

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИИЭ

А.С. Матвеев  
«26» 06 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ПРИЕМ 2018 г.**  
**ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная**

**Физика горения натурального топлива**

|                                                         |                                             |         |    |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------|----|
| Направление подготовки/<br>специальность                | 13.03.03 Энергетическое машиностроение      |         |    |
| Образовательная программа<br>(направленность (профиль)) | Энергетическое машиностроение               |         |    |
| Специализация                                           | Котлы, камеры сгорания и парогенераторы АЭС |         |    |
| Уровень образования                                     | высшее образование – бакалавриат            |         |    |
| Курс                                                    | 3                                           | семестр | 6  |
| Трудоемкость в кредитах<br>(зачетных единицах)          | 5                                           |         |    |
| Виды учебной деятельности                               | Временной ресурс                            |         |    |
| Контактная (аудиторная)<br>работа, ч                    | Лекции                                      |         | 24 |
|                                                         | Практические занятия                        |         | 16 |
|                                                         | Лабораторные занятия                        |         | 32 |
|                                                         | ВСЕГО                                       |         | 72 |
| Самостоятельная работа, ч                               |                                             | 108     |    |
| ИТОГО, ч                                                |                                             | 180     |    |

Вид промежуточной  
аттестации

|         |                                 |                      |
|---------|---------------------------------|----------------------|
| Экзамен | Обеспечивающее<br>подразделение | НОЦ<br>И.Н. Бутакова |
|---------|---------------------------------|----------------------|

Заведующий кафедрой –  
руководитель НОЦ И.Н.  
Бутакова на правах кафедры  
Руководитель ООП  
Преподаватель

|                                                                                     |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
|  | А.С. Заворин   |
|  | Т.С. Тайлашева |
|  | А.Н. Субботин  |

2020 г.

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 5. Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

| Код компетенции | Наименование компетенции                                                                                                   | Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенций) |                                                                                                                                                                             |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 |                                                                                                                            | Код                                                         | Наименование                                                                                                                                                                |
| ОПК(У)-3        | Способностью демонстрировать знание теоретических основ рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках | ОПК(У)-3.В9                                                 | Владеет опытом расчетного анализа параметров и показателей энергетических установок и их оборудования                                                                       |
|                 |                                                                                                                            | ОПК(У)-3.У9                                                 | Умеет оценивать технологические параметры работы оборудования для сжигания натуральных топлив                                                                               |
|                 |                                                                                                                            | ОПК(У)-3.39                                                 | Знает свойств натуральных топлив и продуктов их сгорания, а также углеводородных смесей и газовых конденсатов                                                               |
|                 |                                                                                                                            | ОПК(У)-3.У10                                                | Умеет рассчитывать параметры и показатели энергетических установок и их оборудования                                                                                        |
|                 |                                                                                                                            | ОПК(У)-3.310                                                | Знает основные технологии преобразования, транспортировки и использования энергии топлива; принцип действия и устройство нетрадиционных и возобновляемых источников энергии |

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к базовой части Блока 1 учебного плана образовательной программы.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

| Планируемые результаты обучения по дисциплине |                                                                                                                                                                               | Компетенция |
|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Код                                           | Наименование                                                                                                                                                                  |             |
| РД1                                           | Понимать сущность и условия протекания физико-химических процессов в энергетическом оборудовании                                                                              | ОПК(У)-3    |
| РД2                                           | Использовать методы математического анализа физико-химических процессов, протекающих в топках котлов, камерах сгорания, в том числе с применением пакетов прикладных программ | ОПК(У)-3    |
| РД3                                           | Определять константы равновесия реакций, находить основные характеристики воспламенения и горения натурального топлива                                                        | ОПК(У)-3    |
| РД4                                           | Использовать основные законы естественнонаучных и математических дисциплин в инженерной деятельности                                                                          | ОПК(У)-3    |
| РД5                                           | Проводить расчеты констант равновесия, кинетических констант, коэффициентов диффузии                                                                                          | ОПК(У)-3    |
| РД6                                           | Проводить расчеты по определению характеристик воспламенения и горения натурального топлива, турбулентной струи и зоны смешения.                                              | ОПК(У)-3    |

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

## 4. Структура и содержание дисциплины

### Основные виды учебной деятельности

| Разделы дисциплины                              | Формируемый результат обучения по дисциплине | Виды учебной деятельности | Объем времени, ч. |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|-------------------|
| Раздел 1. Химическое равновесие реакций горения | РД1<br>РД2                                   | Лекции                    | 6                 |
|                                                 |                                              | Практические занятия      | 4                 |
|                                                 |                                              | Лабораторные занятия      | 8                 |
|                                                 |                                              | Самостоятельная работа    | 20                |
| Раздел 2. Кинетика реакций горения              | РД3                                          | Лекции                    | 4                 |
|                                                 |                                              | Практические занятия      | 4                 |

| Разделы дисциплины                                 | Формируемый результат обучения по дисциплине | Виды учебной деятельности | Объем времени, ч. |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|-------------------|
|                                                    | РД4                                          | Лабораторные занятия      | 8                 |
|                                                    | РД5                                          | Самостоятельная работа    | 20                |
|                                                    | РД6                                          |                           |                   |
| Раздел 3. Диффузия и массообмен при горении        | РД1                                          | Лекции                    | 6                 |
|                                                    | РД3                                          | Практические занятия      | 4                 |
|                                                    | РД4                                          | Лабораторные занятия      | 8                 |
|                                                    | РД5                                          | Самостоятельная работа    | 20                |
|                                                    | РД6                                          |                           |                   |
| Раздел 4. Теория теплового самовоспламенения       | РД1                                          | Лекции                    | 4                 |
|                                                    | РД2                                          | Практические занятия      | 4                 |
|                                                    | РД4                                          | Лабораторные занятия      | 4                 |
|                                                    |                                              | Самостоятельная работа    | 20                |
| Раздел 5. Аэродинамические основы процесса горения | РД1                                          | Лекции                    | 4                 |
|                                                    | РД5                                          | Практические занятия      | –                 |
|                                                    | РД6                                          | Лабораторные занятия      | 4                 |
|                                                    |                                              | Самостоятельная работа    | 28                |

### Раздел 1. Химическое равновесие реакций горения

Роль процессов горения в технологии энергетического производства. Особенности протекания химических реакций горения. Химическая обратимость и равновесие реакций горения. Закон действующих масс. Константы скорости реакции. Константы равновесия. Зависимость химических равновесий от температуры. Принцип Ле-Шателье. Подвижность равновесия реакций горения. Диссоциация продуктов горения топлива. Влияние диссоциации на температуру горения. Понятия адиабатной и теоретической температуры горения. Химическое равновесие реакций горения. Диссоциация продуктов горения натурального топлива. Нахождение констант равновесия, степени диссоциации, адиабатной и теоретической температуры горения

#### Темы лекций:

1. Особенности протекания химических реакций горения. Закон действующих масс.
2. Константы равновесия. Зависимость химических равновесий от температуры.
3. Диссоциация продуктов горения топлива. Химическое равновесие реакций горения.

#### Темы практических занятий:

1. Способы расчета константы скорости реакции и константы равновесия.
2. Способы нахождения степени диссоциации компонентов для одной или несколько параллельно протекающих реакций.

#### Названия лабораторных работ:

1. Определение констант равновесия основных реакций, протекающих при горении натурального топлива.
2. Нахождение степени диссоциации газообразных компонентов, образующихся при горении.
3. Определение степени диссоциации газообразных компонентов, образующихся при параллельном протекании нескольких зависимых реакций.

### Раздел 2. Кинетика реакций горения

Общие положения химической кинетики. Полное число столкновений молекул в газе. Активное число столкновений молекул. Стерический коэффициент. Скорость гомогенной и гетерогенной реакции горения. Классификация реакций и порядок реакции. Зависимость скорости реакций от температуры. Закон Аррениуса. Влияние давления на скорость реакции горения при постоянной температуре. Влияние концентрации компонентов в смеси на скорость реакции горения при постоянном давлении и температуре. Цепные реакции. Основы теории цепных реакций Семенова-Хиншельвуда. Особенности протекания

химических реакций в практических условиях горения. Механизм цепной реакции горения водорода.

**Темы лекций:**

1. Общие положения химической кинетики.
2. Зависимость скорости реакций от температуры. Закон Аррениуса. Влияние давления на скорость реакции горения при постоянной температуре.
3. Цепные реакции. Основы теории цепных реакций.

**Темы практических занятий:**

1. Два способа нахождения констант химических реакций (использование экспериментальных данных, применение кинетической теории газов)

**Названия лабораторных работ:**

1. Определение кинетических констант основных химических реакций, протекающих при горении натурального топлива, при условии, когда известна константа равновесия и стериический фактор.
2. Вычисление кинетических констант реакций протекающих, при горении натурального топлива, в рамках кинетической теории газов.

|                                                    |
|----------------------------------------------------|
| <b>Раздел 3. Диффузия и массообмен при горении</b> |
|----------------------------------------------------|

Общие положения молекулярной диффузии. Некоторые положения кинетической теории газов. Неизотермическая диффузия. Стефановский поток. Уравнение диффузии. Диффузия в турбулентном потоке. Турбулентные моли.

**Темы лекций:**

1. Общие положения молекулярной диффузии.
2. Стефановский поток. Уравнение диффузии.

**Темы практических занятий:**

1. Способы расчета бинарных и эффективных коэффициентов диффузии и коэффициента вязкости в многокомпонентных горючих смесях.
2. Способы расчета коэффициентов теплопроводности отдельных компонентов многокомпонентной смеси и коэффициента теплопроводности многокомпонентной смеси на основе кинетической теории газов.

**Названия лабораторных работ:**

1. Проведение расчетов по определению коэффициентов диффузии при разных температурах и давлениях в многокомпонентных газах, образующихся при горении натурального топлива.
2. Проведение расчетов по определению коэффициентов диффузии при разных температурах и давлениях в многокомпонентных газах, образующихся при горении натурального топлива.

|                                                     |
|-----------------------------------------------------|
| <b>Раздел 4. Теория теплового самовоспламенения</b> |
|-----------------------------------------------------|

Способы воспламенения горючих смесей. Стационарная теория теплового самовоспламенения. Период индукции. Температура воспламенения. Нестационарная теория теплового самовоспламенения. Математическая модель процесса. Уравнение теплового баланса реагирующей смеси. Уравнение материального баланса по расходу угольной пыли. Самовоспламенение. Описание процесса самовоспламенения в одномерном потоке (в струе).

**Темы лекций:**

1. Способы воспламенения горючих смесей. Стационарная теория теплового самовоспламенения.
2. Математическая модель процесса. Уравнение теплового баланса реагирующей смеси. Уравнение материального баланса по расходу угольной пыли.
3. Самовоспламенение. Описание процесса самовоспламенения в одномерном потоке.

**Темы практических занятий:**

1. Проведение расчетов по определению характеристик самовоспламенения и горения натурального топлива в замкнутом объеме на компьютерах с использованием математического пакета Mathcad.

2. Проведение расчетов по определению характеристик самовоспламенения и горения натурального топлива проточной камере на компьютерах с использованием математического пакета Mathcad.

**Названия лабораторных работ:**

1. Проведение расчетов по определению коэффициентов диффузии при разных температурах и давлениях в многокомпонентных газах, образующихся при горении натурального топлива.
2. Проведение расчетов по определению коэффициентов диффузии при разных температурах и давлениях в многокомпонентных газах, образующихся при горении натурального топлива.

|                                                           |
|-----------------------------------------------------------|
| <b>Раздел 5. Аэродинамические основы процесса горения</b> |
|-----------------------------------------------------------|

Прямоточные и турбулентные струи. Основные закономерности развития струй в топочном объеме. Геометрические параметры струй. Изменение параметров по длине и по сечению струи. Развитие струй в поперечном потоке. Кольцевые одиночные и соосные струи. Закрученные турбулентные струи. Расчет характеристик турбулентной струи – зоны смешения свободной струи, изменение скорости вдоль оси струи и расхода газов по длине струи.

**Темы лекций:**

1. Прямоточные и турбулентные струи. Основные закономерности развития струй в топочном объеме.
2. Расчет характеристик турбулентной струи – зоны смешения свободной струи, изменение скорости вдоль оси струи и расхода газов по длине струи.

**Названия лабораторных работ:**

1. Проведение расчетов по определению коэффициентов диффузии при разных температурах и давлениях в многокомпонентных газах, образующихся при горении натурального топлива.
2. Проведение расчетов по определению коэффициентов диффузии при разных температурах и давлениях в многокомпонентных газах, образующихся при горении натурального топлива.

## **5. Организация самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины предусмотрена в следующих видах и формах:

- Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Подготовка к лабораторным работам;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **6.1. Учебно-методическое обеспечение**

**Основная литература**

1. Субботин А.Н. Основы теории горения натурального топлива [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Н. Субботин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 1 компьютерный файл (pdf; 1.6 MB). – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – Заглавие с титульного экрана. – Электронная версия печатной публикации. – Доступ из корпоративной сети ТПУ. – Системные требования: Adobe Reader. – Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2014/m069.pdf>.

- Кукина П.П., Юшина В.В., Емельянова С.Г. Теория горения и взрыва: Учебное пособие Для академического бакалавриата / под ред. – 2-е изд., пер. и доп. – Электрон. дан.. – Москва: Юрайт, 2017. – 346 с. – Схема доступа: <https://urait.ru/bcode/406743>.
- Волков К.Н., Емельянов В.Н., Тетерина И.В., Яковчук М.С. Газовые течения в соплах энергоустановок [Электронный ресурс]. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2017. – 328 с. – Книга из коллекции ФИЗМАТЛИТ - Инженерно-технические науки. – Схема доступа: <https://e.lanbook.com/book/104967>.

#### Дополнительная литература

- Шапров М.Н. Теория горения и взрыва: учебное пособие [Электронный ресурс]. – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2016. – 92 с. – Схема доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=76691](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=76691).
- Орловский С.Н. Теория горения и взрыва: практикум [Электронный ресурс]. – Красноярск: КрасГАУ, 2015. – 76 с. – Схема доступа: <https://e.lanbook.com/book/103823>.
- Зиновьева О. М., Матрюков Б. С., Меркулова А. М., Смирнова Н. А. Теория горения и взрыва: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс]. – Москва: МИСИС, 2014. – 102 с. – Схема доступа: <https://e.lanbook.com/book/116821>.
- Афанасьев В.В., Кидин Н.И. Диагностика и управление устойчивостью горения в камерах сгорания энергетических установок [Электронный ресурс]. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 176 с. – Схема доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=2662](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2662).
- Ведрученко В Р., Крайнов В.В. Топливо и основы теории горения: монография [Электронный ресурс]. – Омск: ОмГУПС, 2010. – 261 с. – Схема доступа: <https://e.lanbook.com/book/129137>.
- Хзмалян Д.М. Теория топочных процессов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с. (<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU/TPU/book/33493>).

#### 6.2. Информационное и программное обеспечение

Internet-ресурсы (в т.ч. в среде LMS MOODLE и др. образовательные и библиотечные ресурсы):

- Электронная библиотека Томского политехнического университета (<http://catalog.lib.tpu.ru>).
- Архив научных журналов «Neicon» (<http://archive.neicon.ru>);
- Поисковая система Федерального института промышленной собственности по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (<http://www1.fips.ru>);
- Электронная библиотека института инженеров электротехники и электроники «IEEE» (<http://ieeexplore.ieee.org>).

Лицензионное программное обеспечение (в соответствии с **Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ**):

- Microsoft Office 2016 Standard Russian Academic;
- PTC Mathcad 15 Academic Floating.

#### 7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

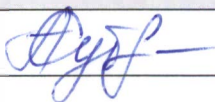
В учебном процессе используется следующее оборудование:

| №  | Наименование специальных помещений                                             | Наименование оборудования                                                                                                                                     |
|----|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, | Анализатор дымовых газов Testo350 - 1 шт.;<br>Доска аудиторная поворотная - 1 шт.; Стол письменный - 1 шт.;<br>Комплект учебной мебели на 52 посадочных мест; |

| №  | Наименование специальных помещений                                                                                                                                                                                              | Наименование оборудования                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации<br>634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 406                                                                                                      | Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт.                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 3. | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерный класс)<br>634034, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, 30а, 224б | Доска аудиторная настенная - 1 шт.; Шкаф для одежды - 1 шт.; Тумба стационарная - 1 шт.; Тумба навесная - 1 шт.; Стол письменный - 9 шт.; Комплект учебной мебели на 14 посадочных мест; Доска аудиторная поворотная - 1 шт.; Компьютер - 12 шт.; Принтер - 1 шт.; Проектор - 1 шт.; Телевизор - 1 шт. |

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 13.03.03 Энергетическое машиностроение, специализация «Котлы, камеры сгорания и парогенераторы АЭС» (приема 2018 г., очная форма обучения).

Разработчик(и):

| Должность | Подпись                                                                            | ФИО           |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Профессор |  | А.Н. Субботин |

Программа одобрена на заседании Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова (протокол от 19.06.2018г. № 11).

Заведующий кафедрой – руководитель  
НОЦ И.Н. Бутакова на правах кафедры,  
д.т.н, профессор

 А.С. Заворин  
подпись

**Лист изменений рабочей программы дисциплины:**

| <b>Учебный год</b>   | <b>Содержание /изменение</b>                                                                                                                              | <b>Обсуждено на заседании<br/>НОЦ И.Н. Бутакова<br/>(протокол)</b> |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 2019/2020 уч.<br>год | Внесены изменения в разделы:<br>Структура и содержание дисциплины;<br>Учебно-методическое обеспечение;<br>Материально-техническое обеспечение дисциплины. | Протокол №29 от 30.05.2019                                         |
| 2020/2021 уч.<br>год | Внесены изменения в разделы:<br>Структура и содержание дисциплины;<br>Учебно-методическое обеспечение;<br>Материально-техническое обеспечение дисциплины. | Протокол №44 от 26.06.2020                                         |
|                      |                                                                                                                                                           |                                                                    |
|                      |                                                                                                                                                           |                                                                    |