

**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ**



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**СОГЛАСОВАНО**

**УТВЕРЖДАЮ**

\_\_\_\_\_  
Руководитель ОПОП ВО  
профессор Н.К. Кондрашева

\_\_\_\_\_  
Проректор по образовательной  
деятельности, доцент  
Д.Г. Петраков

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ТЕПЛОПЕРЕНОС В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ**

<b>Уровень высшего образования:</b>	Магистратура
<b>Направление подготовки:</b>	18.04.01 Химическая технология
<b>Направленность (профиль):</b>	Химическая технология органических веществ
<b>Квалификация выпускника</b>	магистр
<b>Форма обучения:</b>	очная
<b>Составитель:</b>	доцент О.В. Зырянова

Санкт-Петербург

**Рабочая программа дисциплины «Теплоперенос в гетерогенных системах» разработана:**

– в соответствии с требованиями ФГОС ВО магистратура по направлению подготовки 18.04.01 «Химическая технология», утверждённого приказом Минобрнауки России № 910 от 07 августа 2020 г.;

– на основании учебного плана магистратуры по направлению подготовки 18.04.01 «Химическая технология» направленность (профиль) «Химическая технология органических веществ».

Составитель: \_\_\_\_\_ доцент каф. ХТПЭ Зырянова О.В.

**Рабочая программа рассмотрена и одобрена** на заседании кафедры химических технологий и переработки энергоносителей 15 февраля 2022 г. протокол № 16.

Заведующий кафедрой ХТПЭ \_\_\_\_\_ Н.К. Кондрашева

**Рабочая программа согласована:**

Начальник управления учебно-методического обеспечения образовательного процесса \_\_\_\_\_ к.т.н. Иванова П.В.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины «Теплоперенос в гетерогенных системах» является освоение обучающимися основных закономерностей теплообменных процессов, происходящих в системах, состоящих из нескольких различных фаз, умение осуществлять проектирование аппаратов для проведения этих процессов.

Задачами дисциплины являются:

- изучение закономерностей теплообмена в гетерогенных системах;
- изучение методов расчета тепловых процессов в гетерогенных системах;
- приобретение навыков расчета аппаратов, применяемых для проведения процессов теплообмена в гетерогенных системах; навыков практического применения знаний об устройстве и принципе действия теплообменной аппаратуры; способностей для разработки новых технических решений и анализа различных вариантов технологических процессов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Теплоперенос в гетерогенных системах» относится к обязательной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки 18.04.01 «Химическая технология» и изучается в 3-м семестре.

Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется дисциплина «Теплоперенос в гетерогенных системах» являются «Механика дисперсных сред», «Дополнительные главы процессов и аппаратов».

Дисциплина «Теплоперенос в гетерогенных системах» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Производственная практика - технологическая (проектно-технологическая) практика», «Производственная практика - преддипломная практика - Преддипломная практика», написания ВКР.

Особенностью дисциплины является изучение общих закономерностей, механизмов и законов переноса тепла в гетерогенных системах.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Процесс изучения дисциплины «Теплоперенос в гетерогенных системах» направлен на формирование следующих компетенций:

Формируемые компетенции по ФГОС ВО		Основные показатели освоения программы дисциплины
Содержание компетенции	Код компетенции	
Способен использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты	ОПК-2	ОПК-2.1. Знает содержание смежных и сопутствующих дисциплин; современные методики моделирования, информационно-компьютерные средства, современные приборы; ОПК-2.2. Умеет применять знания смежных и сопутствующих дисциплин; организовывать проведение экспериментов и испытаний, анализировать и обрабатывать результаты экспериментов; выбирать необходимые методы исследования, модифицировать существующие и разрабатывать новые методы, исходя из задач конкретного исследования; ОПК-2.3. Владеет навыками работы с современными

Формируемые компетенции по ФГОС ВО		Основные показатели освоения программы дисциплины
Содержание компетенции	Код компетенции	
		приборами, информационно-компьютерными средствами и программным обеспечением при разработке математических моделей; методами оформления итогов проделанной работы в виде отчетов, рефератов и магистерской диссертации.
Способен разрабатывать нормы выработки на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии, контролировать параметры технологического процесса, выбирать оборудование и технологическую оснастку	ОПК-3	ОПК -3.1. Знает методы и нормативные документы для разработки технической документации; основные методики технологических расчетов; принцип действия и устройство основных машин и аппаратов химической технологии; ОПК -3.2. Умеет разрабатывать схему мероприятий по комплексному использованию природного сырья; изыскать способы утилизации отходов производства; обосновывать принятие конкретного аппаратурного и технического решения при разработке технологических процессов; рассчитать и оценить основные технико-экономические показатели технологического процесса; применять методики технологических и технических расчетов по проектам; проводить технико-экономический и функционально-стоимостный анализ эффективности проекта; выбирать оптимальные технологические режимы и наиболее рациональные типы аппаратов; ОПК -3.3. Владеет навыками опытом разработки и составления отдельных научно-технических, проектных и служебных документов; методиками технологических расчетов с применением современного программного обеспечения; методами для разработки технической документации по разработанным проектам и программам.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость учебной дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 ак. часа.

