

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 12.09.2021 19:18:57  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В.Пекаревский  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**ОСНОВЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В**  
**ХИМИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ**

Направления подготовки:

**15.03.02– Технологические машины и оборудование**

Направленность программы бакалавриата  
**Проектирование, эксплуатация и диагностика**  
**технологических машин и оборудования**

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **механический**

Кафедра **оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры**

Санкт-Петербург

2016

Б1.В.ДВ.02.02.05 ОФО-16

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Разработчик		Профессор Доманский И.В.

Рабочая программа дисциплины «Основы теплопередачи в химическом оборудовании»  
обсуждена на заседании кафедры оптимизации химической и биотехнологической аппара-  
туры

протокол от «17» 12 2015 № 30

Заведующий кафедрой

Р.Ш. Абиев

Одобрено учебно-методической комиссией механического факультета

протокол от « 21 » 01 2016 № 5

Председатель

А.Н. Луцко

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Технологические машины и оборудо- вание»		А.Н. Луцко
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И. Богданова
Начальник УМУ		С.Н. Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	04
2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы	05
3 Объем дисциплины	05
4 Содержание дисциплины	
4.1 Разделы дисциплины и виды занятий	06
4.2 Занятия лекционного типа	06
4.3 Занятия семинарского типа	08
4.3.1. Семинары, практические занятия	08
4.3.2. Лабораторные занятия	09
4.4 Самостоятельная работа	09
4.4.1 Тематика контрольных работ	09
5 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	10
6 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации	10
7 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	11
8 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины	12
9 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	12
10 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	
10.1 Информационные технологии	12
10.2 Программное обеспечение	12
10.3 Информационные справочные системы	12
11 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	13
12 Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья	13
Приложения: 1 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации	14

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

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

Коды компетенции	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
<b>ПК-1</b>	способностью к систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки	<p><b>Знать:</b> Современные технологии теплопереноса с учетом отечественного и зарубежного опыта</p> <p><b>Уметь:</b> проводить обзоры патентной и научно-технической литературы</p> <p><b>Владеть:</b> навыками использования компьютерных технологий при поиске научно-технической информации.</p>
<b>ПК-2</b>	умением моделировать технические объекты и технологические процессы с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, готовность проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов.	<p><b>Знать:</b> основные уравнения теплопереноса в сплошных и неоднородных средах; основные способы теоретического и эмпирического решения задач теплопереноса;</p> <p><b>Уметь:</b> использовать математические модели теплообмена при решении научно-исследовательских, проектно-конструкторских, производственно-технологических задач; свободно пользоваться научной и справочной литературой.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками проведения экспериментов по заданным методикам, обработки и анализа результатов проводимых исследований</p>

## 2 Место дисциплины в структуре образовательной программы<sup>1</sup>.

Дисциплина «Основы теплопередачи в химическом оборудовании»(Б1.В.ДВ.02.02.05) относится к дисциплинам вариативной части учебного плана, профессиональному модулю 02 "Технологическое оборудование химических и нефтехимических производств" и изучается на 3 курсе в 5 семестре.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин «Физика», «Математика», «Теоретическая механика» и др.

Полученные в процессе изучения дисциплины «Основы теплопередачи в химическом оборудовании» знания, умения и навыки могут быть использованы при подготовке, выполнении и защите выпускной квалификационной работы, при решении научно-исследовательских, проектно-конструкторских, производственно-технологических задач в будущей профессиональной деятельности.

## 3 Объем дисциплины.

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость дисциплины (зачетных единиц/академических часов)</b>	<b>4/144</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>96</b>
занятия лекционного типа	36
занятия семинарского типа, в т.ч.	54
семинары, практические занятия	18
лабораторные работы	36
курсовое проектирование (КР или КП)	-
КСР	6
другие виды контактной работы	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>12</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)	Кр
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	Экзамен (36)

<sup>1</sup> Место дисциплины будет учитываться при заполнении таблицы 1 в Приложении 1 (Фонд оценочных средств)

## 4 Содержание дисциплины.

### 4.1 Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1	Основные уравнения теплопереноса.	6	4	4		ПК-1, ПК-2
2	Теплопроводность в твердом теле.	8	4	12		ПК-1, ПК-2
3	Конвективный теплообмен при ламинарном режиме течения.	8	4	10		ПК-1, ПК-2
4	Конвективный теплообмен при турбулентном режиме течения.	14	6	10	12	ПК-1, ПК-2
	ИТОГО	36	18	36	12	

