

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета  Ряжских В.И.  
«31» августа 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины  
«Тепломассообмен в энергетических установках»

**Направление подготовки** 15.06.01 Машиностроение

**Направленность** 05.04.13 Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты

**Квалификация выпускника** Исследователь. Преподаватель-исследователь

**Нормативный период обучения** 4 года

**Форма обучения** очная

**Год начала подготовки** 2020

**Автор программы**  /Кретинин А.В./

Заведующий кафедрой  
Нефтегазового  
оборудования и  
транспортировки

 /Валюхов С.Г./

Руководитель ОПОП

 /Валюхов С.Г./

Воронеж 2021

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1 Цели дисциплины

Цель изучения дисциплины – формирование компетенций, необходимых для осуществления расчетно-теоретических исследований процессов тепломассообмена с целью выработки рекомендаций по повышению эффективности функционирования энергетических установок; разработка методологических основ и принципов проведения расчетов тепломассообмена при проектировании и эксплуатации гидравлических машин и энергоустановок

### 1.2 Задачи освоения дисциплины

Для достижения цели ставятся задачи:

1.2.1 - изучить и освоить расчетные методики тепломассообмена в гидравлических машинах и энергетических установках на основании приближений и допущений математического моделирования;

1.2.2 - приобрести практические навыки использования современного программного обеспечения и проведения всестороннего анализа результатов исследований тепломассообмена в гидравлических машинах и энергетических установках.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Тепломассообмен в энергетических установках» относится к дисциплинам по выбору вариативной части блока Б1 учебного плана.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Тепломассообмен в энергетических установках» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-2 – способностью формулировать и решать нетиповые задачи математического, физического, конструкторского, технологического, электротехнического характера при проектировании, изготовлении и эксплуатации новой техники.

ПК-2 – способность разрабатывать математические и физические модели процессов, происходящих в объектах гидравлических систем, гидроприводов, пневматических приводов и систем гидропневмоавтоматики.

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                                                                        |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-2       | знать<br>основные физические свойства жидкостей и газов,<br>общие законы и уравнения статики, кинематики и<br>динамики жидкостей и газов |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | <p>уметь<br/>рассчитывать гидродинамические параметры потока жидкости (газа) при внешнем обтекании тел и течении в каналах (трубах), проточных частях энергоустановок</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|      | <p>владеть<br/>методиками проведения нетиповых гидродинамических расчетов энергоустановок</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| ПК-2 | <p>знать<br/>область применения, типы и принципы действия гидро-, пневмо- и газовых машин, в которых работают законы гидрогазодинамики</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|      | <p>уметь<br/>- разрабатывать математические модели тепло- и массопереноса в жидкости (газа) при внешнем обтекании тел и течении в каналах (трубах), проточных частях гидрогазодинамических машин, проводить гидравлический расчет трубопроводов и энергоустановок;<br/>- формулировать задачи явлений переноса, составлять соответствующие уравнения баланса;<br/>- решать задачи обработки экспериментальных данных и уметь составлять корректные физические и математические модели процессов и явлений энергетических систем, в которых существенно влияние гидрогазодинамических процессов</p> |
|      | <p>владеть<br/>- методиками компьютерной динамики жидкости для гидродинамических расчетов гидравлических машин и гидропневмоагрегатов;<br/>- алгоритмами компьютерной динамики жидкости как основы функционирования программных комплексов вычислительной гидрогазодинамики</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Тепломассообмен в энергетических установках» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

##### Очная форма обучения

| Вид учебной работы                | Всего часов | Семестры |   |  |  |
|-----------------------------------|-------------|----------|---|--|--|
|                                   |             | 4        | 5 |  |  |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b> |             |          |   |  |  |
| В том числе:                      |             |          |   |  |  |

|                                      |           |     |           |  |  |
|--------------------------------------|-----------|-----|-----------|--|--|
| Лекции                               | 10        |     | 10        |  |  |
| Практические занятия (ПЗ)            |           |     |           |  |  |
| Лабораторные работы (ЛР)             |           |     |           |  |  |
| <b>Самостоятельная работа</b>        | <b>98</b> |     | <b>98</b> |  |  |
|                                      |           |     |           |  |  |
| Курсовой проект (работа) (есть, нет) |           |     |           |  |  |
| Контрольная работа (есть, нет)       |           |     |           |  |  |
| Вид промежуточной аттестации (зачет) |           |     |           |  |  |
| Общая трудоемкость                   | час       | 108 | 108       |  |  |
|                                      | зач. ед.  | 3   | 3         |  |  |

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

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

#### очная форма обучения

| № п/п | Наименование темы        | Содержание раздела                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Лекц | СРС | Всего, час |
|-------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|------------|
| 1.    | Введение. Общие сведения | Общие понятия. Основные процессы передачи теплоты. Теплоотдача. Теплопередача. Макроскопический характер учения о теплообмене. Современные проблемы теплоотдачи. Вклад отечественных ученых в развитие изучаемой дисциплины. Механизм процесса теплопроводности в газах, жидкостях, металлах, твердых диэлектриках. Температурное поле. Тепловой поток, плотность теплового потока. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности для процессов теплопроводности. Закон Ньютона-Рихмана | 2    | 22  | 24         |
| 2.    | Теплопроводность         | Передача теплоты через однослойную и многослойную плоские стенки при граничных условиях 1 и 3 рода. Распределение температуры при постоянном и переменном коэффициентах теплопроводности. Коэффициент теплопередачи. Передача теплоты через однослойную и многослойную цилиндрические стенки при граничных условиях 1 и 3 рода. Линейный коэффициент теплопередачи. Критический диаметр изоляции. Передача теплоты через шаровую стенку                                                                                   | 2    | 20  | 22         |
| 3.    | Конвективный теплообмен. | Теплоотдача в однофазных жидкостях и при фазовых и химических превращениях, при вынужденной и естественной конвекции. Физические свойства жидкости, существенные для процессов течения и теплоотдачи                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 1    | 8   | 9          |
| 4.    | Теплообмен излучением    | Основные понятия и законы. Природа теплового излучения. Лучистый поток. Плотность лучистого потока. Интенсивность излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способность тел. Законы излучения абсолютно черного тела: закон Планка; закон Вина. Серое тело. Закон Стефана-Больцмана. Степень черноты. Закон                                                                                                                                                                                              | 2    | 20  | 22         |

|              |                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |           |           |            |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|------------|
|              |                                                                         | Кирхгофа для монохроматического и интегрального излучения. Закон Ламберта                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |           |            |
| 5.           | Процессы тепло- и массообмена                                           | Основные положения теории массообмена. Термо- и бародиффузия. Закон Фика. Коэффициент диффузии, факторы, влияющие на коэффициент диффузии. Конвективный массообмен как совокупность молярного и молекулярного переноса вещества. Плотность потока массы в процессе конвективного массообмена. Диффузионный пограничный слой. Система дифференциальных уравнений диффузионного пограничного слоя. Граничные условия на поверхности раздела фаз. | 2         | 20        | 22         |
| 6.           | Основы теплового и гидравлического расчёта двигателей и энергоустановок | Общие сведения. Назначение теплообменников. Их классификация по принципу действия. Основы теплового и гидравлического расчета теплообменников. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи                                                                                                                                                                                                                                           | 1         | 8         | 9          |
| <b>Итого</b> |                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>10</b> | <b>98</b> | <b>108</b> |

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Тепломассообмен в энергетических установках» не предусматривает выполнение реферата.

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

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

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

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

«аттестован»;

«не аттестован».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                                                               | Критерии оценивания                                                                  | Аттестован                                                    | Не аттестован                                                   |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| ОПК-2       | знать основные физические свойства жидкостей и газов, общие законы и уравнения статики, кинематики и динамики жидкостей и газов | Активная работа на лекционных занятиях, отвечает на теоретические вопросы при зачете | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | уметь рассчитывать гидродинамические параметры потока                                                                           | Решение стандартных практических задач во время самостоятельной работы               | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих            | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих            |

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                          |                                                               |                                                                 |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|      | жидкости (газа) при внешнем обтекании тел и течении в каналах (трубах), проточных частях энергоустановок                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                          | программах                                                    | программах                                                      |
|      | владеть методиками проведения нетиповых гидродинамических расчетов энергоустановок                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Решение прикладных задач в конкретной предметной области во время самостоятельной работы | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| ПК-2 | знать область применения, типы и принципы действия гидро-, пневмо- и газовых машин, в которых работают законы гидрогазодинамики                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Активная работа на лекционных занятиях, отвечает на теоретические вопросы при зачете     | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|      | уметь<br>- разрабатывать математические модели тепло- и массопереноса в жидкости (газа) при внешнем обтекании тел и течении в каналах (трубах), проточных частях гидрогазодинамических машин, проводить гидравлический расчет трубопроводов и энергоустановок;<br>- формулировать задачи явлений переноса, составлять соответствующие уравнения баланса;<br>- решать задачи обработки экспериментальных данных и уметь составлять корректные физические и математические модели процессов и явлений энергетических систем, в которых существенно влияние гидрогазодинамических процессов | Решение стандартных практических задач во время самостоятельной работы                   | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|      | владеть<br>- методиками компьютерной динамики жидкости для гидродинамических расчетов гидравлических машин и гидропневмоагрегатов;<br>- алгоритмами компьютерной динамики жидкости как основы функционирования                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Решение прикладных задач в конкретной предметной области во время самостоятельной работы | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |

|  |                                                               |  |  |  |
|--|---------------------------------------------------------------|--|--|--|
|  | программных комплексов<br>вычислительной<br>гидрогазодинамики |  |  |  |
|--|---------------------------------------------------------------|--|--|--|

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5 семестре по системе:

«зачтено»;

«не зачтено»

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Критерии оценивания | Зачтено                     | Не зачтено                 |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|
| ОПК-2       | знать<br>основные физические свойства жидкостей и газов, общие законы и уравнения статики, кинематики и динамики жидкостей и газов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Тест                | Выполнение теста на 70-100% | Выполнение теста менее 70% |
|             | уметь<br>рассчитывать гидродинамические параметры потока жидкости (газа) при внешнем обтекании тел и течения в каналах (трубах), проточных частях энергоустановок                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Тест                | Выполнение теста на 70-100% | Выполнение теста менее 70% |
|             | владеть методиками проведения нетиповых гидродинамических расчетов энергоустановок                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Тест                | Выполнение теста на 70-100% | Выполнение теста менее 70% |
| ПК-2        | знать<br>область применения, типы и принципы действия гидро-, пневмо- и газовых машин, в которых работают законы гидрогазодинамики                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Тест                | Выполнение теста на 70-100% | Выполнение теста менее 70% |
|             | уметь<br>- разрабатывать математические модели тепло- и массопереноса в жидкости (газа) при внешнем обтекании тел и течения в каналах (трубах), проточных частях гидрогазодинамических машин, проводить гидравлический расчет трубопроводов и энергоустановок;<br>- формулировать задачи явлений переноса, составлять соответствующие уравнения баланса;<br>- решать задачи обработки экспериментальных данных и уметь составлять корректные физические и математические модели процессов и явлений энергетических систем, в которых существенно влияние | Тест                | Выполнение теста на 70-100% | Выполнение теста менее 70% |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |                             |                            |
|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------------------------|----------------------------|
|  | гидрогазодинамических процессов                                                                                                                                                                                                                                        |      |                             |                            |
|  | владеть<br>- методиками компьютерной динамики жидкости для гидродинамических расчетов гидравлических машин и гидропневмоагрегатов;<br>- алгоритмами компьютерной динамики жидкости как основы функционирования программных комплексов вычислительной гидрогазодинамики | Тест | Выполнение теста на 70-100% | Выполнение теста менее 70% |

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

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Теплопроводность – это:

- а) процесс распространения тепловой энергии при непосредственном соприкосновении отдельных частиц тела, имеющих разные температуры;
- б) перенос тепловой энергии при перемещении объемов жидкости или газа;
- в) распространение тепловой энергии с помощью электромагнитных волн;
- г) передача теплоты от горячей жидкости к холодной через разделяющую их стенку.

2. Единицы измерения коэффициента теплопроводности:

- а) Вт/ м град;
- б) м 0С/ Вт<sup>2</sup> ;
- в) м/ Вт;
- г) м/ 0С.

3. Одинаковые единицы измерения имеют следующие коэффициенты:

- а) теплопроводности и теплоотдачи;
- б) теплоотдачи и теплопередачи;
- в) теплопроводности и теплопередачи;
- г) температуропроводности и теплопередачи.

4. При поглощении электромагнитных волн другими телами они превращаются:

- а) в солнечную энергию;
- б) в тепловую энергию;
- в) в лучистую энергию;
- г) ни во что не превращаются.

5. Если горячая и холодная жидкости в теплообменном аппарате движутся параллельно и в одном направлении, то такая схема движения теплоносителей называется:

- а) противоток;



- б) перекрестный ток;
- в) прямоток;
- г) параллельный ток.

6. Процесс теплопередачи через стенку включает в себя:

- а) теплоотдачу от греющей среды к стенке;
- б) теплоотдачу от греющей среды к стенке и теплопроводность через стенку;
- в) теплоотдачу от греющей среды к стенке, теплопроводность через стенку и теплоотдачу от стенки к нагреваемой среде;
- г) теплопроводность через стенку и теплоотдачу от стенки к нагреваемой среде.

7. Нестационарными процессами теплопроводности называют такие процессы, когда:

- а) температура во времени не меняется;
- б) с течением времени температура изменяется;
- в) давление с течением времени не меняется;
- г) относительная влажность с течением времени изменяется.

8. 1 Ватт численно равен:

- а) 1 Дж/с;
- б) 10 Дж/с;
- в) 100 Дж/с;
- г) 1000 Дж/с.

9. Абсолютно черные тела – это тела, способные:

- а) поглощать полностью тепловые лучи;
- б) отражать тепловые лучи;
- в) излучать энергию.

### **7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач**

1. Процессы нестационарной теплопроводности характеризует критерий:

- а) Нуссельта;
- б) Фурье;
- в) Грасгофа;
- г) Прандтля.

2. График распределения температур для цилиндрической стенки представляет собой:

- а) логарифмическую кривую;
- б) прямую линию;
- в) гиперболу;
- г) экспоненту.

3. При одинаковых условиях коэффициент теплоотдачи от труб шахматного пучка:

- а) меньше, чем от труб коридорного пучка;
- б) больше, чем от труб коридорного пучка;
- в) на порядок меньше, чем от труб коридорного пучка;

г) равен коэффициенту теплоотдачи от труб коридорного пучка.

4. Материал с каким коэффициентом теплопроводности является теплоизоляционным:

- а) 0,15 Вт/м град;
- б) 10 Вт/м град;
- в) 40 Вт/м град;
- г) 100 Вт/м град.

5. При ламинарном течении перенос теплоты осуществляется путем:

- а) теплопроводности;
- б) теплоотдачи;
- в) теплопередачи;
- г) конвекции.

6. Поверхность, необходимая для передачи теплового потока  $Q$  от горячего теплоносителя к холодному, определяется из:

- а) уравнения Ньютона-Рихмана;
- б) уравнения теплового баланса;
- в) уравнения Фурье;
- г) уравнения теплопередачи.

7. Коэффициент теплопередачи имеет большее значение при:

- а) прямотоке;
- б) противотоке;
- в) перекрестном токе;
- г) не зависит от схемы движения.

8. Возрастание температуры по нормали характеризуется:

- а) вектором температуры;
- б) градиентом температуры;
- в) единичным вектором;
- г) проекцией вектора на ось.

9. Термоэлектрический пирометр состоит из:

- а) потенциометра;
- б) термопар и потенциометра;
- в) холодного спая;
- г) горячего спая.

10. Какая из функций определяет одномерное нестационарное температурное поле?

- а)  $T = f(x, y, z)$ ;
- б)  $T = f(x)$ ;
- в)  $T = f(x, \tau)$ ;
- г)  $T = f(x, y, \tau)$

### **7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

1. Как изменяется коэффициент теплопроводности большинства чистых металлов при увеличении температуры?

- а) Увеличивается;

- б) Уменьшается;
- в) Не изменяется

2. Как изменяется коэффициент теплопроводности теплоизоляционных и строительных материалов при увеличении температуры?

- а) Увеличивается;
- б) Уменьшается;
- в) Не изменяется

3. Какой теплообменный аппарат имеет наибольший КПД ?

- а) Прямоточного тока;
- б) Противоточного тока;
- в) Поперечного тока

4. В каком сечении вдоль вертикальной трубы в случае свободного ламинарного движения потока значение коэффициента теплоотдачи будет наибольшим?

- а) В верхнем сечении;
- б) В среднем сечении;
- в) В нижнем сечении

5. Какой параметр является определяющим при расчете величины  $\alpha$  горизонтальной трубы при свободном движении воздуха?

- а) Длина;
- б) Диаметр;
- в) Температура

6. Что называется кипением?

- а) Процесс парообразования, при котором внутри жидкости образуются новые свободные поверхности раздела жидкой и паровой фаз;
- б) Процесс парообразования, при котором внутри жидкости, нагретой выше температуры насыщения образуются новые свободные поверхности раздела жидкой и паровой фаз;
- в) Процесс парообразования, при котором внутри жидкости, находящейся при атмосферном давлении образуются новые свободные поверхности раздела жидкой и паровой фаз.

7. Условие кипения на твердой поверхности -

- а) Кипение на твердой поверхности теплообмена возникает тогда, когда температура поверхности теплообмена выше температуры кипящей жидкости, нагретой выше температуры насыщения при данном давлении;
- б) Кипение на твердой поверхности теплообмена возникает тогда, когда температура поверхности теплообмена ниже температуры кипящей жидкости, нагретой выше температуры насыщения при данном давлении;
- в) Кипение на твердой поверхности теплообмена возникает тогда, когда температура поверхности теплообмена ниже температуры кипящей жидкости, нагретой ниже температуры насыщения при данном давлении.

8. Что называется диффузией?

- а) Самопроизвольный процесс проникновения молекул одного вещества в другое в направлении установления внутри тел равновесной концентрации;

б) Процесс проникновения молекул одного вещества в другое в направлении установления внутри тел различной концентрации;

в) Самопроизвольный процесс проникновения молекул одного вещества в другое в направлении установления внутри тел равновесного давления

9. Что называется массообменом?

а) Переход вещества из одной фазы в другую посредством молярной диффузии;

б) Переход вещества из одной фазы в другую посредством молекулярной и молярной диффузии;

в) Переход вещества из одной фазы в другую посредством молярной диффузии

10. Сформулировать закон Фика.

а) Плотность диффузионного потока вещества (количество вещества, диффундирующего в единицу времени через единицу площади из концентрационной поверхности) прямо пропорциональна градиенту концентраций;

б) Плотность диффузионного потока вещества (количество вещества, диффундирующего в единицу времени через единицу площади из концентрационной поверхности) обратно пропорциональна градиенту концентраций;

в) Плотность диффузионного потока вещества (количество вещества, диффундирующего в единицу времени через единицу площади из концентрационной поверхности) прямо не зависит от градиента концентраций.

11. Каким образом может быть удалена из вещества химически связанная влага?

а) Только путем интенсивного прокаливания, которое обычно связано с изменением структуры вещества;

б) Только путем прокаливания, которое не связано с изменением структуры вещества;

в) Только путем интенсивного прокаливания, которое обычно связано с изменением формы вещества.

12. Что характеризует критерий Лыкова?

а) Гомохронность полей переноса теплоты и массы вещества;

б) Интенсивность поля влажности по сравнению с интенсивностью температурного поля;

в) Зависимость влажности тела от его температуры

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

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

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

24. Анализ решения задачи нестационарной теплопроводности пластины в предельных случаях малых и больших чисел Био и Фурье. Регулярный режим.
25. Дифференциальное уравнение энергии.
26. Дифференциальное уравнение движения (Навье-Стокса).
27. Формулировка краевых задач теплопроводности: начальные условия, граничные условия четырех родов.
28. Явление отрыва пограничного слоя. Влияние гидродинамики потока на локальную и среднюю теплоотдачу.
29. Теплоотдача при течении газов с большой скоростью.
30. Жидкометаллический теплоносители, теплоотдача.
31. Теплоотдача в разреженных газах.
32. Пленочная и капельная конденсация. Термические сопротивления при конденсации. Условия взаимодействия на границе раздела фаз.
33. Влияние скорости пара при конденсации. Конденсация на горизонтальных трубах и пучках труб.
34. Теплообмен при конденсации практически неподвижного пара в условиях ламинарного и турбулентного режимов течения пленки конденсата.
35. Кипение в большом объеме. Пузырьковый и пленочный режимы. Условия возникновения паровой фазы, критический радиус пузырька. Число центров парообразования.
36. Механизм теплоотдачи и расчетные соотношения при пузырьковом режиме кипения. Расчет критической плотности теплового потока.
37. Структура двухфазного потока и теплообмена при кипении внутри труб. Кризис кипения.
38. Теплообмен при сублимации вещества.
39. Тепломассообмен при конденсации смеси паров и пара из парогазовой смеси. Зависимость интенсивности теплообмена от содержания неконденсирующегося компонента.
40. Аналогия между процессами переноса массы и теплоты. Величины - аналоги. Методика приближенного определения коэффициента массоотдачи на основе аналогии.
41. Дифференциальные уравнения конвективного массообмена в двухкомпонентных средах. Краевые условия. Коэффициент массоотдачи.
42. Характеристики двухкомпонентных сред. Потоки массы компонентов смеси. Концентрационная диффузия. Закон Фика. Перенос теплоты в двухкомпонентных средах.
43. Применение законов излучения к серым телам.
44. Расчет лучистого теплообмена между излучающей средой и поверхностью твердого тела.
45. Особенности теплообмена излучением в поглощающей среде (газах и парах).
46. Теплообмен излучением в замкнутой системе серых тел. Частные случаи: тела с плоскопараллельными поверхностями и экранами между ними; тела, одно из которых находится в полости другого.

47. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой.

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

49. Основные понятия и законы теплового излучения.

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

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Код контролируемой компетенции (или ее части) | Наименование оценочного средства |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------|
| 1     | Общие понятия. Основные процессы передачи теплоты. Теплоотдача. Теплопередача. Макроскопический характер учения о теплообмене. Современные проблемы теплоотдачи. Вклад отечественных ученых в развитие изучаемой дисциплины. Механизм процесса теплопроводности в газах, жидкостях, металлах, твердых диэлектриках. Температурное поле. Тепловой поток, плотность теплового потока. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности для процессов теплопроводности. Закон Ньютона-Рихмана | ОПК-2, ПК-2                                   | Тест, зачет, устный опрос        |
| 2     | Передача теплоты через однослойную и многослойную плоские стенки при граничных условиях 1 и 3 рода. Распределение температуры при постоянном и переменном коэффициентах теплопроводности. Коэффициент теплопередачи. Передача теплоты через однослойную и многослойную цилиндрические стенки при граничных условиях 1 и 3 рода. Линейный коэффициент теплопередачи. Критический диаметр изоляции. Передача теплоты через шаровую стенку                                                                                   | ОПК-2, ПК-2                                   | Тест, зачет, устный опрос        |
| 3     | Теплоотдача в однофазных жидкостях и при фазовых и химических превращениях, при вынужденной и естественной конвекции. Физические свойства жидкости, существенные для процессов течения и теплоотдачи                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ОПК-2, ПК-2                                   | Тест, зачет, устный опрос        |
| 4     | Основные понятия и законы. Природа теплового излучения. Лучистый поток. Плотность лучистого потока. Интенсивность излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способность тел. Законы излучения абсолютно черного тела: закон Планка; закон Вина. Серое тело. Закон Стефана-Больцмана. Степень черноты. Закон Кирхгофа для монохроматического и интегрального излучения. Закон Ламберта                                                                                                                    | ОПК-2, ПК-2                                   | Тест, зачет, устный опрос        |
| 5     | Основные положения теории массообмена. Термо- и бародиффузия. Закон Фика. Коэффициент диффузии, факторы, влияющие на коэффициент диффузии. Конвективный массообмен как совокупность молярного и молекулярного переноса вещества. Плотность потока массы в процессе конвективного массообмена. Диффузионный пограничный слой. Система дифференциальных уравнений диффузионного пограничного слоя. Граничные условия на поверхности раздела фаз                                                                             | ОПК-2, ПК-2                                   | Тест, зачет, устный опрос        |
| 6     | Общие сведения. Назначение теплообменников. Их классификация по принципу действия. Основы теплового и гидравлического расчета теплообменников. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ОПК-2, ПК-2                                   | Тест, зачет, устный опрос        |

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

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

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

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

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

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

1. Глушаков, А.Н. Гидрогазодинамика теплообменных аппаратов : Учеб. пособие. - Воронеж : ВПИ, 1985. - 77 с. - 0-15.
2. Босворт, Р.Ч.Л. Процессы теплового переноса / Пер. с англ. Б. Б. Доценко; Под ред. Ю. А. Суринова. - Москва : Гостехтеориздат, 1957. - 275 с. - 12-30.
3. Кутателадзе, С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление : Справ. пособие. - М. : Энергоатомиздат, 1990. - 367 с. : ил. - ISBN 5-283-00061-3 : 17.00.
4. Гидравлика. Современные проблемы гидродинамики и теплообмена в элементах энергетических установок и криогенной техники : Межвуз. сб. науч. тр. Вып.6 / Под ред. Л. Н. Добровольского. - Москва : ВЗМИ, 1978. - 140 с. - 1-00.

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



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

1. Электронная информационно-образовательная среда университета  
<http://eios.vorstu.ru>

2. Консультирование посредством электронной почты

3. Использование презентаций при проведении лекционных занятий

4. Приобретение знаний в процессе общения со специалистами в области математического моделирования на профильных специализированных сайтах (форумах)

5. Программное обеспечение: **Лицензия ПО ANSYS** (Лиц. № 1020620 ВГТУ)

ANSYS DesignModeler

ANSYS CFD Premium

ANSYS Mechanical Enterprise

ANSYS HPC Pack

ANSYS Geometry Interface for Parasolid

ANSYS Student (бесплатная версия)

[www.ansys.com/Industries/Academic/Student+Product](http://www.ansys.com/Industries/Academic/Student+Product)

6. Рекомендуемая литература в виде электронных ресурсов представлена на сайте ВГТУ (электронный каталог научно-технической библиотеки):

[http://catalog.vorstu.ru/MarcWeb/Work.asp?ValueDB=41&DisplayDB=vgtu\\_lib](http://catalog.vorstu.ru/MarcWeb/Work.asp?ValueDB=41&DisplayDB=vgtu_lib)

7. Электронно-библиотечная система «Лань» (доступ с компьютеров ВУЗа) <http://e.lanbook.com>

8. Информационно-аналитическая система SCINCE INDEX  
<http://elibrary.ru/>

9. Сайт Министерства энергетики РФ, раздел «Нефтегазовый комплекс» (<http://minenergo.gov.ru/activity/oilgas/>);

10. Официальные сайты предприятий нефтегазового комплекса (например, [www.gazprom.ru](http://www.gazprom.ru), [www.tnk-bp.ru/](http://www.tnk-bp.ru/));

11. Сайт компании ANSYS <http://www.ansys.com/>

12. Сайт компании CADFEM <http://www.cadfem-cis.ru/>

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

|            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>9.1</b> | <b>Специализированная лекционная аудитория 109/2</b> , оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой                                                                                                                                                                           |
| <b>9.2</b> | <b>Проектно-конструкторский центр</b> по договору между ОАО Турбонасос и ФГБОУ ВПО ВГТУ №132/316-13 от 29 ноября 2013 года на создание и обеспечение деятельности базовой кафедры нефтегазового оборудования и транспортировки (базовой кафедры) созданной при базовой организации (компьютеры – 15 шт, МФУ А0)) |

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

По дисциплине «Тепломассообмен в энергетических установках» читаются лекции, выполняется самостоятельная работа.

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

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

Контроль усвоения материала дисциплины производится путем зачета.

| Вид учебных занятий                   | Деятельность студента                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Лекция                                | Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.              |
| Самостоятельная работа                | Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования.<br>Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"><li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li><li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li><li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li><li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li><li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li></ul> |
| Подготовка к промежуточной аттестации | Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

### Лист регистрации изменений

| №<br>п/п | Перечень вносимых изменений                                                                                                                                                                                            | Дата<br>внесения<br>изменений | Подпись заведующего<br>кафедрой,<br>ответственной за<br>реализацию ОПОП               |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | Актуализированы разделы 8.1 и 8.2 в части обеспеченности учебной литературы и состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем | 30.08.2018                    |    |
| 2        | Актуализированы разделы 8.1 и 8.2 в части обеспеченности учебной литературы и состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем | 31.08.2019                    |    |
| 3        | Актуализированы разделы 8.1 и 8.2 в части обеспеченности учебной литературы и состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем | 31.08.2020                    |  |
|          |                                                                                                                                                                                                                        |                               |                                                                                       |