Вид учебной работы	Всего ак. часов	Ак. часы по семестрам
		III
<b>Аудиторные занятия, в том числе:</b>	<b>44</b>	<b>44</b>
Лекции	11	11
Практические занятия (ПЗ)	22	22
Лабораторные работы (ЛР)	11	11
<b>Самостоятельная работа студентов (СРС), в том числе</b>	<b>28</b>	<b>28</b>
Подготовка к практическим занятиям	6	6
Реферат	12	12

Вид учебной работы	Всего ак. часов	Ак. часы по семестрам
		III
Подготовка к зачету	10	10
<b>Промежуточная аттестация – зачет (3)</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>		
<b>ак. час.</b>	<b>72</b>	<b>72</b>
<b>зач. ед.</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

#### 4.2. Содержание дисциплины

Учебным планом предусмотрены: лекции, практические занятия, лабораторные работы и самостоятельная работа.

##### 4.2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Наименование разделов	Виды занятий				
	Всего ак. часов	Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа студента
Раздел 1 «Основные положения теории теплообмена в гетерогенных системах»	15	4	4	-	7
Раздел 2 «Теплоотдача при изменении агрегатного состояния»	17	2	8	-	7
Раздел 3 «Конвективный теплообмен в газожидкостных системах»	23	2	8	6	7
Раздел 4 «Теплоотдача в дисперсных системах с твердой фазой»	17	3	2	5	7
<b>Итого:</b>	<b>72</b>	<b>11</b>	<b>22</b>	<b>11</b>	<b>28</b>

##### 4.2.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
1	Основные положения теории теплообмена в гетерогенных системах	Основные понятия конвективного теплообмена. Дифференциальные уравнения конвективного переноса теплоты. Механизм процесса теплоотдачи. Тепловой пограничный слой. Уравнение теплоотдачи. Двухфазный теплоперенос между одиночными частицами и несущей средой. Теплоотдача при плёночном течении. Определение коэффициентов теплоотдачи при наличии фазового перехода.	4
2	Теплоотдача при изменении агрегатного состояния	Теплоотдача при конденсации насыщенных паров. Виды конденсации. Конденсация паров по плёночному механизму. Уравнения, описывающие процесс теплоотдачи при конденсации. Теплообмен при парообразовании. Механизм процесса теплоотдачи при пузырьковом и плёночном	2

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий	Трудоемкость в ак. часах
		кипении. Особенности процесса теплообмена при пузырьковом кипении. Условия зарождения парового пузыря на теплоотдающей поверхности. Уравнения, описывающие процесс теплообмена при пузырьковом кипении. Кризис кипения. Зависимости для расчета плотности критического теплового	
3	Конвективный теплообмен в газожидкостных системах	Особенности конвективного теплообмена в двухфазных потоках Теплообмен в дисперсных потоках жидкость-газ. Теплоотдача при стекании пленки жидкости. Теплообмен в насадочных аппаратах и скрубберах. Теплообмен при испарении жидкости в парогазовую среду Теплоотдача при непосредственном контакте теплоносителей. Смесительные теплообменники.	2
4	Теплоотдача в дисперсных системах с твердой фазой	Теплообмен в дисперсных потоках газ - твердые частицы. Регенеративные теплообменники. Теплообмен в неподвижном или движущемся зернистом слое. Теплообмен между твердой поверхностью и псевдооживленным слоем частиц. Теплоотдача при перемешивании.	3
<b>Итого:</b>			<b>11</b>

#### 4.2.3. Практические занятия

№ п/п	Разделы	Тематика практических занятий	Трудоёмкость в ак. часах
1	Раздел 1	Определение коэффициентов теплоотдачи при наличии фазового перехода	4
2	Раздел 2	Расчет теплоотдачи при конденсации Расчет теплоотдачи при кипении	8
3	Раздел 3	Теплоотдача при непосредственном контакте теплоносителей	8
4	Раздел 4	Теплообмен между кипящим слоем и теплообменной поверхностью	2
<b>Итого:</b>			<b>22</b>

#### 4.2.4. Лабораторные работы

№ п/п	Раздел	Тематика лабораторных работ	Трудоемкость в ак. часах
1.	Раздел 3	Изучение процесса передачи тепла от газов к твердому обрабатываемому материалу.	6
2.	Раздел 4	Изучение процесса теплоотдачи в аппаратах с механическими мешалками.	5
<b>Итого:</b>			<b>11</b>

#### 4.2.5. Курсовые работы (проекты)

Курсовые работы (проекты) не предусмотрены

### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе обучения применяются:

**Лекции**, которые являются одним из важнейших видов учебных занятий и составляют основу теоретической подготовки обучающихся. Цели лекционных занятий:

-дать систематизированные научные знания по дисциплине, акцентировать внимание на наиболее сложных вопросах дисциплины;

-стимулировать активную познавательную деятельность обучающихся, способствовать формированию их творческого мышления.

**Практические занятия.** Цели практических занятий:

-совершенствовать умения и навыки решения практических задач.

Главным содержанием этого вида учебных занятий является работа каждого обучающегося по овладению практическими умениями и навыками профессиональной деятельности.

**Консультации** (текущая консультация, накануне зачета) является одной из форм руководства учебной работой обучающихся и оказания им помощи в самостоятельном изучении материала дисциплины, в ликвидации имеющихся пробелов в знаниях, задолженностей по текущим занятиям, в подготовке письменных работ (проектов).

Текущие консультации проводятся преподавателем, ведущим занятия в учебной группе, научным руководителем и носят как индивидуальный, так и групповой характер.