### 4.2 Занятия лекционного типа.

№ раздела-дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<b>Основные уравнения теплопереноса.</b> Теплофизические свойства жидкостей и газов. Основные законы сохранения в классической механике. Закон сохранения энергии. Виды энергии. Закон Фурье. Уравнение Ньютона для расчета теплоотдачи. Теплообменные устройства в химическом оборудовании. Типы теплообменников.	2	Слайд-презентация
1	<b>Основные уравнения теплопереноса.</b> Уравнение энергии. Уравнение конвективного теплопереноса. Внутренние источники (стоки) теплоты. Правила сглаживания функций Уравнение конвективного теплопереноса при турбулентном режиме течения жидкости. Вектор турбулентных потоков теплоты. Краевые условия. Граничные условия в задачах теплопереноса.	4	Слайд-презентация
2	<b>Теплопроводность в твердом теле.</b> Уравнение теплопроводности. Безразмерная форма уравнения. Основные числа подобия. Вид расчетных зависимостей для нестационарных задач. Метод разделения переменных при решении простейших задач. Регулярный режим теплообмена Численное решение задачи нестационарного теплообмена.	4	Слайд-презентация

№ раздела-дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
2	<b>Теплопроводность в твердом теле.</b> Стационарная теплопроводность. Термическое сопротивление стенки трубы. Термическое сопротивление многослойной стенки трубы. Расчет коэффициента теплопередачи потоков газа или жидкостей, разделенных стенкой трубы. Критический слой изоляции.	3	Слайд-презентация
2	<b>Теплопроводность в твердом теле.</b> Теплопередача оребренных труб. Эффективность оребрения. Методы измерения теплопроводности и теплопроводности твердых материалов. Экспериментальное определение коэффициента теплоотдачи	4	Слайд-презентация
3	<b>Конвективный теплообмен при ламинарном режиме течения</b> Уравнение конвективного теплообмена. Безразмерная форма уравнения. Основные числа подобия. Вид расчетных зависимостей. Решения Нуссельта задачи о теплообмене в трубе и при пленочном течении жидкости. Теплообмен при конденсации пара.	4	Слайд-презентация
3	<b>Конвективный теплообмен при ламинарном режиме течения</b> Теплообмен при естественной конвекции. Безразмерная форма уравнений движения и теплопередачи. Поиск вида расчетной зависимости.	4	Слайд-презентация
4	<b>Конвективный теплообмен при турбулентном режиме течения</b> Теплообмен в трубах и каналах. Полуэмпирическая теория турбулентного теплообмена. Уравнения для расчета коэффициентов теплоотдачи при пленочном течении и конденсации пара	4	Слайд-презентация
4	<b>Конвективный теплообмен при турбулентном режиме течения</b> Теплообмен при кипении жидкости в большом объеме. Кризис кипения 1-ого и 2-ого рода. Кипение в вертикальных трубах. Теплообмен газожидкостных смесей со стенкой канала.	4	Слайд-презентация

## 4.3 Занятия семинарского типа

### 4.3.1. Семинары, практические занятия

№ раздела-дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
2	Расчет времени охлаждения твердых тел.	2	Слайд-презентация
2	Расчет коэффициента теплопередачи через плоскую и трубчатую поверхности.	2	Слайд-презентация
3	Расчет коэффициента теплоотдачи в трубе и к свободно стекающей пленке при ламинарном режиме течения.	2	Слайд-презентация
4	Расчет касательных напряжений и коэффициента теплоотдачи при турбулентном режиме в трубах.	2	Слайд-презентация
4	Расчет диссипации энергии и теплоотдачи в аппарате с перемешивающим устройством	2	Слайд-презентация
4	Расчет диссипации энергии, касательных напряжений и коэффициента теплоотдачи при течении газожидкостной смеси в вертикальной трубе.	2	Слайд-презентация
3, 4	Расчет коэффициента теплоотдачи при пленочной конденсации пара	2	Слайд-презентация
4	Расчет коэффициента теплоотдачи при пузырьковом кипении	4	Слайд-презентация



