

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 15.11.2023 16:30:14  
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  
«02» декабря 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**ОСНОВЫ ТЕПЛО-МАССООБМЕНА В ХИМИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ**

Направление подготовки

**15.03.02 Технологические машины и оборудование**

**Направленность: Технологическое оборудование химических  
и нефтехимических производств**

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **Механический**

Кафедра **Оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры**

Санкт-Петербург

2021

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Заведующий кафедрой		проф. Р.Ш. Абиев

Рабочая программа дисциплины «**Основы тепло-массообмена в технологическом оборудовании**» обсуждена на заседании кафедры оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры

протокол от «27» октября 2021 № 4  
Заведующий кафедрой

Р.Ш. Абиев

Одобрено учебно-методической комиссией механического факультета  
протокол от «30» ноября 2021 № 4

Председатель

А.Н. Луцко

## СОГЛАСОВАНО

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

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы</b> .....	4
<b>2. Место дисциплины в структуре образовательной программы</b> .....	4
<b>3. Объем дисциплины</b> .....	5
<b>4. Содержание дисциплины</b> .....	6
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий .....	6
4.2. Занятия лекционного типа .....	6
4.3. Занятия семинарского типа.....	9
4.3.1. Семинары, практические занятия .....	9
4.3.2. Лабораторные занятия .....	9
4.4. Самостоятельная работа обучающихся .....	10
4.4.1. Темы контрольных вопросов для самостоятельного изучения .....	10
<b>4.4.2. Контрольные задания</b> .....	10
<b>5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине</b> .....	11
<b>6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации</b> .....	11
<b>7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины</b> .....	12
<b>8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины</b> .....	12
<b>9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины</b> .....	13
<b>10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине</b> .....	13
10.1. Информационные технологии .....	13
10.2. Программное обеспечение .....	13
10.3. Базы данных и информационные справочные системы.....	13
<b>11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы</b> .....	14
<b>12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья</b> .....	14
Приложение № 1 .....	15
<b>Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации по дисциплине «Основы тепло-массообмена в технологическом оборудовании»</b> .....	15

## 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:

Код и наименование компетенции <sup>1</sup>	Код и наименование индикатора достижения компетенции <sup>2</sup>	Планируемые результаты обучения (дескрипторы) <sup>3</sup>
<p><b>ПК-1</b> Способен принимать участие в работах по составлению научных отчетов по выполненному заданию и внедрять результаты исследований и разработок в области технологических машинах и оборудования</p>	<p><b>ПК-1.4</b> Способность выполнять расчеты теплопереноса в оборудовании</p>	<p><b>Знать:</b> Требования стандартов к оформлению научных отчетов (ЗН-1). <b>Уметь:</b> Анализировать результаты выполненных расчетов и формулировать обоснованные выводы по выполненным расчетам химико-технологического оборудования (У-1). <b>Владеть:</b> навыками составления научных отчетов по выполненному заданию (Н-1).</p>
<p><b>ПК-3</b> Способен к систематическому изучению научно-технической и патентной информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки</p>	<p><b>ПК-3.4</b> Способен выполнять анализ существующих конструкций теплообменных аппаратов, анализировать результаты отечественных и зарубежных исследований в области теплопереноса</p>	<p><b>Знать:</b> Современные технологии теплопереноса с учетом отечественного и зарубежного опыта (ЗН-2). <b>Уметь:</b> проводить обзоры патентной и научно-технической литературы (У-2). <b>Владеть:</b> навыками использования компьютерных технологий при поиске научно-технической информации (Н-2).</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Содержание и номер компетенции в точности соответствует ФГОС ВО и отображается в матрице компетенций для конкретной дисциплины

<sup>2</sup> Код индикатора присваивается руководителем направления подготовки, отображается в матрице компетенции и доводится разработчикам РПД. Повторение кодов индикаторов для конкретной компетенции, реализуемой разными дисциплинами, не допускается

<sup>3</sup> Дескрипторы переносятся из матрицы компетенций без смены формулировок

Дисциплина «Основы тепло-массообмена в технологическом оборудовании» относится к дисциплинам по выбору Блока 1 образовательной программы бакалавриата и входит в часть, формируемую участниками образовательного процесса (Б1.В.ДВ.02.02), изучается в 5 семестре.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированных при изучении дисциплин «Физика», «Математика».

