

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

**Б1.О.30**

Топливо и процессы горения в теплоэнергетических установках

Учебный план:

ФГОС3++z130301-23\_21-15.plx

Кафедра: **24** Промышленной теплоэнергетики

Направление подготовки:  
(специальность) 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки: Промышленная теплоэнергетика  
(специализация)

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: заочная

### План учебного процесса

| Семестр<br>(курс для ЗАО) | Контактная работа обучающихся |                   |              | Сам.<br>работа | Контроль,<br>час. | Трудоё<br>мкость,<br>ЗЕТ | Форма<br>промежуточной<br>аттестации |                             |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------|--------------|----------------|-------------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
|                           | Лекции                        | Практ.<br>занятия | Лаб. занятия |                |                   |                          |                                      |                             |
| 3                         | УП                            | 8                 | 4            | 4              | 119               | 9                        | 4                                    | Экзамен, Курсовая<br>работа |
|                           | РПД                           | 8                 | 4            | 4              | 119               | 9                        | 4                                    |                             |
| Итого                     | УП                            | 8                 | 4            | 4              | 119               | 9                        | 4                                    |                             |
|                           | РПД                           | 8                 | 4            | 4              | 119               | 9                        | 4                                    |                             |

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 г. № 143

Составитель (и):

Кандидат технических наук, доцент

Белоусов В.Н.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой промышленной  
теплоэнергетики

Сморозин С.Н.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Сморозин С.Н.

Методический отдел:

Смирнова В.Г.

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** Сформировать компетенции обучающегося в области эффективного использования способов и технологий сжигания органического топлива.

**1.2 Задачи дисциплины:**

- Рассмотреть теплотехнические характеристики различных видов топлива
- Раскрыть принципы материального и теплового баланса процесса горения
- Продемонстрировать особенности различных способов сжигания, горелочных устройств и систем подготовки топлива

**1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:**

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Котельные установки и парогенераторы

Тепломассообмен

Физика для теплоэнергетиков

Математика

Физика

Химия

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

|  |
|--|
| <b>ОПК-3: Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах</b>                                   |
| <b>Знать:</b> состав и теплотехнические характеристики различных видов топлива; способы сжигания топлива; способы подготовки топлива к сжиганию; конструкции топочных устройств; кинетику процессов горения. |
| <b>Уметь:</b> составлять материальный и тепловой баланс процесса горения твёрдого, жидкого и газообразного топлива   |
| <b>Владеть:</b> расчетами топочных устройств по заданным методикам   |

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

| Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий   | Семестр<br>(курс для<br>ЗАО) | Контактная работа |               |                | СР<br>(часы) | Инновац.<br>формы<br>занятий |
|---|------------------------------|-------------------|---------------|----------------|--------------|------------------------------|
|   |                              | Лек.<br>(часы)    | Пр.<br>(часы) | Лаб.<br>(часы) |              |                              |
| Раздел 1. Виды органического топлива  | 3                            |                   |               |                |              |                              |
| Тема 1. Теплотехнические характеристики твёрдого топлива. Состав топлива. Виды исходной массы топлива. Влажность. Зольность. Выход летучих. Лабораторная работа №1. Определение влажности твёрдого топлива<br>Лабораторная работа №2. Определение зольности твёрдого топлива<br>Лабораторная работа №3. Определение выхода летучих веществ<br>Лабораторная работа №4. Определение теплоты сгорания топлива<br>Лабораторная работа №5. Определение температуры вспышки жидкого топлива<br>Лабораторная работа №6. Определение гранулометрического состава угольной пыли<br>Лабораторная работа №7. Анализ продуктов неполного горения методом газовой хроматографии<br>веществ и свойства коксового остатка.<br>Теплота сгорания топлива |                              | 1,5               | 1             | 4              | 10           | ГД                           |
| Тема 2. Способы переработки топлива. Обогащение твёрдого топлива. Гравитационный и флотационный способ обогащения. Классификация твёрдого топлива. Бурые и каменные угли, антрациты.  |                              | 0,5               |               |                | 5,5          | ГД                           |
| Тема 3. Свойства жидкого топлива. Плотность, вязкость, температура вспышки, температура воспламенения, температура самовоспламенения, температура застывания. Марки мазута.   |                              | 0,5               |               |                | 10           | ГД                           |
| Тема 4. Свойства газообразного топлива. Природный, нефтепромысловый и искусственные газы. Нижний и верхний концентрационные пределы взрываемости.   |                              | 0,5               |               |                | 10,5         | ГД                           |
| Раздел 2. Способы сжигания топлива  |                              |                   |               |                |              |                              |

|  |     |     |  |    |    |
|--|-----|-----|--|----|----|
| Тема 5. Слоевое и факельное сжигание. Виды слоевых топок. Сжигание в кипящем слое. Стационарный и циркуляционный кипящий слой. Достоинства и недостатки различных способов сжигания.   | 0,5 |     |  | 4  | ГД |
| Тема 6. Вихревое сжигание. Циклонные предтопки. Низкотемпературное вихревое сжигание, топка Померанцева. Кольцевая топка.  | 0,5 |     |  | 4  | ГД |
| Тема 7. Системы пылеприготовления. СПП с прямым вдуванием пыли. СПП с промежуточным бункером. Мельничное оборудование. Шаровые барабанные мельницы. Валковые мельницы. Молотковые мельницы. Ситовый анализ топлива.  | 0,5 |     |  | 10 | ГД |
| Тема 8. Горелки и форсунки. Классификация горелок. Вихревые горелки. Компоновка горелок. Механические, паровые и комбинированные форсунки.   | 0,5 |     |  | 10 | ГД |
| Раздел 3. Статика горения  |     |     |  |    |    |
| Тема 9. Материальный баланс процесса горения. Стехиометрические реакции горения. Теоретический объем воздуха и продуктов сгорания.   | 0,5 | 0,5 |  | 10 | ГД |
| Тема 10. Коэффициент избытка воздуха. Выбор оптимального значения коэффициента избытка воздуха. Действительный объем воздуха и продуктов сгорания.   | 0,5 | 0,5 |  | 5  | ГД |
| Тема 11. Тепловой баланс процесса горения. Располагаемая теплота топлива. Потери теплоты от химического и механического недожога. Температура горения. Графоаналитический метод определения температуры в камере сгорания. Адиабатная и теоретическая температура горения. | 0,5 | 0,5 |  | 10 | ГД |
| Раздел 4. Динамика горения   |     |     |  |    |    |

|   |  |      |     |   |       |    |
|---|--|------|-----|---|-------|----|
| Тема 12. Кинетика процесса горения. Гомогенное и гетерогенное горение. Скорость реакции горения. Кинетические константы: константа химической реакции и энергия активации. Тепловой эффект реакции. Закон Аррениуса. Закон Максвелла-Больцмана. |  | 0,5  | 0,5 |   | 10    | ГД |
| Тема 13. Диффузионно-кинетическая теория горения. Кинетическая, диффузионная и переходная области горения. Определяющий фактор.   |  | 0,5  | 0,5 |   | 10    | ГД |
| Тема 14. Экология в энергетике. Оксиды азота и серы, механизм их образования. Способы снижения вредных выбросов: рециркуляция дымовых газов, нестехиометрическое сжигание, ступенчатое сжигание. Малотоксичные горелки.                         |  | 0,5  | 0,5 |   | 10    | ГД |
| Итого в семестре (на курсе для ЗАО)   |  | 8    | 4   | 4 | 119   |    |
| Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен, Курсовая работа)  |  | 2,5  |     |   | 6,5   |    |
| <b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>   |  | 18,5 |     |   | 125,5 |    |

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

- 4.1 Цели и задачи курсовой работы (проекта):**
1. Расчёт процесса горения различных видов топлива.
  2. Составление материального и теплового баланса процесса горения.
  3. Определение теоретических и действительных объёмов воздуха и продуктов сгорания.
  4. Расчёт температуры в камере сгорания.
  5. Определение состава продуктов сгорания.

**4.2 Тематика курсовой работы (проекта):** Расчёт камеры сгорания и камеры смешения для получения сушильного агента

Исходные данные для расчета:

Расход энергоносителя,  $G_{эн}$ , мЗ/с 1

Температура энергоносителя,  $\vartheta_{эн}$ , °C 450

Потери тепла  $q_5$  в камере сгорания, % 1,5

Потери тепла  $q_{5.см}$  в камере смешения, % 1,7

Вид топлива Антрацит

Бассейн / марка Донецкий

Состав твёрдого и жидкого топлива, %

Влажность,  $W_f$  % 8,5

Зольность,  $A_f$  % 22,9

Сера,  $S_{гo+P}$  % 1

Углерод,  $Cr$  % 63,8

Водород,  $H_f$  % 1,2

Азот,  $N_f$  % 0,6

Кислород,  $O_f$  % 1,3

**4.3 Требования к выполнению и представлению результатов курсовой работы (проекта):**

Работа выполняется обучающимися индивидуально, с использованием методик расчёта материального и теплового баланса процесса горения, справочной литературы и материалов лекций.

Результаты представляются в виде отчёта, объемом 10-15 листов печатного текста, содержащего следующие обязательные элементы:

- эскиз расчётной схемы,
- расчёты,

- график определения температуры в камере сгорания.

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения

#### 5.1.1 Показатели оценивания

| Код компетенции | Показатели оценивания результатов обучения  | Наименование оценочного средства   |
|-----------------|---|--|
| ОПК-3           | Имеет представления о составе и теплотехнических характеристиках различных видов топлива, способах сжигания топлива, способах подготовки топлива к сжиганию, конструкциях топочных устройств и кинетике процессов горения. Может составить материальный и тепловой баланс процесса горения твёрдого, жидкого и газообразного топлива. Обладает навыками расчета топочных устройств по заданным методикам. | Вопросы для устного собеседования, практико-ориентированное задание, курсовая работа |

#### 5.1.2 Система и критерии оценивания

| Шкала оценивания        | Критерии оценивания сформированности компетенций   |  |
|-------------------------|--|--|
|                         | Устное собеседование   | Письменная работа  |
| 5 (отлично)             | Полный, исчерпывающий ответ, явно демонстрирующий глубокое понимание предмета и широкую эрудицию в оцениваемой области. Критический, оригинальный подход к материалу.  | Обучающийся демонстрирует правильное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных формул для ее решения, знание размерностей физических величин. Умеет применять математический аппарат для реализации плана решения задачи и, если это необходимо, может представить его графически. Получил правильный ответ и может его интерпретировать. Критическое и разностороннее рассмотрение вопросов, свидетельствующее о значительной самостоятельной работе с источниками. Качество исполнения всех элементов задания полностью соответствует всем требованиям. |
| 4 (хорошо)              | Ответ стандартный, в целом качественный, основан на всех обязательных источниках информации. Присутствуют небольшие пробелы в знаниях или несущественные ошибки.   | Обучающийся демонстрирует достаточное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора формул для ее решения, знание размерностей физических величин. Допускает незначительные погрешности при применении математического аппарата для реализации плана решения задачи. Получил правильный ответ, но испытывает затруднения с его интерпретацией. Работа выполнена в соответствии с заданием. Имеются отдельные несущественные ошибки или отступления от правил оформления работы.  |
| 3 (удовлетворительно)   | Ответ неполный, основанный только на лекционных материалах. При понимании сущности предмета в целом присутствуют существенные ошибки или пробелы в знаниях сразу по нескольким темам, незнание (путаница) важных терминов. | Обучающийся вникает в смысл условия задачи, понимает план ее решения, однако, не может в полной мере с помощью математического аппарата реализовать ее решение. Знает размерности физических величин, может сделать рисунок или схему, поясняющую решение задачи. Задание выполнено полностью, но с многочисленными существенными ошибками. При этом нарушены правила оформления или сроки представления работы.   |
| 2 (неудовлетворительно) | Неспособность ответить на вопрос без помощи экзаменатора. Незнание   | Обучающийся не может проанализировать условие задачи, наметить план ее решения,  |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  | <p>значительной части принципиально важных элементов дисциплины. Многочисленные грубые ошибки.</p> | <p>выбрать формулы и плохо ориентируется в физических величинах, не владеет математическим аппаратом. Представление чужой работы, отказ от выполнения задания. Отсутствие одного или нескольких обязательных элементов задания, либо многочисленные грубые ошибки в работе, либо грубое нарушение правил оформления или сроков представления работы. Представление чужой работы, плагиат, либо отказ от представления работы.</p> |
|--|--|---|

## 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

### 5.2.1 Перечень контрольных вопросов

| № п/п  | Формулировки вопросов   |
|--------|---|
| Курс 3 |   |
| 1      | Сжигание в плотном слое   |
| 2      | Стационарный и циркуляционный кипящий слой                            |
| 3      | Факельный способ сжигания   |
| 4      | Высокотемпературное вихревое сжигание                                 |
| 5      | Низкотемпературное вихревое сжигание                                  |
| 6      | Кольцевая топка   |
| 7      | Подготовка твёрдого топлива к сжиганию                                |
| 8      | Системы пылеприготовления   |
| 9      | Мельничное оборудование   |
| 10     | Ситовый анализ топлива  |
| 11     | Классификация и компоновка горелок                                    |
| 12     | Мазутные форсунки   |
| 13     | Материальный баланс процесса горения твёрдого и жидкого топлива       |
| 14     | Материальный баланс процесса горения газообразного топлива            |
| 15     | Коэффициент избытка воздуха   |
| 16     | Тепловой баланс процесса горения                                      |
| 17     | Графоаналитический метод определения температуры горения              |
| 18     | Кинетика процесса горения   |
| 19     | Энергия активации, закон Максвелла-Больцмана, тепловой эффект реакции |
| 20     | Закон Аррениуса. Скорость химической реакции                          |
| 21     | Диффузионно-кинетическая теория горения                               |
| 22     | Экология в энергетике   |
| 23     | Оксиды азота и серы, механизм их образования                          |
| 24     | Способы снижения вредных выбросов                                     |
| 25     | Малотоксичные горелки   |
| 26     | Происхождение органического топлива                                   |
| 27     | Состав различных видов топлива  |
| 28     | Виды исходной массы топлива   |
| 29     | Влажность топлива   |
| 30     | Зольность, состав и содержание минеральных примесей                   |
| 31     | Выход летучих веществ и свойства коксового остатка                    |
| 32     | Теплота сгорания топлива  |
| 33     | Способы переработки твёрдого топлива. Коксование и полукоксование     |
| 34     | Гравитационный и флотационный способ обогащения                       |
| 35     | Классификация твёрдого топлива  |
| 36     | Способы переработки нефти   |
| 37     | Свойства жидкого топлива  |
| 38     | Свойства газообразного топлива  |
| 39     | Природный, нефтепромысловый и искусственные газы                      |



|    |  |
|----|--|
| 40 | Нижний и верхний концентрационные пределы взрываемости |
| 41 | Способы сжигания топлива                               |

### 5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено

### 5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

Исходя из заданного состава топлива, определить: - низшую теплоту сгорания рабочей массы топлива, - высшую теплоту сгорания рабочей массы топлива, - высшую теплоту сгорания беззольной массы топлива и сделать мотивированный вывод о принадлежности данного топлива к одному из видов углей

Состав топлива, %:

W<sub>r</sub>=10,5; A<sub>r</sub>=17,9; S<sub>r</sub>=1,7; C<sub>r</sub>=55,8; H<sub>r</sub>=3,7; N<sub>r</sub>=0,6; O<sub>r</sub>=9,8

## 5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

### 5.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

### 5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная  Письменная  Компьютерное тестирование  Иная

### 5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Время на подготовку – 40 мин, в это время входит подготовка ответа на теоретический вопрос и решение практического задания.

Защита курсовой работы является условием допуска к экзамену. Время, отводимое на защиту курсовой работы не должно превышать 15 мин включая краткий доклад по результатам курсовой работы и ответы на вопросы.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Учебная литература

| Автор  | Заглавие  | Издательство  | Год издания | Ссылка  |
|--|---|---|-------------|---|
| <b>6.1.1 Основная учебная литература</b>       |   |   |             |   |
| Губарев, А. В.                                 | Паротеплогенерирующие установки промышленных предприятий  | Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ | 2013        | <a href="http://www.iprbookshop.ru/28379.html">http://www.iprbookshop.ru/28379.html</a>                       |
| В.Н. Белоусов, С.Н. Смородин, О.С. Смирнова    | Топливо и теория горения [Текст]. Ч. 1. Топливо: учебное пособие                                | М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП                                     | 2011        | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/toplivoiteorgoren.htm">http://www.nizrp.narod.ru/toplivoiteorgoren.htm</a> |
| В.Н. Белоусов, С.Н. Смородин, О.С. Смирнова    | Топливо и теория горения [Текст]. Ч. 2. Теория горения: учебное пособие                         | М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП                                     | 2011        | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/toplivoiteor2.htm">http://www.nizrp.narod.ru/toplivoiteor2.htm</a>         |
| <b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b> |   |   |             |   |
| В.Н. Белоусов, О.С. Смирнова, С.Н. Смородин    | Топливо и теория горения [Текст]: учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных работ | М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД                           | 2016        | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/15.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/15.pdf</a>         |

### 6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>  
 Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД [Электронный ресурс]. URL: <http://nizrp.narod.ru>

### 6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

**6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

| Аудитория            | Оснащение  |
|----------------------|--|
| Лекционная аудитория | Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска  |
| А-203                | Лабораторные установки для определения влажности, зольности и выхода летучих веществ топлива, лабораторная установка для определения теплоты сгорания топлива, стенд учебный "Автоматизированная котельная на газообразном и жидком топливе", лабораторная установка Тепловой насос с МПСО, компьютерные тренажеры |
| Учебная аудитория    | Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска  |