#### 4.3.2. Лабораторные занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Примечание
1	Численное решение дифференциального уравнения 1-ого порядка.	4	
1	Численное решение дифференциального уравнения 2-ого порядка. Задача Коши. Краевая задача.	4	
2	Численное решение задачи нестационарной теплопроводности	10	
3	Численное решение задачи теплообмена при течении жидкости в каналах	10	
4	Численное решение задачи теплообмена при турбулентном режиме течения жидкости в каналах	8	

#### 4.4 Самостоятельная работа обучающихся.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
3, 4	Сопротивление и теплообмен в щелевых каналах. Расчет пластинчатого теплообменника	6	Устный опрос
3, 4	Сопротивление и теплообмен в межтрубном пространстве кожухотрубчатого теплообменника	6	Письменный опрос

#### 4.4.1 Тематика контрольных работ

Контрольные работы (Кр) предусмотрены по каждой теме занятий семинарского типа. Задание по каждой контрольной работе включает в себя задачу и вопросы, обусловленные ее постановкой.

Примерные варианты заданий:

##### Вариант 1

##### Вопросы:

- 1 Поясните физический смысл критерия подобия Нуссельта.
- 2 Что такое удельная теплопроводность? В каком законе она является коэффициентом пропорциональности?

##### Задача:

Стальной пруток диаметром 50 мм нагрет до температуры 200 °С. Вычислить время охлаждения прутка до температуры 40 °С, если охлаждение протекает на воздухе, температура которого 20 °С, коэффициент теплоотдачи составляет 20 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

## Вариант 2

### Вопросы:

- 1 Поясните физический смысл критерия подобия  $Bi$ .
- 2 Что такое коэффициент теплопередачи? В каком законе он является коэффициентом пропорциональности?

### Задача:

Разность температур теплоносителей на входе и выходе их из теплообменника составляет соответственно 20 и 80 градусов Цельсия. Вычислите средний тепловой напор. При каком соотношении напоров можно воспользоваться средне арифметическим значением, если допустимая ошибка равна 5%?

## Вариант 3.

### Вопросы:

- 1 Поясните физический смысл критерия подобия Прандтля.
- 2 Какие теплофизические свойства необходимы для расчета энтальпии перегретого пара?

### Задача:

Насыщенный водяной пар подается по трубе  $\varnothing 57 \times 3$  для обогрева реактора. Длина трубопровода 50 м. Температура пара – 125 °С. Пренебрегая потерями давления в трубе, найти, какая доля пара сконденсируется в трубе, если расход пара составляет 10 кг/с, а коэффициент теплоотдачи к воздуху составляет 25 Вт/(м<sup>2</sup>·с).

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

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте Медиа: <http://media.technolog.edu.ru>

## 6 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («удовлетворительно») освоения предусмотренных элементов компетенций.

Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена.

К сдаче экзамена допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля.

Экзамен предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций. При сдаче экзамена студент получает два вопроса из имеющегося перечня (см. Приложение № 1).

Пример варианта вопросов на экзамене:

### Билет № 1

1. Уравнение энергии. Вывод уравнения в интегральной форме. Физический смысл слагаемых. Источники и стоки энергии.
2. Граничные условия первого рода в задачах теплопереноса. Приведите пример применимости этого условия.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1

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

### **а) основная литература:**

7.1 Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов / А. Г. Касаткин. – М. : Альянс, 2014. – 752 с.

7.2 Романков, П. Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) [Текст]: учебное пособие для вузов по направлению "Химическая технология и биотехнология" и спец. "Химическая технология" / П. Г. Романков, В. Ф. Фролов, О. М. Флисюк. – 3-е изд., испр. – СПб.: Химиздат, 2010. – 543 с.

### **б) дополнительная литература:**

7.3 Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: учебник для вузов по химико-технологическим направлениям и спец. / В. Г. Айнштейн [и др.]; под ред. В. Г. Айнштейна. 2-е изд. – М.: Физматкнига; М.: ЛОГОС. – (Новая университетская библиотека).

Кн. 1. – 2006. – 888+22 с.

Кн. 2. – 2006. – 891-1758 с.

7.4 Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст] : пособие по проектированию: Учебное пособие для химико-технологических спец. вузов / Г. С. Борисов [и др.] ; под ред. Ю. И. Дытнерского. 4-е изд., стер., перепеч. с изд. 1991г. – М.: Альянс, 2015. – 493 с.

