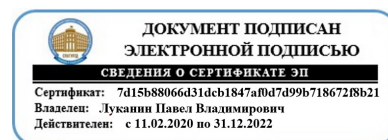


УТВЕРЖДАЮ  
Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.01** Основы практической теории горения

Учебный план: ФГОС3++m130401-1\_19-12.plx

Кафедра: **24** Промышленной теплоэнергетики

Направление подготовки:  
(специальность) 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки: Тепломассообменные процессы и установки  
(специализация)

Уровень образования: магистратура

Форма обучения: очная

### План учебного процесса

| Семестр<br>(курс для ЗАО) |     | Контактная работа обучающихся |                | Сам. работа | Контроль, час. | Трудоёмкость, ЗЕТ | Форма промежуточной аттестации |
|---------------------------|-----|-------------------------------|----------------|-------------|----------------|-------------------|--------------------------------|
|                           |     | Лекции                        | Практ. занятия |             |                |                   |                                |
| 1                         | УП  | 34                            | 34             | 40          | 36             | 4                 | Экзамен                        |
|                           | РПД | 34                            | 34             | 40          | 36             | 4                 |                                |
| Итого                     | УП  | 34                            | 34             | 40          | 36             | 4                 |                                |
|                           | РПД | 34                            | 34             | 40          | 36             | 4                 |                                |

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утверждённым приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 г. № 146

Составитель (и):

Кандидат технических наук, доцент

Белоусов Владимир  
Николаевич

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой промышленной  
теплоэнергетики

Смородин С.Н.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Смородин 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 области горения органического топлива
- Раскрыть схемы горения твёрдого топлива
- Продемонстрировать этапы расчёта механического недожога

**1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:**

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

Проблемы энерго- и ресурсосбережения в теплоэнергетике и основные направления развития теплоэнергетики

Энергосберегающие технологии при производстве электрической и тепловой энергии

Математическое моделирование рабочих процессов в теплоэнергетических установках

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

|                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ПКп-5.1: Способен к проведению технических расчетов, технико-экономического и стоимостного анализа проектных решений тепломассообменных процессов и установок</b>                                                                       |
| <b>Знать:</b> теоретические основы процессов горения; физико-химические процессы, протекающие в горючих веществах; классификацию процессов горения и пламен; особенности процессов горения веществ в различном агрегатном состоянии        |
| <b>Уметь:</b> рассчитывать материальные балансы процессов горения веществ в различном агрегатном состоянии; рассчитывать основные характеристики и параметры процессов горения и взрыва; пользоваться нормативно-технической документацией |
| <b>Владеть:</b> методиками расчетов процессов горения и взрыва                                                                                                                                                                             |

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

| Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий                                                                                                                                                                       | Семестр<br>(курс для ЗАО) | Контактная работа |               | СР<br>(часы) | Инновац.<br>формы<br>занятий | Форма<br>текущего<br>контроля |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------|---------------|--------------|------------------------------|-------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                 |                           | Лек.<br>(часы)    | Пр.<br>(часы) |              |                              |                               |
| Раздел 1. Динамика процессов горения                                                                                                                                                                                            | 1                         |                   |               |              |                              | Т                             |
| Тема 1. Кинетика процессов горения. Скорость химической реакции. Кинетические константы. Энергия активации и тепловой эффект реакции. Закон Максвелла-Больцмана. Закон Аррениуса.                                               |                           | 4                 | 4             | 8            | ГД                           |                               |
| Тема 2. Тепломассообмен в процессах горения. Диффузия. Пограничный слой. Коэффициент массообмена. Закон Фика. Скорость витания.                                                                                                 |                           | 4                 | 4             | 8            | ГД                           |                               |
| Тема 3. Диффузионно-кинетическая теория горения. Факторы, определяющие скорость процесса горения. Скорость химической реакции. Скорость диффузии и смесеобразования.                                                            |                           | 4                 | 4             | 8            | ГД                           | Т                             |
| Раздел 2. Области горения топлива                                                                                                                                                                                               |                           |                   |               |              |                              |                               |
| Тема 4. Кинетическая область горения. Диффузионно-кинетический критерий Нуссельта. Константа скорости гетерогенной и гомогенной реакции. Постулат Аррениуса.                                                                    |                           | 2                 | 2             | 2            | ГД                           |                               |
| Тема 5. Диффузионная область горения. Аналогия между законами тепло- и массообмена. Законы Фурье, Ньютона-Рихмана и Фика. Способы интенсификации процесса горения в диффузионной области.                                       |                           | 1,5               | 1,5           | 1,5          | ГД                           |                               |
| Тема 6. Переходная область горения. Влияние скорости химической реакции и скорости диффузии на интенсивность процесса горения. Специфика расчёта процесса горения в диффузионно-кинетической области.                           |                           | 0,5               | 0,5           | 0,5          | ГД                           |                               |
| Раздел 3. Теория приведённой пограничной плёнки                                                                                                                                                                                 |                           |                   |               |              |                              | К                             |
| Тема 7. Схемы горения топлива. Критерий Семёнова. Стадии горения твёрдого топлива. Температура частицы. Критерии Био и Фурье.                                                                                                   |                           | 8                 | 8             | 4            | ГД                           |                               |
| Тема 8. Горящий пограничный слой. Зоны молярного и молекулярного переноса. Толщина приведённой пограничной плёнки. Схема горящего пограничного слоя. Основные реакции горения. Роль гомогенной реакции горения оксида углерода. |                           | 4                 | 6             | 4            | ГД                           |                               |
| Тема 9. Негорящий пограничный слой. Двойной горящий пограничный слой. Распределение парциальных давлений и концентраций компонентов при схемах НПС и ДГПС. Негорящая и горящая зона ДГПС. Толщина бескислородной зоны.          |                           | 6                 | 4             | 4            | ГД                           |                               |
| Итого в семестре (на курсе для ЗАО)                                                                                                                                                                                             |                           | 34                | 34            | 40           |                              |                               |