**Самостоятельная работа обучающихся** направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях и других занятиях, выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

### 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 6.1. Оценочные средства для самостоятельной работы и текущего контроля успеваемости

##### Раздел 1. Основные положения теории теплообмена в гетерогенных системах

1. Каков физический смысл коэффициента теплопроводности?
2. Охарактеризуйте распределение температур по толщинам плоской и цилиндрической стенок.
3. Укажите размерность коэффициента теплопроводности.
4. Сделайте вывод дифференциального уравнения теплопроводности.
5. Что называют теплоотдачей?
6. В каких единицах измеряется коэффициент теплоотдачи?
7. Объясните механизм конвективного теплообмена.
8. Раскройте физический смысл критериев теплового подобия.
9. Какой критерий теплового подобия является определяемым?
10. Напишите обобщенное критериальное уравнение для теплоотдачи.
11. От каких факторов зависит величина коэффициента теплоотдачи?
12. Напишите основное уравнение теплопередачи.
13. Какую размерность имеет плотность теплового потока?
14. Укажите особенности теплообмена в гетерогенных системах.
15. Какими методами можно интенсифицировать процесс теплоотдачи в гетерогенных системах?

##### Раздел 2. Теплоотдача при изменении агрегатного состояния

1. Какие виды теплоотдачи протекают при изменении агрегатного состояния?
2. В чем особенность процессов теплоотдачи при изменении агрегатного состояния?
3. Приведите общую формулу критериальных соотношений для расчета

коэффициентов теплоотдачи при конденсации.

4. Каким образом происходит процесс конденсации пара на поверхности?
5. Какие условия необходимы для процесса конденсации?
6. Назовите виды конденсации на поверхности стенки.
7. Укажите особенности теплоотдачи при конденсации насыщенных паров.
8. Как расположение труб влияет на значение коэффициента теплоотдачи?
9. Какова критериальная зависимость для коэффициента теплоотдачи при конденсации?
10. Какие численные значения имеют коэффициенты теплоотдачи при конденсации?
11. В каких процессах химической технологии встречается теплоотдача при кипении.
12. Назовите условия для возникновения кипения.
13. Охарактеризуйте различные виды кипения.
14. Что понимают под критической разностью температур при кипении?
15. Опишите механизм кризиса кипения.

### **Раздел 3. Конвективный теплообмен в газожидкостных системах**

1. Укажите особенности теплоотдачи при непосредственном соприкосновении теплоносителей.
2. Какие теплообменники называются смесительными теплообменниками?
3. Приведите классификацию смесительных теплообменников.
4. Опишите устройство градирни для охлаждения воды.
5. Как определяют расход воды в градирнях?
6. Укажите достоинства охлаждения теплоносителей водой и воздухом.
7. От каких факторов зависит теплоотдача при движении теплоносителя по вертикальной поверхности в виде пленки?
8. Что является определяющим геометрическим размером в критерии Нуссельта при стекании пленки жидкости по вертикальной поверхности?
9. Что представляет собой линейная плотность орошения?
10. Какая температура является определяющей при стекании пленки жидкости?
11. Напишите критериальное уравнение для теплоотдачи при стекании пленки.
12. Опишите устройство барометрических конденсаторов смешения.
13. Напишите уравнение теплового баланса барометрического конденсатора.
14. Укажите основные факторы, влияющие на интенсивность теплопереноса в дисперсных потоках жидкость-газ.
15. В каких случаях целесообразно нагревание с погружными горелками?

### **Раздел 4. Теплоотдача в дисперсных системах с твердой фазой**

1. Укажите способы регенерации теплоты с помощью твердых материалов.
2. Опишите принцип действия регенеративных теплообменников?
3. Укажите достоинства и недостатки нагрева топочными газами.
4. Назовите способы теплопереноса в псевдооживленном слое.
5. Охарактеризуйте основные факторы, влияющие на теплоперенос в псевдооживленных средах.
6. Как зависит коэффициент теплоотдачи от диаметра частиц в псевдооживленном слое?
7. Охарактеризуйте взаимосвязь скорости газа и порозности с теплообменом.
8. Чем обусловлен максимум зависимости коэффициента теплоотдачи от скорости движения газа при псевдооживлении.
9. Назовите методы интенсификации процессов теплопереноса в псевдооживленных средах.
10. Опишите теплоотдачу в аппаратах с мешалками.
11. От каких факторов зависит теплоперенос при перемешивании?
12. Какие критерии входят в корреляционное соотношение для коэффициента теплоотдачи при перемешивании?



13. Что является определяющим размером в критерии Нуссельта при перемешивании?
14. Укажите способы оформления теплообменной поверхности в аппаратах с мешалками.
15. Какими методами можно интенсифицировать процесс теплоотдачи при перемешивании?

## 6.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации (зачета)

### 6.2.1. Примерный перечень вопросов/заданий к зачету:

1. Приведите примеры двухкомпонентных сред.
2. Что такое диффузия?
3. Чем отличаются молярная и молекулярная диффузии?
4. Дайте определение потока массы и плотности потока массы.
5. Концентрационная диффузия. Закон Фика. Коэффициент диффузии.
6. Дайте определение термической диффузии и бародиффузии.
7. Перечислите и напишите дифференциальные уравнения тепло- и массообмена.
8. Дайте объяснение тройной аналогии.
9. Что является особенностью процессов теплообмена в двухфазных потоках?
10. Какие фазы обычно различают в двухфазном потоке?
11. Как определяется средняя относительная объемная концентрация дисперсной фазы?
12. Что такое объемная доля дисперсионной (внешней) среды?
13. Какую величину называют порозностью потока?
14. Охарактеризуйте теплообмен в насадочных аппаратах и скрубберах.
15. Теплообмен в дисперсных потоках жидкость-газ.
16. Теплообмен в дисперсных потоках газ-твердые частицы.
17. Теплообмен в неподвижном или движущемся зернистом слое.
18. Теплообмен во взвешенном слое частиц.
18. Теплообмен между твердой поверхностью и псевдооживленным слоем частиц
20. Перечислите и охарактеризуйте типы мешалок для перемешивания ньютоновских жидкостей.
21. Как определяют коэффициент теплоотдачи в аппаратах с наружными рубашками?
22. В каких аппаратах наибольшая интенсивность теплоотдачи?
23. Какие мешалки применяют для перемешивания очень вязких жидкостей?
24. Какими формулами описывается интенсивность теплообмена между частицами и обтекающим потоком жидкости (газа) в случае малых размеров твердых частиц и высокой их теплопроводности?
25. Какими формулами пользуются для определения коэффициента теплоотдачи от потока газозвеси к поверхности теплообмена?

### 6.2.2. Примерные тестовые задания к зачету

#### Вариант № 1

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
1.	Какие виды теплообмена имеют место при теплопередаче тепла через металлическую стенку от потока горячего воздуха к потоку воды?	1. Теплопроводность и конвекция. 2. Конвекция. 3. Теплопроводность. 4. Излучение и конвекция.
2.	В каких средах возможен конвективный теплообмен?	1. В огнеупорных материалах. 2. В металлах при температурах ниже точки плавления. 3. В жидких и газообразных средах

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
		4. Только в газообразной среде.
3.	Плотность теплового потока через плоскую стенку толщиной 50 мм составляет 70 Вт/м <sup>2</sup> . Определить разность температур на поверхностях стенки, если она выполнена из красного кирпича с коэффициентом теплопроводности 0,7 Вт/(м·град).	1. 0,05 °С; 2. 5 °С; 3. 35 °С; 4. 50 °С;
4.	Плотность теплового потока через плоскую стенку толщиной 50 мм составляет 70 Вт/м <sup>2</sup> . Определить градиент температуры в стенке, если она выполнена из латуни с коэффициентом теплопроводности 70 Вт/(м·град).	1. $grad t = -1^{\circ}C/м$ ; 2. $grad t = -10^{\circ}C/м$ ; 3. $grad t = 1^{\circ}C/м$ ; 4. $grad t = 10^{\circ}C/м$ ;
5.	Какие единицы измерения используются для измерения тепловой мощности?	1. Дж. 2. Вт. 3. Вт/м <sup>2</sup> . 4. Дж/м <sup>2</sup> .
6.	Как правильно записать формулу Фурье для передачи тепла теплопроводностью при стационарном режиме?	1. $q = -\lambda grad t$ ; 2. $q = \lambda(\partial t / \partial \tau)$ ; 3. $q = \pm \lambda(\partial t / \partial x)$ ; 4. $q = \lambda(\partial Q / \partial n)$ ;
7.	При использовании какого материала величина плотности потока будет максимальной при неизменной толщине однослойной стенки?	1. Силикатный кирпич. 2. Углеродистая сталь. 3. Стекло. 4. Медь.
8.	Какому веществу соответствует коэффициент теплопроводности, равный 74,4 Вт/м·К	1. Строительный кирпич. 2. Огнеупорный кирпич. 3. Асбест. 4. Железо.
9.	Какая величина представляет собой тепловое сопротивление многослойной плоской стенки из $n$ слоёв?	1. $\sum_{i=1}^n 1/\lambda_i$ ; 2. $\sum_{i=1}^n (\lambda_i / \delta_i)$ ; 3. $1/\sum_{i=1}^n (\lambda_i \cdot \delta_i)$ ; 4. $\sum_{i=1}^n (\delta_i / \lambda_i)$ ;
10.	Как правильно записать формулу Фурье для передачи тепла теплопроводностью при нестационарном режиме?	1. $q = -\lambda grad t$ ; 2. $q = \lambda(\partial t / \partial \tau)$ ; 3. $q = \pm \lambda(\partial t / \partial x)$ ; 4. нет правильного ответа;
11.	Что понимается под начальными условиями при решении дифференциального уравнения	1. условия подвода теплоты к телу в начальный момент его нагрева (охлаждения);

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
	теплопроводности?	2.распределение температуры в теле к началу его нагрева (охлаждения); 3.закон изменения температуры на поверхности или в центре тела в начальный период его нагрева (охлаждения); 4.теплофизические характеристики тела (плотность, удельная теплоёмкость, коэффициент теплопроводности) в начальный момент его нагрева (охлаждения);
12.	Какие параметры входят в число Био?	1. $\alpha, \lambda, \mu$ . 2. $\alpha, \lambda, \mu, \rho$ . 3. $a, \tau, l$ . 4. $\alpha, \lambda, l$ .
13.	Какие параметры входят в состав числа Фурье?	1. $a, \lambda, \mu$ . 2. $a, \lambda, \mu, \rho$ . 3. $a, \tau, l$ . 4. $a, \lambda, l$ .
14.	Как изменяется величина безразмерной температуры $\theta = (t - t_{ж})/(t_{ст} - t_{ж})$ в режиме охлаждения твердого тела?	1. Возрастает от нуля до единицы. 2. Остается неизменной. 3. Убывает от единицы до нуля. 4. Принимает отрицательные значения.
15.	Потенциалом тепловой энергии является	1. плотность. 2. теплоемкость. 3. удельный тепловой поток. 4. температура.
16.	Что такое для цилиндрической стенки линейная плотность теплового потока?	1. Количество теплоты, передаваемое через один погонный метр любой цилиндрической поверхности стенки в единицу времени; 2. Количество теплоты, передаваемое через один квадратный метр наружной поверхности стенки; 3. Количество теплоты, передаваемое через один квадратный метр наружной поверхности стенки в единицу времени; 4. Количество теплоты, передаваемое через поверхность среднего диаметра стенки в единицу времени.
17.	Как изменяется величина безразмерной температуры $\theta = (t - t_{ж})/(t_{ст} - t_{ж})$ в режиме охлаждения твердого тела?	1. Возрастает от нуля до единицы. 2. Остается неизменной. 3. Убывает от единицы до нуля. 4. Принимает отрицательные значения.
18.	Сколько решений имеет дифференциальное уравнение теплопроводности?	1. одно; 2. два; 3. три; 4. множество;

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
19.	Какую размерность имеет линейная плотность теплового потока?	1. Вт/м <sup>2</sup> . 2. Вт/м. 3. Вт. 4. Вт/м·К.
20.	Какую размерность имеет коэффициент теплопроводности?	

Вариант № 2

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
1.	Могут ли изотермические поверхности пересекаться?	1. Могут в любых случаях. 2. Нет, не могут. 3. Могут, только в твердых телах. 4. Могут, только в жидкостях.
2.	На каком физическом явлении основан процесс передачи тепла теплопроводностью?	1. За счет распространения электромагнитных волн. 2. За счет движения ионов от более холодной к более нагретой части тела. 3. За счет повышения интенсивности броуновского движения молекул. 4. За счет переноса энергии от более нагретых частей тела к менее нагретым посредством распространения упругих волн, а также движения электронов.
3.	Какие величины необходимо знать, чтобы определить величину теплового потока в Дж на поверхности тела в условиях стационарной теплопроводности?	1. $\Delta t, \Delta x$ . 2. $\lambda, \Delta t, \Delta x, F$ и $\tau$ . 3. $\lambda, \Delta t, \Delta x, F$ . 4. $Q, \tau$ .
4.	Какие величины необходимо знать, чтобы определить величину теплового потока в Вт на поверхности тела в условиях стационарной теплопроводности?	1. $\Delta t, \Delta x$ . 2. $\lambda, \Delta t, \Delta x, F$ и $\tau$ . 3. $\lambda, \Delta t, \Delta x, F$ . 4. $Q, \tau$ .
5.	Какие величины необходимо знать, чтобы определить величину плотности теплового потока в Вт/м <sup>2</sup> на поверхности тела в условиях стационарной теплопроводности?	1. $\Delta t, \Delta x$ . 2. $\lambda, \Delta t, \Delta x, F$ и $\tau$ . 3. $\lambda, \Delta t, \Delta x, F$ . 4. $\lambda, \Delta t, \Delta x$ .
6.	Что выражает собой величина $C$ в выводе формулы теплопроводности для плоской стенки $t = -\frac{q}{\lambda}x + C$ ?	1. Тепловое сопротивление стенки; 2. Константу интегрирования при граничных условиях; 3. Константу интегрирования при начальных условиях; 4. Среднюю температуру по толщине стенки.
7.	Что такое для цилиндрической	1. Количество теплоты, передаваемое

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
	стенки линейная плотность теплового потока?	<p>через один погонный метр любой цилиндрической поверхности стенки в единицу времени;</p> <p>2. Количество теплоты, передаваемое через один квадратный метр наружной поверхности стенки;</p> <p>3. Количество теплоты, передаваемое через один квадратный метр наружной поверхности стенки в единицу времени;</p> <p>4. Количество теплоты, передаваемое через поверхность среднего диаметра стенки в единицу времени.</p>
8.	Какую размерность имеет коэффициент температуропроводности?	<p>1. <math>\text{м}^2/\text{с}</math>;</p> <p>2. <math>\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})</math>;</p> <p>3. <math>\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})</math>;</p> <p>4. <math>\text{с}/\text{м}^2</math>.</p>
9.	Какую размерность имеет коэффициент теплопроводности?	<p>1. <math>\text{м}^2/\text{с}</math>;</p> <p>2. <math>\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})</math>;</p> <p>3. <math>\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})</math>;</p> <p>4. <math>\text{с}/\text{м}^2</math>.</p>
10.	Сколько решений имеет дифференциальное уравнение теплопроводности?	<p>1. одно;</p> <p>2. два;</p> <p>3. три;</p> <p>4. множество;</p>
11.	Как изменяется величина безразмерной температуры $\theta = (t - t_{\text{ж}})/(t_{\text{ст}} - t_{\text{ж}})$ в режиме охлаждения твердого тела?	<p>1. Возрастает от нуля до единицы.</p> <p>2. Остается неизменной.</p> <p>3. Убывает от единицы до нуля.</p> <p>4. Принимает отрицательные значения.</p>
12.	Потенциалом тепловой энергии является	<p>1. плотность.</p> <p>2. теплоемкость.</p> <p>3. удельный тепловой поток.</p> <p>4. температура.</p>
13.	Уравнение $t = f(x, \tau)$ отвечает	<p>1. общему случаю температурного поля;</p> <p>2. стационарной теплопроводности;</p> <p>3. нестационарному одномерному температурному полю;</p> <p>4. стационарному одномерному температурному полю.</p>
14.	Уравнение $t = f(x, y, z, \tau)$ отвечает	<p>1. общему случаю температурного поля;</p> <p>2. стационарной теплопроводности;</p> <p>3. нестационарному одномерному температурному полю;</p> <p>4. стационарному одномерному температурному полю.</p>
15.	Коэффициент температуропроводности характеризует	<p>1. способность тела проводить тепло;</p> <p>2. способность тела накапливать тепло;</p> <p>3. отношение способностей тела проводить тепло и аккумулировать его;</p> <p>4. отношение способностей тела</p>

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
		отражать тепло и аккумулировать его.
16.	Какой критерий характеризует интенсивность теплообмена между телом и окружающей средой?	1. Bi. 2. Nu. 3. Gr. 4. Pr.
17.	Какой критерий характеризует нестационарность процесса переноса тепла?	1. Bi. 2. Nu. 3. Pr. 4. Pr.
18.	Перенос тепла за счет разности плотностей нагретого и холодного воздуха - это	1. вынужденная конвекция; 2. естественная конвекция; 3. излучение; 4. теплопередача.
19.	Для каких режимов течения потока применима расчетная формула $Nu_{ж} = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,43} (Pr_{ж}/(Pr_{с}))^{0,25}$ ?	1. Только для ламинарного режима течения. 2. Только для промежуточного режима течения. 3. Для любых режимов движения потоков. 4. Только для турбулентного режима течения.
20.	Полное подобие процессов достигается при условии	1. Геометрического и временного подобия. 2. Подобия физических величин и полей концентраций, а также начальных и граничных условий. 3. Геометрического подобия и подобия физических величин 4. Геометрического и временного подобия, а также подобия физических величин.

### Вариант № 3

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
1.	Что такое градиент температуры?	1. Изменение температуры на единице длины произвольного отрезка; 2. Бесконечно малое изменение температуры на бесконечно малом отрезке нормали к изотермической поверхности; 3. Частная производная от температуры по времени; 4. Бесконечно малое изменение температуры на бесконечно малом отрезке вдоль некоторой координатной

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
		оси.
2.	Определите величину перепада температур при стационарном режиме теплообмена через плоскую стенку, если плотность потока через стенку равна $q = 2000 \text{ Вт/м}^2$ , а термическое сопротивление $\delta/\lambda = 0,02 \text{ К}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$ .	1. 40 К. 2. 400 К. 3. 100 К. 4. 80 К.
3.	Какую размерность имеет линейная плотность теплового потока?	1. $\text{Вт/м}^2$ . 2. $\text{Вт/м}$ . 3. $\text{Вт}$ . 4. $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$ .
4.	Как изменяется величина плотности теплового потока $q$ по толщине плоских многослойных стенок при отсутствии в них тепловыделений и теплопоглощений и в условиях стационарного режима?	1. Значение $q$ изменяется по линейному закону 2. Значение $q$ увеличивается. 3. Значение $q$ одинаково. 4. Значение $q$ уменьшается.
5.	Как правильно записать формулу Фурье для передачи тепла теплопроводностью при стационарном режиме?	1. $q = -\lambda \text{grad}t$ ; 2. $q = \lambda(\partial t / \partial \tau)$ ; 3. $q = \pm \lambda(\partial t / \partial x)$ ; 4. $q = \lambda(\partial Q / \partial n)$ ;
6.	Какой критерий подобия является теплофизической характеристикой теплоносителя?	1. Pr; 2. Gr; 3. Nu; 4. Re;
7.	Какой критерий характеризует интенсивность теплообмена между телом и окружающей средой?	1. Bi. 2. Nu. 3. Gr. 4. Pr.
8.	Какой критерий характеризует отношение внутреннего теплового сопротивления тела к внешнему?	1. Bi. 2. Nu. 3. Gr. 4. Pr.
9.	Критерий Фурье характеризует:	1.интенсивность теплообмена между телом и окружающей средой; 2. нестационарность процесса; 3.гидродинамическое подобие; 4. тепловое подобие.
10.	Критерию Фурье отвечает формула:	1. $Fo = \beta g \frac{v^3}{l^2} \Delta t$ ; 2. $Fo = \frac{l^2}{a\tau}$ ;

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
		3. $ Fo = \frac{a\tau}{l^2} ; $ 4. $ Fo = \frac{\lambda l}{\alpha} ; $
11.	На каком физическом явлении основан процесс передачи тепла вынужденной конвекцией?	1. За счет перемещения объемов вещества в пространстве, имеющих одинаковую температуру 2. За счет движения электронов 3. За счет молекулярной диффузии 4. За счет перемещения объемов вещества в пространстве, имеющих разную температуру
12.	Для каких режимов течения потока применима расчетная формула $ Nu_{ж} = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,43} (Pr_{ж}/Pr_{с})^{0,25} ? $	1. Только для ламинарного режима течения. 2. Только для промежуточного режима течения. 3. Для любых режимов движения потоков. 4. Только для турбулентного режима течения.
13.	Критерий Нуссельта выражает собой соотношение между	1. определяющим линейным размером тела и его теплопроводностью; 2. интенсивностью конвективного теплообмена между телом и средой и теплопроводностью жидкости на границе тела; 3. интенсивностью конвективного теплообмена между телом и средой и теплопроводностью тела; 4. плотностью конвективного теплового потока и тепловым сопротивлением тела;
14.	Поправочный множитель $ (Pr_{ж}/Pr_{ст})^m $ в правой части критериального уравнения равен единице в случае	1. движения газов; 2. когда температура жидкости больше температуры стенки; 3. движения капельных жидкостей; 4. всех видов естественной конвекции;
15.	Критерий Прандтля практически не зависит от температуры	1. у несжимаемых жидкостей; 2. у сжимаемых жидкостей; 3. у идеальных жидкостей; 4. при ламинарном режиме течения;
16.	Формулировка третьей теоремы подобия следующая:	1. В опытах нужно измерить все величины, содержащихся в критериях подобия изучаемого процесса. 2. Подобны те явления, у которых подобны условия однозначности и численно равны определяющие критерии. 3. Подобные между собой явления имеют



№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	2	3
		одинаковые критерии подобия. 4. Нет правильного ответа.
17.	Уравнение $Nu = 0,032 Re^{0,8}$ применяется в случае	1. ламинарного движения воздуха в трубах; 2. турбулентного движения воздуха в трубах; 3. обтекания воздухом пластины при турбулентном режиме; 3. обтекания воздухом пластины при ламинарном режиме;
18.	Формула $Nu = f(Re, Pr)$ выражает:	1. Обобщенное уравнение теплообмена для вынужденной конвекции при стационарном режиме. 2. Обобщенное уравнение теплообмена для естественной конвекции при стационарном режиме. 3. Уравнение нестационарного теплообмена при вынужденной конвекции. 4. Уравнение нестационарного теплообмена при наличии естественной конвекции и объемных источников тепловыделения в неограниченном объеме.
19.	Если выполняются следующие условия: $D=1, A=0, R=0$ , то тело:	1. Абсолютно черное. 2. Абсолютно белое. 3. Абсолютно прозрачное. 4. Серое.
20.	В нагревательных печах теплоотдача представлена результатом действия	1. конвекции; 2. излучения; 3. совместно конвекции и излучения; 4. совместно конвекции и теплопроводности.

### 6.3. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания

#### 6.3.1. Критерии оценок промежуточной аттестации (зачета)

Оценка	Описание
<b>Зачтено</b>	Посещение не менее 85 % лекционных, практических и лабораторных занятий; студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос; все предусмотренные программой обучения задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое; в течение семестра выполнил творческую работу.
<b>Не зачтено</b>	Посещение менее 50 % лекционных, практических и лабораторных занятий; студент не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы; большинство предусмотренных программой обучения заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному.

**Примерная шкала оценивания знаний в тестовой форме:**

Количество правильных ответов, %	Оценка
0-49	Не зачтено
50-65	Зачтено
66-85	Зачтено
86-100	Зачтено

**7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ДИСЦИПЛИНЫ**

**7.1. Рекомендуемая литература**

**7.1.1. Основная литература**

1. Терехов, В. И. Теплопередача и гидродинамика в газочапельных потоках / Терехов В.И., Пахомов М.А. - Новосибирск :НГТУ, 2009. - 284 с.: ISBN 978-5-7782-1157-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/556665>

2. Теплопередача: учебное пособие : в 2 ч. Ч. 1. Основы теории теплопередачи / В. С. Чередниченко, В. А. Сеницын, А. И. Алиферов, Ю. И. Шаров ; под ред. В. С. Чередниченко. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 221 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-014715-4. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1001086>

3. Теплопередача: учебное пособие : в 2 ч. Ч. 2. Упражнения и задачи / В. С. Чередниченко, В. А. Сеницын, А. И. Алиферов, Ю. И. Шаров ; под общ. ред. В. С. Чередниченко, А. И. Алиферова. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 348 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-014714-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1001096>

**7.1.2. Дополнительная литература**

1. Примеры и задачи по теплообмену : учебное пособие / В. С. Логинов, А. В. Крайнов, В. Е. Юхнов [и др.]. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 256 с. — ISBN 978-5-8114-1132-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/112072>

2. Цирельман, Н. М. Теория и прикладные задачи теплопередачи : учебное пособие / Н. М. Цирельман. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 504 с. — ISBN 978-5-8114-3621-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/206651>

**7.1.3. Учебно-методическое обеспечение**

1. Теплопередача в гетерогенных системах : метод. указания к практ. занятиям для студентов магистратуры направления 18.04.01 / сост. О. В. Зырянова ; науч. ред. Н. К. Кондрашева. - СПб. : Горн. ун-т, 2016. – 38 с.

[http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set\\_static\\_req&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=548%2F%D0%A2%2034%2D121622110<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=548%2F%D0%A2%2034%2D121622110<.>)

**7.2. Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Европейская цифровая библиотека European: <http://www.europeana.eu/portal/>

2. Мировая цифровая библиотека: <http://www.wdl.org/ru/>

3. Свободная энциклопедия «Википедия»: <http://ru.wikipedia.org/>

4. Словари и энциклопедии на «Академике»: <http://dic.academic.ru/>

5. Электронная библиотека учебников: <http://student.net/>

6. Электронная библиотека IQlib: <http://www.iqlib.ru/>

7. Электронная библиотека Российской Государственной Библиотеки (РГБ):

<http://www.rsl.ru/>

8. Электронно-библиотечная система издательского центра «Лань»

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1. Материально-техническое оснащение аудиторий:**

Специализированные аудитории, используемые при проведении занятий лекционного типа, оснащены мультимедийными проекторами и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы.

#### **Аудитории для проведения лекционных занятий.**

Оснащенность: стол- 19 шт., стул-38 шт., доска белая маркерная Magnetoplan C 2000x1000 мм.

Компьютерная техника: интерактивный сенсорный LCD – экран iiyama ProLite PL8603U.

#### **Аудитории для проведения практических занятий.**

Оснащенность: стол- 8 шт., стул-16 шт., доска белая маркерная Magnetoplan C 2000x1000 мм.

Компьютерная техника: Моноблок Dell OptiPlex 7470 All-in-One CTO 23.8” FHD DDR4 16 ГБ – 16 шт.

### **8.2. Помещения для самостоятельной работы:**

1. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 13 посадочных мест. Стул – 25 шт., стол – 2 шт., стол компьютерный – 13 шт., шкаф – 2 шт., доска аудиторная маркерная – 1 шт., АРМ учебное ПК (монитор + системный блок) – 14 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

2. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 17 посадочных мест. Доска для письма маркером – 1 шт., рабочие места студентов, оборудованные ПК с доступом в сеть университета – 17 шт., мультимедийный проектор – 1 шт., АРМ преподавателя для работы с мультимедиа – 1 шт. (системный блок, мониторы – 2 шт.), стол – 18 шт., стул – 18 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

3. Оснащенность помещения для самостоятельной работы: 16 посадочных мест. Стол компьютерный для студентов (тип 4) - 3 шт., стол компьютерный для студентов (тип 6) – 2 шт., стол компьютерный для студентов (тип 7) – 1 шт., кресло преподавателя (сетка, цвет черный) – 17 шт., доска напольная мобильная белая магнитно-маркерная «Magnetoplan» 1800мм×1200мм - 1 шт., моноблок Lenovo M93Z Intel Q87 – 17 шт., плакат – 5 шт. Доступ к сети «Интернет», в электронную информационно-образовательную среду Университета.

### **8.3. Помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования:**

#### **1. Центр новых информационных технологий и средств обучения:**

Оснащенность: персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 4 шт., сетевой накопитель – 1 шт., источник бесперебойного питания – 2 шт., телевизор плазменный Panasonic – 1 шт., точка Wi-Fi – 1 шт., паяльная станция – 2 шт., дрель – 5 шт., перфоратор – 3 шт., набор инструмента – 4 шт., тестер компьютерной сети – 3 шт., баллон со сжатым газом – 1 шт., паста теплопроводная – 1 шт., пылесос – 1 шт., радиостанция – 2 шт., стол – 4 шт., тумба на колесиках – 1 шт., подставка на колесиках – 1 шт., шкаф – 5 шт., кресло – 2 шт., лестница Alve – 1 шт.

#### **2. Центр новых информационных технологий и средств обучения:**

Оснащенность: стол – 5 шт., стул – 2 шт., кресло – 2 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 2 шт. (доступ к сети «Интернет»), монитор – 2 шт., МФУ – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., балон со сжатым газом – 1 шт., шуруповерт – 1 шт.

#### **3. Центр новых информационных технологий и средств обучения:**

Оснащенность: стол – 2 шт., стул – 4 шт., кресло – 1 шт., шкаф – 2 шт., персональный компьютер – 1 шт. (доступ к сети «Интернет»), веб-камера Logitech HD C510 – 1 шт., колонки Logitech – 1 шт., тестер компьютерной сети – 1 шт., дрель – 1 шт., телефон – 1 шт., набор ручных инструментов – 1 шт.

### **8.4. Лицензионное программное обеспечение:**

1. Microsoft Windows 8 Professional (договор бессрочный ГК № 875-09/13 от 30.09.2013 « На поставку компьютерной техники»)

2. Microsoft Office 2007 Standard (договор бессрочный Microsoft Open License 42620959 от 20.08.2007)
3. Microsoft Office 2007 Professional Plus (договор бессрочный Microsoft Open License 46082032 от 30.10.2009, договор бессрочный Microsoft Open License 46822807 от 22.12.2009, договор бессрочный Microsoft Open License 46431107 от 22.01.2010, договор бессрочный Microsoft Open License 45207312 от 03.03.2009)
4. MySQL Workbench v. 6.3.9 (лицензия свободная GNU GPL)
5. PHP 7.1.7 ( лицензия на свободное программное обеспечение, под которой выпущен язык программирования PHP, одобрена OSI)
6. Apache 2.4.27 (свободный кроссплатформенный Web-сервер, лицензия на свободное программное обеспечение Apache Software Foundation).
7. Python (свободное распространяемое ПО)