### **в) вспомогательная литература:**

7.5 Брагинский, Л. Н. Перемешивание в жидких средах / Л. Н. Брагинский, В. И. Бегачев, В. М. Барабаш. – Л.: Химия, 1984. – 336 с.

7.6 Соколов, В.Н. Газожидкостные реакторы / В. Н. Соколов, И. В. Доманский. – Л.: Машиностроение, 1976. – 216 с.

7.7 Кутателадзе, С.С. Основы теории теплообмена / С. С. Кутателадзе. М.: Химия, 1979.– 415 с.

7.8 Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов вузов /И.В. Доманский [и др.]; под общ. ред. В.Н. Соколова / – СПб.: Политехника, 1992. – 327 с.

## **8 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

учебный план, РПД и учебно-методические материалы: <http://media.technolog.edu.ru>  
электронно-библиотечные системы:  
«Электронный читальный зал – БиблиоТех» <https://technolog.bibliotech.ru/>;  
«Лань» <https://e.lanbook.com/books/>.

## **9 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

Все виды занятий по дисциплине «Основы теплопередачи в химическом оборудовании» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

СТО СПбГТИ 020-2011. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лабораторные занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 040-02. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 018-2014. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 048-2009. КС УКВД. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 016-2015. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:

плановость в организации учебной работы;  
серьезное отношение к изучению материала;  
постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходиться, имея багаж знаний и вопросов по уже изученному материалу.

## **10 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

### **10.1 Информационные технологии.**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

чтение лекций с использованием слайд-презентаций;  
взаимодействие с обучающимися посредством электронной почты.

### **10.2 Программное обеспечение.**

MicrosoftOffice (MicrosoftExcel);

Mathcad14

### **10.3. Информационные справочные системы.**

Справочно-поисковая система «Консультант-Плюс»

**11 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для ведения лекционных и практических занятий используется аудитория, оборудованная средствами оргтехники, на 15 посадочных мест.

Для проведения лабораторных занятий используется лаборатория гидравлики, оснащенная различными установками.

**12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебный процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014г.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации по  
дисциплине «Основы теплопередачи в химическом оборудовании»**

**1 Перечень компетенций и этапов их формирования.**

Компетенции		
Индекс	Формулировка <sup>2</sup>	Этап формирования <sup>3</sup>
ПК-1	способностью к систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю	промежуточный
ПК-2	умением <b>моделировать</b> технические объекты и технологические процессы с использованием стандартных пакетов и средств <b>автоматизированного проектирования</b> , готовность проводить эксперименты по заданным методикам с <b>обработкой и анализом результатов</b> .	промежуточный

**2 Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания.**

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
Освоение раздела № 1	Знает основные понятия, законы и уравнения теплопереноса	Правильные ответы на вопросы №1 – 13 к экзамену	ПК-1
Освоение раздела № 2	Владеет общими закономерностями динамики вязкой жидкости	Правильные ответы на вопросы №14– 23 к экзамену	ПК-1,
Освоение раздела № 3	Умеет приводить уравнения к безразмерному виду	Правильные ответы на вопросы №24 – 32 к экзамену	ПК-2
Освоение раздела № 4	Владеет методами определения коэффициента теплопроводности	Правильные ответы на вопросы №33 – 49 к экзамену	ПК-2

<sup>2</sup> **жирным шрифтом** выделена та часть компетенции, которая формируется в ходе изучения данной дисциплины (если компетенция осваивается полностью, то фрагменты)

<sup>3</sup> этап формирования компетенции выбирается по п.2 РПД и учебному плану (начальный – если нет предшествующих дисциплин, итоговый – если нет последующих дисциплин (или компетенция не формируется в ходе практики или ГИА), промежуточный - все другие.)

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):  
по дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзамена, шкала оценивания – балльная.

### **3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации.**

#### **а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-1:**

1. Уравнения молекулярного переноса теплоты, закон Фурье.
2. Уравнение неразрывности для сплошных сред.
3. Уравнение Навье-Стокса для несжимаемой жидкости. Физический смысл слагаемых. Условие прилипания.
4. Уравнение энергии. Вывод уравнения в интегральной форме. Физический смысл слагаемых. Источники и стоки энергии.
5. Общая постановка задач теплообмена. Начальные и граничные условия.
6. Граничные условия первого рода в задачах теплопереноса. Условие применимости этого условия.
7. Граничные условия второго рода в задачах теплопереноса. Условия применения этого условия.
8. Граничные условия третьего рода в задачах теплопереноса. Условия применения этого условия.
9. Граничные условия четвертого рода в задачах тепло- и массопереноса.
10. Турбулентный режим течения жидкости. Связь турбулентной вязкости и турбулентной теплопроводности.
11. Модель Прандтля для расчета турбулентной вязкости. Особенности расчета турбулентной теплопроводности.
12. Расчет динамической скорости через диссипацию энергии при воздействии нескольких источников турбулентности.
13. Уравнение теплопроводности. Приведение уравнения к безразмерному виду. Критерии подобия  $Fo$  и  $Bi$ .
14. Графическая форма представления решения задач нестационарной теплопроводности. Регулярный режим.
15. Расчет теплового потока через плоскую стенку. Термическое сопротивление стенки.
16. Расчет теплового потока через стенку трубы. Термическое сопротивление стенки.
17. Коэффициент теплоотдачи и теплопередачи. Уравнение Ньютона.
18. Расчет теплового потока от одного теплоносителя к другому через плоскую стенку. Коэффициент теплопередачи.
19. Расчет теплового потока от одного теплоносителя к другому через многослойную плоскую стенку. Коэффициент теплопередачи
20. Расчет теплового потока от одного теплоносителя к другому через стенку трубы. Коэффициент теплопередачи.
21. Расчет среднего температурного напора при прямоточном движении теплоносителей.
22. Расчет среднего температурного напора при противоточном движении теплоносителей.
23. Теплоизоляция труб. Расчет критического слоя изоляции.

#### **б) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-2:**

24. Уравнение конвективного теплообмена. Приведение уравнения к безразмерному виду. Критерии подобия. Критериальная форма расчетных уравнений.
25. Теплообмен при ламинарном установившемся течении в трубе. Постановка задачи. Критериальная форма уравнения.
26. Теплообмен при ламинарном установившемся течении жидкостной пленки по вертикальной стенке. Постановка задачи. Критериальная форма уравнения.

27. Теплообмен при ламинарном установившемся течении в плоскопараллельном канале. Постановка задачи. Критериальная форма уравнения.
28. Конвективный теплообмен при ламинарном обтекании тел (внешняя задача). Аналогия Рейнольдса.
29. Конвективный теплообмен при свободной конвекции и ламинарном режиме. Формулировка задач. Критерий Gr, его физический смысл.
30. Теплообмен при конденсации насыщенного пара при ламинарном режиме стекания пленки конденсата. Вывод расчетного уравнения.
31. Теплообмен при продольном обтекании пластины. Аналогия Рейнольдса. Условие ее применимости
32. Понятие о тепловом пограничном слое. Расчет локального коэффициента теплоотдачи.
33. Уравнение конвективного теплопереноса при турбулентном режиме течения жидкости.
34. Конвективный теплообмен при турбулентном режиме в трубах, при барботаже, при пленочном течении жидкости.
35. Поле температур вблизи стенки при турбулентном режиме течения жидкости.
36. Теплообмен в трубе при турбулентном режиме течения жидкости.
37. Теплообмен при турбулентном режиме стекания жидкостной пленки.
38. Теплообмен в барботажном аппарате между стенкой аппарата и газожидкостной смесью.
39. Теплообмен при течении газожидкостной смеси в вертикальной трубе.
40. Теплообмен при кипении жидкости в большом объеме. Кризис кипения 1-ого рода.
41. Теплообмен при конденсации насыщенного пара при турбулентном режиме стекания пленки конденсата
42. Метод пластины для измерения коэффициента теплопроводности.
43. Метод пластины для измерения относительного значения коэффициента теплопроводности
44. Метод бесконечно протяженного цилиндра для измерения коэффициента теплопроводности.
45. Кипение в большом объеме. Кризис кипения 1-ого рода.
46. Теплообмен при конденсации насыщенного пара при турбулентном режиме стекания пленки конденсата
47. Метод пластины для измерения коэффициента теплопроводности.
48. Метод пластины для измерения относительного значения коэффициента теплопроводности
49. Метод бесконечно протяженного цилиндра для измерения коэффициента теплопроводности.

К экзамену допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче экзамена студент получает два вопроса из перечня, приведенного выше.

Время подготовки студента к устному ответу на вопросы – до 30 мин.

**4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СПб СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов.