, это могут быть неровности самой стенки, микротрещины поверхности нагрева, частицы накипи, а также адсорбированные на поверхности нагрева газы.

**Эквивалентный коэффициент теплопроводности** – коэффициент теплопроводности условного однородного тела с такими же свойствами проводить теплоту, как и движущаяся под действием свободной конвекции среда, находящаяся в ограниченном пространстве между двумя параллельными поверхностями.

**Экран** – тонкий металлический лист с большой отражательной способностью, устанавливаемый между излучателем и обогреваемым элементом для снижения потока излучения.

Программу составила:

Г.П.Богословская, доцент, к.т.н., доцент по специальности

Рецензент:

П.Л.Кириллов, главный научный сотрудник, д.т.н., профессор