|                                                   |  |             |             |  |  |
|---------------------------------------------------|--|-------------|-------------|--|--|
| Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен) |  | 2,5         | 33,5        |  |  |
| <b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b> |  | <b>70,5</b> | <b>73,5</b> |  |  |

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

#### 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                                 |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| ПКп-5.1         | Имеет представление о теоретических основах процессов горения; классификации процессов горения и пламен; особенностях процессов горения веществ в различном агрегатном состоянии; физико-химических процессах, протекающих в горючих веществах. Способен пользоваться нормативно-технической документацией; рассчитывать материальные балансы процессов горения веществ в различном агрегатном состоянии; рассчитывать основные характеристики и параметры процессов горения и взрыва;. Демонстрирует знания методик расчетов процессов горения и взрыва. | Вопросы устного собеседования. Практико-ориентированные задания. |

##### 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.                                                                                                                                                           | Критическое и разностороннее рассмотрение вопросов, свидетельствующее о значительной самостоятельной работе с источниками. Качество исполнения всех элементов практико-ориентированных заданий 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.                                                                                                                                                                | Практико-ориентированные задания выполнены в соответствии с заданием. При оформлении заданий допущены отдельные несущественные ошибки или отступления от правил.                                                                         |
| 3 (удовлетворительно)   | Неполный ответ, основанный только на лекционных материалах. При понимании сущности предмета присутствуют существенные ошибки или пробелы в знаниях сразу по нескольким темам, незнание (путаница) важных терминов.                                                                                                              | Практико-ориентированные задания выполнены полностью, но с многочисленными существенными ошибками.                                                                                                                                       |
| 2 (неудовлетворительно) | Неспособность ответить на вопрос без помощи экзаменатора. Незнание значительной части принципиально важных элементов дисциплины. Многочисленные грубые ошибки. Попытка списывания, использования неразрешенных технических устройств или пользования подсказкой другого человека (вне зависимости от успешности такой попытки). | Отсутствие одного или нескольких обязательных элементов практико-ориентированных заданий либо многочисленные грубые ошибки в решении заданий.                                                                                            |

## 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                                                               |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Семестр 1 |                                                                                     |
| 1         | Области протекания процессов горения                                                |
| 2         | Законы Фурье и Фика                                                                 |
| 3         | Основы кинетики реакций горения                                                     |
| 4         | Скорость химической реакции                                                         |
| 5         | Принцип Ле Шателье-Брауна                                                           |
| 6         | Диссоциация продуктов горения                                                       |
| 7         | Постулат Аррениуса                                                                  |
| 8         | Константа скорости реакции                                                          |
| 9         | Энергия активации                                                                   |
| 10        | Гомогенные, гетерогенные и топохимические реакции                                   |
| 11        | Диффузионно-кинетический критерий Нуссельта                                         |
| 12        | Стадии горения различных видов топлива                                              |
| 13        | Кинетика процесса выхода летучих                                                    |
| 14        | Основные реакции горения углерода                                                   |
| 15        | Определение кинетических характеристик горения углерода                             |
| 16        | Область и схема горения                                                             |
| 17        | Диффузионно-кинетическая теория горения                                             |
| 18        | Теория приведённой пограничной плёнки                                               |
| 19        | Критерий Семёнова                                                                   |
| 20        | Определение скорости витания                                                        |
| 21        | Критерии Кирпичёва и Шиллера                                                        |
| 22        | Особенности протекания процесса в прямоточном пылеугольном факеле                   |
| 23        | Уравнение выгорания единичной частицы                                               |
| 24        | Особенности расчёта выгорания в кинетической, диффузионной и промежуточной областях |

### 5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено

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

Определить теоретический объём воздуха, необходимый для полного сгорания 1 м<sup>3</sup> газа.

Состав газа: метан – 80 %, пропан – 20 %.

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; Cr=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 к экзамену - 40 мин, в это время входит подготовка ответа на теоретические вопросы и решение практико-ориентированного задания. Для расчетов студенту необходимо иметь калькулятор, также ему предоставляется справочная информация.

## 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>                       |
| <b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b> |                                                                         |                                                                                             |             |                                                                                                               |
| 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>         |
| 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> |

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

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

### 6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftWindows 8  
MicrosoftOfficeProfessional 2013

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

| Аудитория            | Оснащение                                                     |
|----------------------|---------------------------------------------------------------|
| Лекционная аудитория | Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска |
| Учебная аудитория    | Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска |