

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета  В.А. Небольсин

«30» августа 2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины (модуля)  
«Тепломассообмен»

**Направление подготовки (специальность)** 14.03.01 – Ядерная энергетика  
и теплофизика

**Профиль (специализация)** Техника и физика низких температур

**Квалификация выпускника** Бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года

**Форма обучения** Очная

**Год начала подготовки** 2016 г.

Автор программы



Солженикин П.А.

Заведующий кафедрой  
теоретической и промышленной  
теплоэнергетики



Бараков А.В.

Руководитель ОПОП



Калядин О.В.

Воронеж 2017

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **1.1. Цели дисциплины**

Целью дисциплины служит подготовка студентов к усвоению вопросов теплообмена в спецкурсах и к использованию полученных знаний и навыков в профессиональной деятельности и на стадии дипломного проектирования.

### **1.2. Задачи освоения дисциплины**

Задачами изучения дисциплины являются изучение закономерностей основных процессов переноса теплоты и массы, в частности процессов теплообмена, протекающих совместно, усвоением основных результатов теоретических и экспериментальных исследований и ознакомление с путями решения современных проблем теплообмена, приобретение умений, и навыков в проведении тепловых расчетов и решении практических задач, связанных с теплообменом в элементах энергетических установок.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП**

Дисциплина «Теплообмен» относится к дисциплинам вариативной части блока Б.1 учебного плана.

## **3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Процесс изучения дисциплины «Теплообмен» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-2 – готовность к участию в проведении физического и численного эксперимента, к подготовке соответствующих экспериментальных стендов

ПК-3 – готовность к участию в исследовании и испытании основного оборудования атомных электростанций в процессе разработки и создания

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

ПКВ-3 – готовность выполнять расчетно-экспериментальные работы и решать научно-технические задачи в области низкотемпературной техники и систем жизнеобеспечения на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, теплофизических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и аппаратам

ПКВ-4 – способность участвовать в разработке теплофизических, математических и компьютерных моделей, предназначенных для выполнения исследований и решения научно-технических задач

<b>Компетенция</b>	<b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>
ПК-2	<p data-bbox="501 244 1431 409">Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфазных средах;</p> <p data-bbox="501 416 1431 712">Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в трубах, кипения и конденсации</p> <p data-bbox="501 719 1431 835">владеть основами расчета процессов тепломассопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования</p>
ПК-3	<p data-bbox="501 848 1431 1014">Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфазных средах;</p> <p data-bbox="501 1021 1431 1317">Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в трубах, кипения и конденсации</p> <p data-bbox="501 1323 1431 1440">владеть основами расчета процессов тепломассопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования</p>
ПК-5	<p data-bbox="501 1453 1431 1619">Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфазных средах;</p> <p data-bbox="501 1626 1431 1921">Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в трубах, кипения и конденсации</p> <p data-bbox="501 1928 1431 2045">владеть основами расчета процессов тепломассопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования</p>

ПКВ-3	Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфазных средах;
	Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в трубах, кипения и конденсации
	владеть основами расчета процессов тепломассопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования
ПКВ-4	Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфазных средах;
	Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в трубах, кипения и конденсации
	владеть основами расчета процессов тепломассопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Тепломассообмен» составляет 7 зачетных единиц.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		5	6
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	108	54	54
<b>В том числе:</b>			
Лекции	36	18	18
Практические занятия (ПЗ)	54	36	18

Лабораторные работы (ЛР)	18	-	18
<b>Самостоятельная работа</b>	108	36	72
Часы на контроль	36	-	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет	+	+	+
курсовая работа	+	-	+
Общая трудоемкость: академические часы	252	90	162
зач.ед.	7	2,5	4,5

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1. Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Все го, час
1	Введение. Теплопроводность	Классификация основных закономерностей переноса теплоты и массы. Главные этапы развития учения о тепломассообмене. Процессы тепломассообмена в современной технике. Основные положения теории теплопроводности. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Механизм теплопроводности в газах, жидкостях и твердых телах. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Теплопроводность при стационарном режиме. Анализ переноса теплоты теплопроводностью через плоские, цилиндрические и сферические стенки. Расчетные соотношения. Задачи теплопроводности при наличии объемного тепловыделения. Методы расчета переноса теплоты в сложных системах. Интенсификация теплопередачи за счет оребрения поверхности. Эффективность оребрения. Расчет передачи теплоты вдоль стержней и ребер. Теплопроводность при нестационарном режиме. Классификация нестационарных процессов. Анализ нагрева (охлаждения) полуограниченного массива, пластины, цилиндра и шара. Основы теории регулярного теплового режима Принципы моделирования процессов теплопроводности. Особенности процесса теплопроводности при криотемпературах.	5	10	8	15	38
2	Конвективный теплообмен	Общие положения. Классификация и характеристика процессов конвективного теплообмена. Коэффициент теплоотдачи. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Основные понятия и соотношения теории пограничного слоя. Теплообмен при внешнем обтекании тел. Анализ гидродинамики и теплообмена при продольном обтекании пластины на основе соотношений теории пограничного слоя. Расчет теплоотдачи при ламинарном движении теплоносителя в пограничном слое. Теплоотдача при турбулентном пограничном слое. Аналогия Рейнольдса и ее современные модификации. Теплоотдача в трубах и каналах. Анализ теплообмена при ламинарном режиме движения,	5	10	10	15	40

		Начальный тепловой участок и зона стабилизации теплообмена. Закономерности теплообмена при турбулентном течении. Теплообмен при естественной конвекции. Анализ теплообмена на основе соотношений теории пограничного слоя. Основные закономерности при ламинарном режиме для вертикальных пластин и горизонтальных труб. Теплоотдача при турбулентном движении теплоносителя в пристеночном слое. Расчетные соотношения. Анализ процесса естественной конвекции в узких зазорах, методы расчета.					
3	Отдельные задачи конвективного теплообмена	Закономерности теплообмена при поперечном обтекании труб и пучков труб. Основные особенности теплообмена при высоких скоростях движения теплоносителя. Специфика теплообмена жидких металлов. Закономерности теплообмена в сверхкритической области состояния вещества. Основы теории подобия и моделирования. Понятие физического подобия процессов. Свойства подобных процессов. Критерии подобия и уравнения подобия. Обобщение экспериментальных данных и методы моделирования процессов конвективного теплообмена. Понятие о теории размерностей.	5	8	-	15	28
4	Теплообмен излучением	Основные понятия и законы. Природа теплового излучения. Поглощательная, отражательная и пропускная способности тел. Виды лучистых потоков. Спектр излучения черного тела - закон Планка, Интегральное излучение черного тела. Закон Стефана-Больцмана, Излучательная способность и степень черноты. Закон Кирхгофа. Интенсивность излучения и закон Ламберта. Теплообмен излучением в диатермичной среде. Перенос теплоты в системе, ограниченной серыми поверхностями. Частные случаи. Теплообмен излучением между произвольно расположенными в пространстве поверхностями. Взаимные поверхности и угловые коэффициенты. Тепловое излучение газа. Особенности излучения и поглощения газов. Основное уравнение переноса лучистой энергии в поглащательной среде. Спектральная и интегральная степени черноты объема газа. Метод расчета лучистого теплообмена между газовым объемом и поверхностью твердого тела. Сложный теплообмен как совокупность процессов теплопроводности, конвекции и излучения. Особенности теплообмена излучением при криотемпературах.	4	8	-	15	27
5	Теплообмен при фазовых превращениях	Общие положения. Классификация процессов фазовых превращений. Соотношения баланса полных потоков вещества, импульсов и энергии на границе раздела фаз при фазовых переходах. Теплообмен при конденсации пара Пленочный и капельный режимы конденсации. Теория Нуссельта для процесса пленочной конденсации и ее последующие уточнения. Расчетные соотношения. Теплообмен при турбулентном режиме течения конденсатной пленки. Особенности конденсации пара внутри труб. Механизм и теплообмен при капельной конденсации пара. Теплообмен при кипении жидкости. Режимы кипения. Механизм и теплоотдача при пузырьковом режиме кипения. Гидродинамическая теория первого кризиса кипения. Механизм и теплоотдача при пленочном режиме кипения. Второй кризис процесса кипения. Особенности теплообмена при плавлении и сублимации. Упрощенные схемы процессов Анализ условий	5	10	-	15	30

		переноса теплоты и закономерности теплообмена.					
6	Процессы тепло- и массообмена. Расчет теплопередачи в энергетических установках.	Общие положения. Классификация процессов тепло- и массообмена. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Механизм диффузии в газах и жидкостях. Наложенные эффекты. Молекулярный перенос энергии в бинарных системах. Математическое описание. Система дифференциальных уравнений конвективного тепло- и массообмена. Граничные условия на проницаемых поверхностях. Диффузионный пограничный слой. Закономерности совместного переноса массы, импульса и энергии. Анализ процессов переноса на основе соотношений теории пограничного слоя. Аналогия процессов переноса массы, импульса и энергии (тройная аналогия). Расчетные соотношения и практические приложения. Процессы тепло- и массообмена в области низких давлений и температур. Физические основы процессов. Молекулярные потоки вещества и энергии. Максвеловские односторонние потоки. Молекулярный теплообмен в разреженных системах. Энергетическая аккомодация. Приложение к вакуумным системам тепловой изоляции. Отдельные задачи тепло- и массообмена. Классификация теплообменных аппаратов. Температурный напор. Основные расчетные соотношения. Особенности расчета теплопередачи при пониженных давлениях и низких температурах.	12	8	-	33	53
<b>Итого</b>			<b>36</b>	<b>54</b>	<b>18</b>	<b>108</b>	<b>216</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

№ п/п	Наименование лабораторной работы
1	Определение коэффициента теплопроводности изоляционных материалов методом цилиндрического слоя.
2	Определение коэффициента теплопроводности металлов методом стержня.
3	Исследование теплоотдачи от горизонтального цилиндра при свободной конвекции.
4	Исследование теплоотдачи при течении жидкости в трубе.

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсовой работы на тему «Расчет рекуперативного теплообменного аппарата непрерывного действия».

Задачи, решаемые в ходе курсовой работы:

- 1) тепловой расчет аппарата;
- 2) гидравлический расчет аппарата;
- 3) конструктивный расчет аппарата.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

### 7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-2	Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфазных средах;	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в трубах, кипения и конденсации	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть основами расчета процессов тепло-массопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-3	Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности,	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфазных средах;			граммах
	Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в трубах, кипения и конденсации	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть основами расчета процессов тепло-массопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-5	Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфазных средах;	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в трубах, кипения и конденсации	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть основами расчета процессов тепло-массопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПКВ-3	Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфаз-	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	ных средах;			
	Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в трубах, кипения и конденсации	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть основами расчета процессов тепло-массопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПКВ-4	Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфазных средах;	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в трубах, кипения и конденсации	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть основами расчета процессов тепло-массопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5, 6 семестре для очной формы обучения по двух/четырёхбалльной системе:

«зачтено»;

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-2	Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфазных средах;	Тест	Выполнение теста на 70-100%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в трубах, кипения и конденсации	Тест	Выполнение теста на 70-100%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Владеть основами расчета процессов теплопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Тест	Выполнение теста на 70-100%	В тесте менее 70% правильных ответов
ПК-3	Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфазных средах;	Тест	Выполнение теста на 70-100%	В тесте менее 70% правильных ответов

	<p>Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в трубах, кипения и конденсации</p>	Тест	Выполнение теста на 70-100%	В тесте менее 70% правильных ответов
	<p>Владеть основами расчета процессов теплопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования</p>	Тест	Выполнение теста на 70-100%	В тесте менее 70% правильных ответов
ПК-5	<p>Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфазных средах;</p>	Тест	Выполнение теста на 70-100%	В тесте менее 70% правильных ответов
	<p>Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в тру-</p>	Тест	Выполнение теста на 70-100%	В тесте менее 70% правильных ответов

	бах, кипения и конденсации			
	владеть основами расчета процессов теплопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Тест	Выполнение теста на 70-100%	В тесте менее 70% правильных ответов
ПКВ-3	Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфазных средах;	Тест	Выполнение теста на 70-100%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в трубах, кипения и конденсации	Тест	Выполнение теста на 70-100%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Владеть основами расчета процессов теплопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Тест	Выполнение теста на 70-100%	В тесте менее 70% правильных ответов
ПКВ-4	Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфазных	Тест	Выполнение теста на 70-100%	В тесте менее 70% правильных ответов

	средах;			
	Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в трубах, кипения и конденсации	Тест	Выполнение теста на 70-100%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Владеть основами расчета процессов теплопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Тест	Выполнение теста на 70-100%	В тесте менее 70% правильных ответов

или

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-2	Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфазных средах;	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в трубах, кипения и конденсации					
	Владеть основами расчета процессов тепло-массопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-3	Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфазных средах;	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в трубах, кипения и конденсации	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть основами расчета процессов тепло-массопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-5	Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфазных средах;	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены вер-	Продемонстрирован верный ход решения всех, но	Продемонстрирован верный ход решения в	Задачи не решены

	температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в трубах, кипения и конденсации		ные ответы	не получен верный ответ во всех задачах	большинстве задач	
	владеть основами расчета процессов теплопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПКВ-3	Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфазных средах;	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в трубах, кипения и конденсации	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть основами расчета процессов теплопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПКВ-4	Знать основные задачи теплопроводности, методы решения уравнений теплопроводности, задачи конвективного теплообмена, задачи теплообмена в двухфазных средах;	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

Уметь решать уравнение теплопроводности, определять стационарные и нестационарные температурные поля в плоской и цилиндрической стенках при различных граничных условиях; пользоваться методом разделения переменных, операционным методом и теорией подобия; решать задачи свободной конвекции, теплообмена в трубах, кипения и конденсации	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
Владеть основами расчета процессов тепло-массопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

№ вопроса	Вопрос	Варианты ответов
1	Верно ли, что между стенками, разделенными слоем газа, может существовать как конвективный теплообмен, так и теплообмен излучением?	1 - да 2 - нет
2	Является ли теплообмен между Солнцем и планетами примером сложного теплообмена?	1 - да 2 - нет
3	Является ли перенос теплоты через стекло примером сложного теплообмена?	"-""
4	Возможен ли конвективный теплообмен в твердом теле?	"-""
5	Является ли конвективная теплоотдача элементарным процессом?	"-""
6	Является ли процесс теплопередачи эле-	"-""

	ментарным процессом?	
7	Возможно ли явление массообмена при отсутствии конвекции?	"-"
8	Из двух единиц - Вт и Дж, является ли только Вт единицей тепловой мощности?	"-"
9	Теплопередача - это процесс конвективного теплообмена между потоками жидкости или газа и поверхностью твердого тела?	"-"
10	Теплоотдача - это процесс конвективного теплообмена между потоками жидкости или газа и поверхностью твердого тела?	"-"

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Плоскую поверхность необходимо изолировать так, чтобы потери теплоты с единицы поверхности в единицу времени не превышали  $450 \text{ Вт/м}^2$ . Температура поверхности под изоляцией  $t_{c1} = 450 \text{ }^\circ\text{C}$ , температура внешней поверхности изоляции  $t_{c2} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определить толщину изоляции, если  $\lambda = 0,09 + 0,0000874t$ ,  $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

2. Вычислить тепловые потери через  $1 \text{ м}^2$  двухслойной плоской стенки и температуру в плоскости соприкосновения слоев, если известно:  $\delta_1 = 125 \text{ мм}$ ;  $\delta_2 = 500 \text{ мм}$ ;  $t_{c1} = 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_{c3} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\lambda_1 = 0,28 + 0,00023t$ ;  $\lambda_2 = 0,7 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

3. Определить тепловые потери через  $1 \text{ м}$  длины трехслойной цилиндрической стенки и температуры на границе соприкосновения слоев если известно:  $\delta_1 = 5 \text{ мм}$ ;  $\delta_2 = \delta_3 = 50 \text{ мм}$ ;  $\lambda_1 = 50 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ;  $\lambda_2 = 0,06 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ;  $\lambda_3 = 0,12 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ;  $t_{c1} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_{c4} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $d = 100 \text{ мм}$ .

4. Вычислить потери теплоты с  $1 \text{ м}$  неизолированного трубопровода диаметром  $d_1/d_2 = 150/160 \text{ мм}$ , проложенного на открытом воздухе, если внутри трубы протекает вода со средней температурой  $t_{ж1} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$  и температурой окружающего воздуха  $t_{ж2} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Для материала трубы  $\lambda = 50 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ;  $\alpha_1 = 1000 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ;  $\alpha_2 = 12 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ . Определить также температуру на внешней и внутренней поверхностях трубы.

5. Определить время, необходимое для нагрева листа стали толщиной  $2\delta = 24 \text{ мм}$ , который имел начальную температуру  $t_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ , а затем помещён в печь с температурой  $t_{ж} = 600 \text{ }^\circ\text{C}$ . Нагрев считать законченным, когда температура листа достигнет значения  $t = 450 \text{ }^\circ\text{C}$ . Для стали:  $\lambda = 45,4 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ;  $c_p = 0,502 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ ;  $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ ;  $\alpha = 23,3 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ .

6. Длинный стальной вал диаметром  $d = 2 r_0 = 120 \text{ мм}$ , имеющий температуру  $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  помещён в печь с  $t_{ж} = 820 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определить время нагрева вала до  $t_{r=0} = 800 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определить также температуру на поверхности вала  $t_{r=r_0}$  в конце нагрева.  $\lambda = 21 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ;  $a = 6,11 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $\alpha = 140 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ .

7. Стальной параллелепипед размером 200x400x500 мм, имел начальную температуру  $t_0 = 20$  °С, затем был помещён в печь с температурой  $t_{ж} = 1400$  °С. Определить температуру в центре слитка через 1,5 часа после загрузки в печь.  $\lambda = 37,2$  Вт/(м•К);  $a = 6,94 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с;  $\alpha = 168$  Вт/(м<sup>2</sup>•К).

8. Стальная цилиндрическая болванка диаметром 80 мм и длиной 160 мм была равномерно нагрета до  $t_0 = 800$  °С. Болванка охлаждается на воздухе с  $t_{ж} = 30$  °С. Определить температуру в центре болванки и в середине торцевой поверхности через 30 мин после начала охлаждения.  $\lambda = 23,3$  Вт/(м•К);  $a = 6,11 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с;  $\alpha = 118$  Вт/(м<sup>2</sup>•К).

9. Определить коэффициент теплоотдачи от вертикальной плиты высотой  $H = 2$  м, к окружающему воздуху, если температура поверхности плиты  $t_c = 100$  °С, температура окружающего воздуха вдали от поверхности  $t_{ж} = 20$  °С.

10. Определить коэффициент теплоотдачи от поверхности труб, расположенных горизонтально в большом баке, к маслу, если диаметр труб  $d = 20$  мм, температура масла  $t_{ж} = 60$  °С, температура поверхности труб  $t_c = 90$  °С. Расчёт можно производить как для одиночного цилиндра.

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Определить значение коэффициента теплоотдачи и количество передаваемой теплоты за 1 с при течении воды в горизонтальной трубе диаметром  $d = 10$  мм и длиной  $l = 1,2$  м, если средние по длине температура воды и стенки трубы равны соответственно  $t_{ж} = 30$  °С и  $t_c = 60$  °С, расход воды  $G = 7 \cdot 10^{-3}$  кг/с.

2. Какой длины необходимо использовать трубу диаметром  $d = 18$  мм для нагрева воды от  $t_{ж}' = 5$  °С до  $t_{ж}'' = 55$  °С, температура стенки трубы  $t_c = 70$  °С, расход воды  $G = 72$  кг/ч.

3. Определить коэффициент теплоотдачи от стенки трубы к охлаждающей воде, если температура стенки  $t_c = 28$  °С, внутренний диаметр трубки  $d = 16$  мм,  $t_{ж}' = 10$  °С,  $t_{ж}'' = 18$  °С, средняя скорость воды в трубке  $w = 2$  м/с.

4. По трубке внутренним диаметром  $d = 18$  мм движется вода со скоростью  $w = 1,2$  м/с. Температура стенки трубки  $t_c = 90$  °С, вода нагревается от  $t_{ж}' = 15$  °С до  $t_{ж}'' = 45$  °С. Определить коэффициент теплоотдачи от трубки к воде и плотность теплового потока. Принять, что  $l > 50 d$ .

5. Трубка диаметром  $d = 20$  мм охлаждается потоком воды. Скорость потока  $w = 1$  м/с. Средняя температура воды  $t_{ж} = 10$  °С и температура стенки трубки  $t_c = 50$  °С. Определить коэффициент теплоотдачи от поверхности трубки к охлаждающей воде.

6. Шахматный пучок труб обтекается поперечным потоком трансформаторного масла. Внешний диаметр труб  $d = 20$  мм, скорость потока  $w = 0,6$  м/с и  $t_{ж} = 40$  °С. Температура стенки трубок  $t_c = 90$  °С. Поток обтекает трубки под углом атаки  $\varphi = 90$  °. Определить коэффициент теплоотдачи.

7. Коридорный пучок труб обтекается потоком трансформаторного масла. Внешний диаметр труб  $d = 20$  мм, скорость потока  $w = 0,6$  м/с и  $t_{ж} = 40$  °С. Тем-

температура стенки трубок  $t_c = 90$  °С. Поток обтекает трубки под углом атаки  $\varphi = 90$  °. Определить коэффициент теплоотдачи.

8. Шахматный пучок труб обтекается поперечным потоком воды. Внешний диаметр труб  $d = 20$  мм, скорость потока  $w = 0,6$  м/с и  $t_{ж} = 40$  °С. Температура стенки трубок  $t_c = 90$  °С. Поток обтекает трубки под углом атаки  $\varphi = 45$  °. Определить коэффициент теплоотдачи.

9. На наружной поверхности горизонтальной трубы диаметром  $d = 20$  мм и длиной  $l = 2$  м конденсируется сухой насыщенный водяной пар при давлении  $P = 10^5$  Па. Температура поверхности трубы  $t_c = 94,5$  °С. Определить средний коэффициент теплоотдачи от пара к трубе и количество конденсирующегося пара.

10. На наружной поверхности вертикальной трубы диаметром  $d = 20$  мм и высотой  $h = 2$  м конденсируется сухой насыщенный водяной пар при давлении  $P = 10^5$  Па. Температура поверхности трубы  $t_c = 94,5$  °С. Определить средний по высоте коэффициент теплоотдачи от пара к трубе и количество конденсирующегося пара.

#### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Явление отрыва пограничного слоя. Влияние гидродинамики потока на локальную и среднюю теплоотдачу.

2. Теплоотдача при течении газов с большой скоростью.

3. Жидкометаллический теплоносители, теплоотдача.

4. Теплоотдача в разреженных газах.

5. Пленочная и капельная конденсация. Термические сопротивления при конденсации. Условия взаимодействия на границе раздела фаз.

6. Влияние скорости пара при конденсации. Конденсация на горизонтальных трубах и пучках труб.

7. Теплообмен при конденсации практически неподвижного пара в условиях ламинарного и турбулентного режимов течения пленки конденсата.

8. Кипение в большом объеме. Пузырьковый и пленочный режимы. Условия возникновения паровой фазы, критический радиус пузырька. Число центров парообразования.

9. Механизм теплоотдачи и расчетные соотношения при пузырьковом режиме кипения. Расчет критической плотности теплового потока.

10. Структура двухфазного потока и теплообмена при кипении внутри труб. Кризис кипения.

11. Теплообмен при сублимации вещества.

12. Тепломассообмен при конденсации смеси паров и пара из парогазовой смеси. Зависимость интенсивности теплообмена от содержания неконденсирующегося компонента.

#### 7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Физический механизм процесса теплопроводностью в различных средах. Температурное поле, градиент температуры, плотность теплового потока.

2. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности, его зависимость от различных факторов.
3. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Линейные и нелинейные задачи.
4. Теплопроводность плоской стенки с постоянным и зависящим от температуры коэффициентом теплопроводности.
5. Теплопередача через многослойную стенку. Коэффициент теплопередачи. Термические сопротивления.
6. Теплопередача через многослойную цилиндрическую стенку. Критический диаметр. Понятие об оптимизации тепловой изоляции.
7. Теплопроводность в стержне (ребре) постоянного поперечного сечения.
8. Нестационарная теплопроводность пластины при граничных условиях третьего рода.
9. Нестационарная теплопроводность длинного цилиндра. Теплопроводность тел конечных размеров (параллелепипед, цилиндр).
10. Определение количества теплоты, отдаваемого или воспринимаемого телом в процессе нестационарной теплопроводности.
11. Конвективный теплообмен как совокупность молекулярного и молярного переноса теплоты. Теплоотдача. Понятие о тепловом пограничном слое. Особенности теплообмена при ламинарном и турбулентном режимах течения.
12. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена: уравнения энергии, движения и сплошности. Краевые условия.
13. Теория подобия. Безразмерные комплексы (критерии подобия).
14. Теплоотдача при конвекции в большом объеме и обобщение методами теории подобия. Расчетные соотношения.
15. Теплоотдача при свободной конвекции в ограниченном пространстве.
16. Образование теплового и гидродинамического пограничных слоев при неизотермическом течении с большими критериями Пекле и Рейнольдса.
17. Простейшая модель турбулентности. Законы сопротивления и теплообмена при турбулентном течении.
18. Теплоотдача при турбулентном режиме. Теплоотдача при турбулентном обтекании плоской пластины.
19. Теплообмен в трубах при ламинарном течении. Гидродинамическая и тепловая стабилизация.
20. Теплообмен в трубах при турбулентном течении. Гидродинамическая и тепловая стабилизация.
21. Влияние шероховатости и изгиба труб на теплоотдачу. Теплоотдача в каналах некруглого поперечного сечения.
22. Теплоотдача при поперечном обтекании труб и пучков труб. Режимы течения.
23. Средний температурный напор.
24. Анализ решения задачи нестационарной теплопроводности пластины в предельных случаях малых и больших чисел Био и Фурье. Регулярный режим.
25. Дифференциальное уравнение энергии.
26. Дифференциальное уравнение движения (Навье-Стокса).

27. Формулировка краевых задач теплопроводности: начальные условия, граничные условия четырех родов.

28. Явление отрыва пограничного слоя. Влияние гидродинамики потока на локальную и среднюю теплоотдачу.

29. Теплоотдача при течении газов с большой скоростью.

30. Жидкометаллический теплоносители, теплоотдача.

31. Теплоотдача в разреженных газах.

32. Пленочная и капельная конденсация. Термические сопротивления при конденсации. Условия взаимодействия на границе раздела фаз.

33. Влияние скорости пара при конденсации. Конденсация на горизонтальных трубах и пучках труб.

34. Теплообмен при конденсации практически неподвижного пара в условиях ламинарного и турбулентного режимов течения пленки конденсата.

35. Кипение в большом объеме. Пузырьковый и пленочный режимы. Условия возникновения паровой фазы, критический радиус пузырька. Число центров парообразования.

36. Механизм теплоотдачи и расчетные соотношения при пузырьковом режиме кипения. Расчет критической плотности теплового потока.

37. Структура двухфазного потока и теплообмена при кипении внутри труб. Кризис кипения.

38. Теплообмен при сублимации вещества.

39. Тепломассообмен при конденсации смеси паров и пара из парогазовой смеси. Зависимость интенсивности теплообмена от содержания неконденсирующегося компонента.

40. Аналогия между процессами переноса массы и теплоты. Величины - аналоги. Методика приближенного определения коэффициента массоотдачи на основе аналогии.

41. Дифференциальные уравнения конвективного массообмена в двухкомпонентных средах. Краевые условия. Коэффициент массоотдачи.

42. Характеристики двухкомпонентных сред. Потoki массы компонентов смеси. Концентрационная диффузия. Закон Фика. Перенос теплоты в двухкомпонентных средах.

43. Применение законов излучения к серым телам.

44. Расчет лучистого теплообмена между излучающей средой и поверхностью твердого тела.

45. Особенности теплообмена излучением в поглощающей среде (газах и парах).

46. Теплообмен излучением в замкнутой системе серых тел. Частные случаи: тела с плоскопараллельными поверхностями и экранами между ними; тела, одно из которых находится в полости другого.

47. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой.

48. Поглощательная, отражательная и пропускательная способности тел. Абсолютно черное тело. Законы излучения черного тела. Серые тела.

49. Основные понятия и законы теплового излучения.

50. Типы теплообменных устройств. Основные уравнения теплового расчета теплообменных аппаратов.

### 7.2.6 Методика выставления оценки при проведении итоговой аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов, 10 стандартных задач и 10 прикладных задач. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 30.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 16 баллов.
2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 16 до 20 баллов.
3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 21 до 25 баллов.
4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 26 до 30 баллов.

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Введение. Теплопроводность	ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПКВ-3, ПКВ-4	Тест, зачет, устный опрос
2	Конвективный теплообмен	ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПКВ-3, ПКВ-4	Тест, зачет, устный опрос
3	Отдельные задачи конвективного теплообмена	ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПКВ-3, ПКВ-4	Тест, зачет, устный опрос
4	Теплообмен излучением	ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПКВ-3, ПКВ-4	Тест, зачет, устный опрос
5	Теплообмен при фазовых превращениях	ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПКВ-3, ПКВ-4	Тест, зачет, устный опрос
6	Процессы тепло- и массообмена. Расчет теплопередачи в энергетических установках.	ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПКВ-3, ПКВ-4	Тест, зачет, устный опрос

### 7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзамена-

тором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Дахин С.В. Тепло- и массообмен: курс лекций: учеб. пособие / С.В. Дахин. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2008. 233 с.

2. Дахин С.В. Теплообмен: Задачник: учеб. пособие / С. В. Дахин. Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2008. 166 с.

3. Дахин С.В. Расчет рекуперативных теплообменных аппаратов непрерывного действия: учеб. пособие / С. В. Дахин. Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2008. 110 с.

4. Осипова В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена: учеб. пособие / Осипова Варвара Александровна. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергия, 1979. - 320с. : ил.

5. Теплопроводность. Теоретические основы с примерами и задачами [Электронный ресурс] : учеб. пособие / С. В. Дахин, А. Ю. Трошин. - Воронеж: ВГТУ, 2004.

6. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Тепло-массообмен» для студентов специальности 070200 «Техника и физика низких температур» дневной формы обучения [Текст]/ Каф. теоретической и промышленной теплоэнергетики; Сост.: А.Ю. Трошин, С.В. Дахин. - Воронеж: ВГТУ, 2003. – 26 с.

### **8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информаци-**

**онно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем**

Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

Специализированная лаборатория тепломассообмена – ауд. № 303/3;

Стенды для лабораторных работ:

- стенд для определения коэффициента теплопроводности изоляционных материалов методом цилиндрического слоя;
- стенд для определения коэффициента теплопроводности металлов методом стержня;
- стенд для исследования теплоотдачи от горизонтального цилиндра при свободной конвекции;
- стенд для исследования теплоотдачи при течении жидкости в трубе;
- стенд для исследования охлаждения шара;
- стенд для исследования гидродинамического и теплового слоя при течении однородной среды;
- стенд для исследования теплоотдачи при вынужденном продольном омывании плоской поверхности;
- стенд для изучения механизма процесса теплообмена при пузырьковом кипении жидкости.

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Тепломассообмен» читаются лекции, проводятся практические занятия, лабораторные занятия, выполняется курсовая работа.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета энергетических машин и установок, подбора основного и вспомогательного оборудования. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию о всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Методика выполнения контрольных работ изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять контрольные работы должны своевременно и в установленные сроки.

Освоение дисциплины оценивается на зачете и экзамене.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практические занятия	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Подготовка к зачету и экзамену	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и решение задач на практических занятиях.

**АННОТАЦИЯ**  
к рабочей программе дисциплины  
**«Тепломассообмен»**

**Направление подготовки** (специальность) 14.03.01 – Ядерная энергетика и теплофизика

**Профиль** (специализация) Техника и физика низких температур

**Квалификация выпускника** Бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года

**Форма обучения** Очная

**Год начала подготовки** 2016 г.

**Цель изучения дисциплины:**

Целью дисциплины служит подготовка студентов к усвоению вопросов тепломассообмена в спецкурсах и к использованию полученных знаний и навыков в профессиональной деятельности и на стадии дипломного проектирования.

**Задачи изучения дисциплины:**

Задачами изучения дисциплины являются изучение закономерностей основных процессов переноса теплоты и массы, в частности процессов тепломассообмена, протекающих совместно, усвоением основных результатов теоретических и экспериментальных исследований и ознакомление с путями решения современных проблем тепломассообмена, приобретение умений, и навыков в проведении тепловых расчетов и решении практических задач, связанных с тепломассообменом в элементах энергетических установок.

**Перечень формируемых компетенций:**

ПК-2 – готовность к участию в проведении физического и численного эксперимента, к подготовке соответствующих экспериментальных стендов.

ПК-3 – готовность к участию в исследовании и испытании основного оборудования атомных электростанций в процессе разработки и создания.

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.

ПКВ-3 – готовность выполнять расчетно-экспериментальные работы и решать научно-технические задачи в области низкотемпературной техники и систем жизнеобеспечения на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, теплофизических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и аппаратам.

ПКВ-4 – способность участвовать в разработке теплофизических, математических и компьютерных моделей, предназначенных для выполнения исследований и решения научно-технических задач.

**Общая трудоемкость дисциплины ЗЕТ: 7 з.е.**

**Форма итогового контроля по дисциплине:** зачет и экзамен  
(зачет, зачет с оценкой, экзамен)