Полученные в процессе изучения дисциплины «Основы тепло-массообмена в технологическом оборудовании» знания, умения и навыки необходимы для изучения дисциплин профессионального цикла «Машины и аппараты для процессов тепло- и массопереноса», и могут быть использованы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Очная форма обучения
	5 сем
<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.	
семинары, практические занятия (в том числе практическая подготовка)	18 (6)
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 (Кр, реферат, РГР, эссе)</b>	<b>Кр</b>
<b>Форма промежуточной аттестации (КР, КП, зачет, экзамен)</b>	<b>Экзамен (36)</b>

<sup>4</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, акад. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции	Формируемые индикаторы
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы			
1	Основные уравнения теплопереноса.	6	4	4		ПК-1, ПК-3	ПК-1.4 ПК-3.4
2	Теплопроводность в твердом теле.	11	4	12			
3	Конвективный теплообмен при ламинарном и турбулентном режимах течения	9	4	10			
4	Основные уравнения массопереноса.	10	6	10	12		
	<b>ИТОГО</b>	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	ЛВ
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	ЛВ

№ раздела дисциплин ы	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
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	ЛВ
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	ЛВ
2	<b>Теплопроводность в твердом теле.</b> Теплопередача оребренных труб. Эффективность оребрения. Методы измерения теплопроводности и температуропроводности твердых материалов. Экспериментальное определение коэффициента теплоотдачи	4	ЛВ
3	<b>Конвективный теплообмен при ламинарном и турбулентном режимах 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	ЛВ
3	<b>Конвективный теплообмен при ламинарном и турбулентном режимах течения</b> Теплообмен при естественной конвекции. Безразмерная форма уравнений движения и теплопередачи. Поиск вида расчетной зависимости. Теплообмен в трубах и каналах. Полуэмпирическая теория турбулентного теплообмена. Уравнения для расчета коэффициентов теплоотдачи при пленочном течении и конденсации пара. Теплообмен при кипении жидкости в большом объеме. Кризис кипения 1-го и 2-го рода. Кипение в вертикальных трубах.	5	ЛВ
4	<b>Основные уравнения массопереноса.</b> Первый закон Фика. Коэффициент диффузии. Второй закон Фика. Уравнение движения смеси. Уравнение энергии. Число Льюиса. Уравнение конвективного массопереноса. Коэффициент массоотдачи. Аналогия процессов переноса массы, теплоты и количества движения.	6	ЛВ

№ раздела дисциплин ы	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
4	<b><i>Основные уравнения массопереноса.</i></b> Стефановский поток массы. Массообмен при испарении и при конденсации. Особенности процессом тепломассопереноса при химических реакциях.	4	ЛВ



### 4.3. Занятия семинарского типа

#### 4.3.1. Семинары, практические занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку	
2	Расчет времени охлаждения твердых тел.	2		МК
2	Расчет коэффициента теплопередачи через плоскую и трубчатую поверхности.	2	2	МК
3	Расчет коэффициента теплоотдачи в трубе и к свободно стекающей пленке при ламинарном режиме течения.	2	2	МК
3	Расчет касательных напряжений и коэффициента теплоотдачи при турбулентном режиме в трубах.	2	2	МК
3	Расчет диссипации энергии и теплоотдачи в аппарате с перемешивающим устройством	2		МК
3	Расчет коэффициента теплоотдачи при пленочной конденсации пара трубе.	2		МК
4	Расчет числа Льюиса для влажного воздуха.	2		МК
4	Расчет коэффициентов массоотдачи для различных условий.	4		МК

#### 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 массообмена при турбулентном режиме течения жидкости в	8	

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Примечание
	каналах (массоотдачи от стенки в жидкость)		

#### 4.4. Самостоятельная работа обучающихся

##### 4.4.1. Темы контрольных вопросов для самостоятельного изучения

№ 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	Коэффициент массопроводности	6	Устный опрос

##### 4.4.2. Контрольные задания <sup>5</sup>

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:

<sup>5</sup> Пунктами 4.4.1-4.4.5 раскрывается тематика рефератов, творческих заданий, РГР, контрольных работ, эссе и т.д (если предусмотрено РПД).

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

При сдаче экзамена студент получает два вопроса из перечня вопросов, время подготовки студента к устному ответу – до 45 мин.

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1

Пример содержательной части экзаменационного билета:

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.

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

### **а) печатные издания:**

1. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов / А. Г. Касаткин. – М. : Альянс, 2014. – 752 с.
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.
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.
4. Кутателадзе, С.С. Основы теории теплообмена / С. С. Кутателадзе. М.: Химия, 1979. – 415 с.
5. 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.
6. Исаченко В. П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергоиздат, 1981. – 488 с.
7. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977. – 344 с.

### **б) электронные учебные издания<sup>6</sup>:**

1. [https://portal.tpu.ru/SHARED/s/STZIBULSKY/academic/Tab2/Теплопроводност\\_mat.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/s/STZIBULSKY/academic/Tab2/Теплопроводност_mat.pdf)

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

1. учебный план, РПД и учебно-методические материалы: <http://media.technolog.edu.ru>
2. Сайт Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент): Информационно-поисковая система - [http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content\\_ru/ru/inform\\_resources/inform\\_retrieval\\_system/](http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content_ru/ru/inform_resources/inform_retrieval_system/)
3. Строительный портал ВесьБетон - все о строительстве и производстве строительных материалов. - <http://www.allbeton.ru/>

электронно-библиотечные системы:

«Электронный читальный зал – БиблиоТех» <https://technolog.bibliotech.ru/>;

«Лань» <https://e.lanbook.com/books/>.

---

<sup>6</sup> В т.ч. и методические пособия

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

Все виды занятий по дисциплине «Основы тепло-массообмена в технологическом 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 УКДВ. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 016-2014. КС УКДВ. 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 приходить, 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;
- учебные видеоматериалы;
- взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС.

### **10.2. Программное обеспечение.**

Microsoft Office (Microsoft Excel) или LibreOffice;  
Пакет прикладных программ MathCad 14.

### **10.3. Базы данных и информационные справочные системы.**

1. Справочно-информационная система поиска нормативных документов <http://gostrf.com/>
2. Строительные нормы и правила - СНИП.РФ. - <http://снип.рф/snip/>

## **11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы**

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

Для выполнения лабораторных работ используется компьютерный класс, оборудованный персональными компьютерами, объединенными в сеть.

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

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

**Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации по дисциплине «Основы тепло-массообмена в технологическом оборудовании»**

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

Индекс компетенции	Содержание <sup>7</sup>	Этап формирования <sup>8</sup>
<b>ПК-1</b>	Способен <b>принимать участие в работах по составлению научных отчетов по выполненному заданию</b> и внедрять результаты исследований и разработок в области технологических машинах и оборудования	промежуточный
<b>ПК-3</b>	Способен к <b>систематическому изучению</b> научно-технической и патентной информации, <b>отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки</b>	промежуточный

<sup>7</sup> **Жирным шрифтом** выделяется та часть компетенции, которая формируется в ходе изучения данной дисциплины (если компетенция осваивается полностью, то фрагменты не выделяются).

<sup>8</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)

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

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ПК-1.4</b> Способен составлять научные отчеты по выполненному заданию	(ЗН-1) Знает: Требования стандартов к оформлению научных отчетов	Ответы на вопросы №№ 1-3	Имеет общее представление о требованиях стандартов к оформлению научных отчетов	Имеет знания о требованиях стандартов к оформлению научных отчетов, но с некоторыми пробелами	Имеет детальные знания о требованиях стандартов к оформлению научных отчетов.
	(У-1) Умеет: Анализировать результаты выполненных численных исследований и формулировать обоснованные выводы по выполненным расчетам химико-технологического оборудования	Выполнение лабораторных работ	Имеет общее представление о результатах выполненных численных исследований, но не способен самостоятельно формулировать обоснованные выводы по выполненным расчетам	Умеет самостоятельно формулировать обоснованные выводы по выполненным расчетам, но с некоторыми недочетами	Умеет самостоятельно и детально формулировать обоснованные выводы по выполненным расчетам
	(Н-1) Владеет: навыками составления научных отчетов по выполненному заданию	Составление научных отчетов по лабораторным и практическим заданиям	Способен составлять научные отчеты только в общих чертах	Способен составлять научные отчеты, но с недочетами и небольшими отклонениями от стандартов	Способен самостоятельно составлять научные отчеты в соответствии со стандартами.
<b>ПК-3.4</b> Способен изучать отечественный и	(ЗН-2) Знает: Современные технологии теплопереноса с учетом отечественного и	Ответы на вопросы №№ 4-54	Имеет базовые представления о тенденциях интенсификации теплопереноса с учетом отечественного и	Имеет достаточно полные представления о тенденциях интенсификации теплопереноса с учетом отечественного и	Имеет детальные представления о тенденциях интенсификации теплопереноса с



зарубежный опыт по интенсификации теплопередачи в химических технологиях	зарубежного опыта		зарубежного опыта	зарубежного опыта	учетом отечественного и зарубежного опыта
	(У-2) Умеет: проводить обзоры патентной и научно-технической литературы	Выполнение контрольных заданий	Имеет общее представление о задачах теплопереноса, но не способен самостоятельно выбирать необходимые методы и оборудование	Умеет выбирать методы решения задач теплопереноса, с некоторыми подсказками преподавателя	Умеет самостоятельно выбирать методы решения задач теплопереноса и корректно интерпретировать полученные решения
	(Н-2) Владеет: навыками использования компьютерных технологий при поиске научно-технической информации	Ответы на вопросы №№ 4-54	Способен решать задачи теплопереноса только по готовым алгоритмам и методикам.	Способен выполнять расчеты теплопереноса в технологическом оборудовании	Способен самостоятельно находить оптимальные методы решения задач теплопереноса

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):

если по дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме зачета, то результат оценивания – «зачтено», «не зачтено»;

если по дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзамена и (или) курсового проекта (работы), то шкала оценивания – балльная («удовлетворительно», «хорошо», «отлично»).

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

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

1. Стандарт на оформление выпускной квалификационной работы.
2. Основные требования стандарта на оформление отчета по НИР.
3. Содержание основных разделов отчета по НИР.

#### **б) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-3:**

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

29. Теплообмен при ламинарном установившемся течении жидкостной пленки по вертикальной стенке. Постановка задачи. Критериальная форма уравнения.
30. Теплообмен при ламинарном установившемся течении в плоскопараллельном канале. Постановка задачи. Критериальная форма уравнения.
31. Конвективный теплообмен при ламинарном обтекании тел (внешняя задача). Аналогия Рейнольдса.
32. Конвективный теплообмен при свободной конвекции и ламинарном режиме. Формулировка задач. Критерий Gr, его физический смысл.
33. Теплообмен при конденсации насыщенного пара при ламинарном режиме стекания пленки конденсата. Вывод расчетного уравнения.
34. Теплообмен при продольном обтекании пластины. Аналогия Рейнольдса. Условие ее применимости
35. Понятие о тепловом пограничном слое. Расчет локального коэффициента теплоотдачи.
36. Уравнение конвективного теплопереноса при турбулентном режиме течения жидкости.
37. Конвективный теплообмен при турбулентном режиме в трубах, при барботаже, при пленочном течении жидкости.
38. Поле температур вблизи стенки при турбулентном режиме течения жидкости.
39. Теплообмен в трубе при турбулентном режиме течения жидкости.
40. Теплообмен при турбулентном режиме стекания жидкостной пленки.
41. Теплообмен в барботажном аппарате между стенкой аппарата и газожидкостной смесью.
42. Теплообмен при течении газожидкостной смеси в вертикальной трубе.
43. Теплообмен при кипении жидкости в большом объеме. Кризис кипения 1-ого рода.
44. Теплообмен при конденсации насыщенного пара при турбулентном режиме стекания пленки конденсата
45. Метод пластины для измерения коэффициента теплопроводности.
46. Кипение в большом объеме. Кризис кипения 1-ого рода. Кризис кипения 2-ого рода.
47. Влияние способа нагрева (паровой или электрическим нагревом) на поведение зависимости потока от перегрева.
48. Кипение в вертикальных трубах. Структура двухфазного потока при кипении. Участки кипения.
49. Пузырьковое кипение. Критический радиус пузырька. Минимальная работа образования пузырьков критического диаметра. Отрывной диаметр пузырька.
50. Зависимость теплового потока от температурного напора (кривая кипения).
51. Характеристики парожидкостного потока: массовая и объемная расходные паросодержания; истинное объемное паросодержание; скорость скольжения.
52. Влияние массового расходного паросодержания на теплоотдачу при кипении.
53. Кипение однофазной жидкости. Зависимость теплоотдачи от давления и теплофизических свойств. Влияние недогрева жидкости. Влияние скорости принудительной циркуляции жидкости.
54. Теплообмен при конденсации насыщенного пара при турбулентном режиме стекания пленки конденсата.
55. Первый закон Фика. Коэффициент диффузии.
56. Второй закон Фика.
57. Уравнение движения смеси.
58. Уравнение энергии. Число Льюиса.
59. Уравнение конвективного массопереноса.
60. Коэффициент массоотдачи. Аналогия процессов переноса массы, теплоты и количества движения.
61. Стефановский поток массы.
62. Массообмен при испарении и при конденсации.
63. Особенности процессом тепломассопереноса при химических реакциях.

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 45 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 ГТИ (ТУ) 016-2015. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов.