

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 12.09.2021 19:24:34  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84

Приложение № 1  
к рабочей программе модуля  
"Технологическое оборудование химических и нефте-  
химических производств"

## **Рабочая программа дисциплины**

### **ЯВЛЕНИЯ ТЕПЛО-МАССОПЕРЕНОСА В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

Направление подготовки

**15.03.02 Технологические машины и оборудование**

Направленность программы бакалавриата

**Проектирование, эксплуатация и диагностика  
технологических машин и оборудования**

Профессиональный модуль

**Технологическое оборудование  
химических и нефтехимических производств**

Б1.В.ДВ.02.02.07 ЗФО-16

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

| Должность              | Подпись | Ученое звание,<br>фамилия, инициалы |
|------------------------|---------|-------------------------------------|
| Разработчик, профессор |         | Профессор И.В. Доманский            |

Рабочая программа дисциплины «Явления тепло-массопереноса в химической технологии» обсуждена на заседании кафедры оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры

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 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

|  |    |
|--|----|
| 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  | 06 |
| 4.3.1 Практические занятия   | 06 |
| 4.4 Самостоятельная работа   | 07 |
| 4.4.1 Тематика контрольных работ   | 08 |
| 4.4.2 Курсовой проект  | 08 |
| 5 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине                                       | 09 |
| 6 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации   | 09 |
| 7 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины   | 10 |
| 8 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины                            | 10 |
| 9 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины   | 10 |
| 10 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине                          |    |
| 10.1 Информационные технологии   | 11 |
| 10.2 Программное обеспечение   | 11 |
| 10.3 Информационные справочные системы   | 11 |
| 11 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине                                 | 11 |
| 12 Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья  | 11 |
| Приложения: 1 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации   | 12 |

**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  |
|------------------|--|--|
| ПК-1             | способностью к систематическому изучению научнотехнической информации отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки  | <p><b>Знать:</b><br/>Современные технологии с учетом отечественного и зарубежного опыта</p> <p><b>Уметь:</b><br/>проводить обзоры патентной и научнотехнической литературы в области химической технологий</p> <p><b>Владеть:</b><br/>навыками и умением решать и анализировать получаемые решения.<br/>навыками использования компьютерных технологий при поиске научнотехнической информации.</p>  |
| ПК-2             | умением моделировать технические объекты и технологические процессы с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, готовностью проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом результатов. | <p><b>Знать:</b><br/>основные уравнения переноса теплоты и вещества в сплошных и неоднородных средах,<br/>основные способы теоретического и эмпирического решения задач тепло-и массообмена;</p> <p><b>Уметь:</b><br/>формулировать граничные условия в задачах тепло- и массообмена.<br/>использовать математические модели явлений тепло- и массообмена при решении научно-исследовательских, проектно-конструкторских, производственно-технологических задач;<br/>свободно пользоваться научной и справочной литературой.</p> <p><b>Владеть:</b><br/>навыками проведения экспериментов по заданным методикам, обработки и анализа результатов проводимых исследований</p> |

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

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору вариативной части базового блока (Б1.В.ДВ.02.02.07) и изучается на 3 и 4 курсах в 6 и 7 семестрах.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин «физики», «математики», «теоретической механики», «процессы и аппараты», и др.

Полученные в процессе изучения дисциплины «Явления тепло-массопереноса в химической технологии» 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,<br>академических<br>часов |
|---|----------------------------------|
|   | Заочная форма<br>обучения        |
| <b>Общая трудоемкость дисциплины</b><br>(зачетных единиц/академических часов) | <b>4/144</b>                     |
| <b>6 семестр</b>  |                                  |
| <b>Контактная работа с преподавателем:</b>                                    | <b>8</b>                         |
| занятия лекционного типа  | <b>8</b>                         |
| <b>Самостоятельная работа</b>   | <b>28</b>                        |
| <b>7 семестр</b>  |                                  |
| <b>Контактная работа с преподавателем:</b>                                    | <b>4</b>                         |
| занятия лекционного типа  | –                                |
| занятия семинарского типа, в т.ч.   | –                                |
| практические занятия  | 4                                |
| лабораторные работы   | –                                |
| курсовое проектирование (КП)  | КП                               |
| КСР   | –                                |
| другие виды контактной работы   | –                                |
| <b>Самостоятельная работа</b>   | <b>95</b>                        |
| <b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)                       | 2 Кр                             |
| <b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)                | Экзамен (9)<br>КП                |

<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, акад. часы |                     | Самостоятельная работа, акад. часы | Формируемые компетенции |
|-------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|------------------------------------|-------------------------|
|       |                                  |                                      | Семинары и/или практические занятия   | Лабораторные работы |                                    |                         |
| 1     | Основные уравнения гидромеханики | 1                                    | -                                     | -                   | 10                                 | ПК-1<br>ПК-2            |
| 2     | Основные уравнения теплообмена   | 5                                    | 2                                     | -                   | 70                                 | ПК-1<br>ПК-2            |
| 3     | Основные уравнения массообмена   | 2                                    | 2                                     | -                   | 43                                 | ПК-1<br>ПК-2            |
|       | ИТОГО                            | 8                                    | 4                                     | -                   | 123                                |                         |

##### 4.2 Занятия лекционного типа.

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия  | Объем, акад. часы | Инновационная форма |
|----------------------|---|-------------------|---------------------|
| 1                    | <b>Основные уравнения гидромеханики</b><br>Уравнение неразрывности для сжимаемых и несжимаемых жидкостей. Уравнение Навье-Стокса.   | 1                 | Слайд-презентация   |
| 2                    | <b>Основные уравнения теплообмена.</b><br>Закон Фурье. Уравнение энергии. Уравнение конвективного теплообмена. Граничные условия в задачах теплообмена. Теплоперенос в твердых телах. Теплообмен при ламинарном и турбулентном режимах течения жидкости | 5                 | Слайд-презентация   |
| 3                    | <b>Основные уравнения массообмена.</b> Диффузия в твердых телах. Массоперенос в ламинарных и турбулентных потоках.  | 2                 | Слайд-презентация   |

##### 4.3 Семинары, практические занятия

###### 4.3.1 Практические занятия

| № раздела дисциплины | Наименование темы и краткое содержание занятия   | Объем, акад. часы | Инновационная форма |
|----------------------|--|-------------------|---------------------|
| 2                    | Конвективный теплообмен. Критерии подобия в уравнениях различных видов конвективного теплообмена. Расчет коэффициента теплопередачи. | 2                 | Слайд-презентация   |
| 3                    | Массообмен. Расчет массопереноса на основе пенетрационной модели.  | 2                 | Слайд-презентация   |

#### 4.4 Самостоятельная работа обучающихся.

| № раздела дисциплины | Перечень вопросов для самостоятельного изучения  | Объем, акад. часы | Форма контроля     |
|----------------------|--|-------------------|--------------------|
| 1                    | Закон внутреннего трения Ньютона в обобщенной форме. Внутренние и задачи обтекания тел. Расчет сопротивления. Подобие в гидромеханике  | 10                | контрольная работа |
| 2                    | Математическая постановка задачи теплообмена. Граничные условия 1-го, 2-го, 3-го и 4-го рода. Теплообмен при наличии распределенного источника теплоты. Сопряженные задачи теплообмена. Перенос теплоты при подвижной границе. Граничные условия Стефана.<br>Приборы для измерения теплофизических свойств жидкостей, газов и твердых тел.   | 15                | Устный опрос       |
| 2                    | Теплоперенос в твердых телах. Теплоперенос в плоской пластине, в стенке трубы, в оребренных трубах. Критический слой изоляции. Задачи с внутренним источником теплоты  | 15                | контрольная работа |
| 2                    | Теплообмен при ламинарном режиме течения жидкости в трубах и плоскопараллельных каналах на участках тепловой и гидродинамической стабилизации. Влияние неизотермичности потока на теплообмен. Теплообмен при обтекании твердых тел. Аналогия Рейнольдса. Теплообмен при пленочном течении жидкости. Теплоотдача при пленочной конденсации пара на стенке.<br>Теплообмен при турбулентном режиме жидкости. Решение задач теплообмена на основе полуэмпирической теории турбулентного переноса. Динамическая скорость. Связь динамической скорости с диссипацией энергии. Теплоперенос в жидкости при течении в трубах и каналах. Теплообмен при кипении жидкости. Кризис кипения. Условия подавления кипения. Теплообмен при течении газожидкостных систем.   | 40                | Письменный опрос   |
| 3                    | Массоперенос Математическая постановка задачи. Граничные условия. Диффузия, сопровождающаяся гетерогенной и гомогенной химической реакцией. Диффузия и химическая реакция внутри пористого катализатора.<br>Массоперенос в ламинарных потоках Массоперенос в стекающей жидкостной пленке. Массоперенос при течении жидкости в трубе. Решение задач конвективной диффузии методом теории пограничного слоя и методом теории подобия.<br>Массоперенос в турбулентных потоках. Массоперенос на границе жидкость – твердое тело. Аналогия между массопередачей и теплопередачей.<br>Массопередача при одновременном протекании химической реакции. Массообмен на границе раздела газ – жидкость. Пленочная теория. Теория обновления.<br>Метод размерностей в моделировании теплообменных и массообменных процессов. | 43                | Устный 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 формулировку задачи, которую предлагается решить аналитически или численно.

Примерные варианты заданий:

##### Вариант 1.

###### Задача:

В цилиндре радиусом  $R_1=0.25$  м и высотой 1 м размещен коаксиально вращающийся с угловой скоростью 10 рад/с цилиндр радиусом 0.15 м. Определить требуемый крутящий момент на приводном валу. Свойства жидкости: плотность –  $1000 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент вязкости 10 Па·с, касательное напряжение начала сдвига – 125 Па.

##### Вариант 2.

###### Задача:

Определить диаметр поперечного сечения и длину проволочного электронагревателя мощностью 1 кВт, если максимально допустимая температура металла равна  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ , температура окружающей среды  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , а коэффициент теплоотдачи  $50 \text{ Вт/(м}^2\text{K)}$ . Перепад температур по сечению проводника найти численным интегрированием уравнения теплопроводности.

##### Вариант 3.

###### Задача:

В результате ситового анализа установлено, что объемная доля частиц провалившихся сквозь сито с размером ячейки  $d$  мкм составляет  $f$ ,

|                 |   |     |     |     |      |     |      |      |      |     |
|-----------------|---|-----|-----|-----|------|-----|------|------|------|-----|
| $d, \text{мкм}$ | 0 | 30  | 63  | 100 | 150  | 245 | 280  | 315  | 400  | 500 |
| $f$             | 0 | 0.1 | 0.4 | 0.6 | 0.73 | 85  | 0.89 | 0.92 | 0.98 | 1   |

Проверить применимость закона нормального логарифмического закона для описания экспериментально найденного распределения.

#### 4.4.2 Курсовой проект

Курсовой проект заключается проектировании единицы оборудования для реализации конкретного процесса химической технологии и состоит из графической части в объеме 1 листа формата А1 с изображением общего вида аппарата и расчетно-пояснительной записки (объемом 20-25 страниц машинописного текста), содержащей: аналитический обзор, описание технологии, разработку алгоритма и программы технологического расчета аппарата, в которой уточнено изменение теплофизических свойств газа или жидкости по мере перемещения в аппарате.

##### Примерные темы курсовых проектов

| № | Тема                     | Цели и задачи проекта  |
|---|--------------------------|--|
| 1 | Ректификационная колонна | Составить программу расчета ректификационной колонны с колпачковыми тарелками<br>Исходные данные<br>Разделяемая смесь – метиловый спирт-вода<br>Давление – 1 ата<br>Концентрация спирта в питании – 0.315 кмоль/кмоль<br>Концентрация спирта в дистилляте – 0.975 кмоль/кмоль<br>Концентрация спирта в кубовом остатке - 0.015 кмоль/кмоль<br>Производительность по питанию – $2.2 \cdot 10^3 \text{ кг/час}$<br>Рассчитать количество тарелок, диаметр и высоту тарельчатой части колонны |

| № | Тема                         | Цели и задачи проекта   |
|---|------------------------------|---|
| 2 | <i>Теплообменник типа ТН</i> | Составить программу уточненного расчета теплообменника типа ТН<br>Исходные данные<br>Нагреваемая среда – воздух, подается в трубное пространство<br>Теплоноситель – водяной пар<br>Максимальное давление пара – 0.6 МПа<br>Расход воздуха – $3.0 \cdot 10^4$ кг/час<br>Начальная температура воздуха – 20°C<br>Конечная температура воздуха – 1000°C<br>Давление воздуха до входа в теплообменник – 0.2 МПа<br>Допустимые потери давления по воздуху – 0.04 МПа<br>Программу составить с учетом изменения свойств газа и давления по длине теплообменных труб |

### 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 и защиты курсового проекта.

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

Экзамен предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуются двумя теоретическими вопросами .

Пример варианта вопросов на экзамене:

|   |
|---|
| <p>Билет № 1</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вывод уравнения неразрывности в интегральной форме. Уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости в трубке тока.</li> <li>2. Турбулентный массоперенос на границе раздела жидкость-твердое тело при стабилизированном течении.</li> </ol> |
|---|

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 Угинчус, А. А. Гидравлика и гидравлические машины: учебник для машиностроительных спец. Вузов / А. А. Угинчус. – М.: Аз-book, 2009. – 395 с.

7.2 Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов / А. Г. Касаткин. – М.: Альянс, 2014. – 752 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 Кудинов, В. А. Гидравлика: учебное пособие для вузов по направлениям подготовки (специальностям) в области техники и технологии / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 199 с.

7.5 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. – 496 с.

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

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

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

7.8 Кутателадзе, С.С. Основы теории теплообмена / С. С. Кутателадзе. М.: Химия, 1979. – 415 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 «Явления тепло-массопереноса в химической технологии» 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 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;
- взаимодействие с обучающимися посредством электронной почты.

### **10.2 Программное обеспечение.**

Microsoft Office (Microsoft Excel) или LibreOffice;  
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 «Явления тепло-массопереноса в химической технологии»**

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

| Компетенции |   |                                |
|-------------|---|--------------------------------|
| Индекс      | Формулировка <sup>2</sup>   | Этап формирования <sup>3</sup> |
| ПК-1        | <b>способностью</b> к систематическому изучению <b>научно-технической информации</b> , отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки  | промежуточный                  |
| ПК-2        | <b>умением моделировать технические объекты и технологические процессы</b> с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования, <b>готовностью проводить эксперименты по заданным методикам с 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 уравнения гидродинамики           | Правильные ответы на вопросы №1 – 14 к экзамену | ПК-1        |
| Освоение раздела № 2                              | Умеет формулировать различные задачи теплообмена | Правильные ответы на вопросы №14 – 30           | ПК-1, ПК-2  |
| Освоение раздела № 3                              | Владеет методами расчета процессов массопереноса | Правильные ответы на вопросы №30-38             | ПК-1, ПК-2  |

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):  
по дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзамена и курсового проекта, 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: закон внутреннего трения Ньютона, закон Фурье, закон Фика, закон Соре.
2. Уравнение неразрывности для сплошных однокомпонентной и двухкомпонентной сред. Источники вещества.

<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.)

3. Уравнение Навье-Стокса для несжимаемой жидкости. Физический смысл слагаемых. Условие прилипания.
4. Уравнение энергии. Физический смысл слагаемых. Источники энергии.
5. Общая постановка задач тепло-массообмена. Начальные и граничные условия.
6. Граничные условия первого рода в задачах тепло- и массопереноса. Условия применения этого условия.
7. Граничные условия второго рода в задачах тепло- и массопереноса. Условия применения этого условия.
8. Граничные условия третьего рода в задачах тепло- и массопереноса. Условия применения этого условия.
9. Граничные условия четвертого рода в задачах тепло- и массопереноса.
10. Турбулентный режим течения жидкости. Уравнение Рейнольдса. Тензор турбулентных или кажущихся напряжений.
11. Модель Прандтля для расчета турбулентных напряжений. Универсальный профиль скоростей.
12. Расчет динамической скорости через диссипацию энергии при воздействии нескольких источников турбулентности.
13. Пограничный слой при обтекании полубесконечной пластины. Оценка длины участка гидродинамической стабилизации при ламинарном и при турбулентном режимах течения жидкости в трубах.
14. Свободная турбулентность. Оценка роста ширины зоны турбулентного перемешивания вблизи свободной границы. Поле скоростей в свободной струе.
15. Формулировка задач стационарной теплопроводности при наличии и отсутствии источников теплоты. Критическая толщина теплоизоляции.
16. Формулировка задач нестационарной теплопроводности. Регулярный режим.
17. Формулировка задач конвективного теплообмена при вынужденном ламинарном течении жидкости в каналах.

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

18. Конвективный теплообмен при ламинарном обтекании тел (внешняя задача). Аналогия Рейнольдса
19. Конвективный теплообмен при свободной конвекции и ламинарном режиме. Формулировка задач.
20. Конвективный теплообмен при турбулентном режиме в трубах, при барботаже, при пленочном течении жидкости.
21. Теплообмен при конденсации насыщенного пара при ламинарном и при турбулентном режимах стекания пленки конденсата.
22. Параметры теплового пограничного слоя при обтекании полубесконечной пластины.
23. Метод пластины для измерения коэффициента теплопроводности.
24. Метод пластины для измерения относительного значения коэффициента теплопроводности
25. Метод бесконечно протяженного цилиндра для измерения коэффициента теплопроводности.
26. Метод Кольрауша для измерения коэффициента теплопроводности.
27. Квазистационарный метод измерения коэффициента теплопроводности и коэффициента диффузии
28. Метод регулярного режима для измерения коэффициента теплопроводности.
29. Аналогия процессов тепло-и массопереноса. Условия существования подобия. Критерии подобия.
30. Уравнение турбулентного теплопереноса. Тензор турбулентной температуропроводности.

31. Формулировка задач стационарной диффузии при наличии и отсутствии источников вещества.
32. Конвективный массоперенос при ламинарном режиме течения жидкости. Тройная аналогия.
33. Уравнение турбулентного массопереноса. Тензор турбулентной диффузии.
34. Простейшие модели конвективного массообмена: пленочная модель, пенетрационная модель, модель обновления Данкверста.
35. Турбулентный массоперенос на границе раздела жидкость-твердое тело при стабилизированном течении.
36. Турбулентный массоперенос на границе раздела жидкость-твердое тело при нестабилизированном течении.
37. Особенности турбулентного массопереноса на границе раздела газ-жидкость.
38. Интенсификация массопереноса при химической абсорбции.

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

**5 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 СТП

СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов.-