

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»  
(СПбГУПТД)

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

**Б1.О.10** Анализ энергетических систем

Учебный план: \_\_\_\_\_ ФГОС3++zm130401.30-2\_24-13.plx

Кафедра: **24** Промышленной теплоэнергетики

Направление подготовки:  
(специальность) **13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

Профиль подготовки:  
(специализация) **Электротехническое оборудование энергетических комплексов**

Уровень образования: **магистратура**

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 |                |                   |                          |                                      |
| 2                         | УП  | 6                             | 6                 | 87             | 9                 | 3                        | Экзамен                              |
|                           | РПД | 6                             | 6                 | 87             | 9                 | 3                        |                                      |
| Итого                     | УП  | 6                             | 6                 | 87             | 9                 | 3                        |                                      |
|                           | РПД | 6                             | 6                 | 87             | 9                 | 3                        |                                      |

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

Составитель (и):

Доктор технических наук, профессор

Казаков В.Г.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой промышленной  
теплоэнергетики

Смородин С.Н.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Благодарный Н.С.

Методический отдел:

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** ознакомить обучающихся с современными методами анализа теплотехнологических процессов и систем

**1.2 Задачи дисциплины:**

- изучить особенности процессов анализа теплотехнологий в ЦБП.
- изучить принципы методик расчёта теплотехнологических установок.

**1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:**

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

Энергосбережение и энергоэффективность теплоэнергетических установок и систем

Тепломассообмен

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ОПК-1: Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки</b>                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Знать:</b> последовательность выполнения и особенности стадий, этапов прикладных научных исследований; методы обработки и формы представления результатов наблюдений и экспериментов; методы планирования и проведения эксперимента; методы анализа результатов наблюдений и эксперимента, в том числе методы математической статистики; правила оформления результатов научных исследований |
| <b>Уметь:</b> планировать и проводить эксперимент, применять методы математического планирования эксперимента                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Владеть:</b> навыками выбора и создания критериев оценки исследований                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>ОПК-2: Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы</b>                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Знать:</b> методы обработки и формы представления результатов наблюдений и экспериментов; методы планирования и проведения эксперимента; методы анализа результатов наблюдений и эксперимента, в том числе методы математической статистики; правила оформления результатов научных исследований                                                                                             |
| <b>Уметь:</b> обрабатывать результаты эксперимента с применением методов математической статистики; анализировать результаты эксперимента с применением методов математической статистики                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Владеть:</b> навыками представления результатов выполненной работы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

### 3 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Семестр<br>(курс для<br>ЗАО) | Контактная<br>работа |               | СР<br>(часы) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------|---------------|--------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                              | Лек.<br>(часы)       | Пр.<br>(часы) |              |
| Раздел 1. Основные методы анализа термодинамических систем                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 2                            |                      |               |              |
| Тема 1. Метод тепловых балансов. Основные понятия эксергетического метода анализа. Определение значения эксергии для различных видов энергии. Энтропийный метод анализа.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                              | 1                    | 1             | 10           |
| Тема 2. Метод приращений эксергии. Эксергетический КПД сложной термодинамической системы. Упрощенный метод определения эксергетического КПД сложной термодинамической системы. Определение эксергетического КПД тепловых процессов, осложненных массообменом.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                              | 1                    | 1             | 20           |
| Тема 3. Построение эксергетических диаграмм по методу приращений эксергетических тепловых потоков. Методические основы построения эксергетических диаграмм. Расчет термодинамической системы с регенеративным контуром. Связь эксергетических потерь с расходом топлива в энергетическом котле.                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                              | 1                    | 1             | 20           |
| Тема 4. Эксергетический коэффициент теплопередачи как критерий термодинамического совершенства теплового процесса. Энергетический коэффициент академика М.В. Кирпичева. Энергетический коэффициент проф. В.М. Антуфьева.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                              | 1                    | 1             | 10           |
| Раздел 2. Эксергетический анализ теплотехнологических процессов и систем                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                              |                      |               |              |
| Тема 5. Примеры практических приложений метода приращения эксергий в энергетике и химической технологии. Эксергетический КПД процесса в калорифере. Эксергетический КПД процесса в теплообменнике смешения. Эксергетический КПД процесса в адиабатическом испарителе. Эксергетический КПД процесса в парожидкостном вертикальном подогревателе сетевой воды с прямыми трубками. Эксергетический КПД процесса в пароводяном вертикальном подогревателе питательной воды низкого давления. Расчет парожидкостного подогревателя питательной воды высокого давления со спиральными трубками. |                              | 1                    | 1             | 17           |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |      |   |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------|---|------|
| Тема 6. Эксергетический анализ процесса производства сульфатной целлюлозы. Варка технологической щепы, регенерация щелочи, выпаривание, декарбонизация известняка. Эксергетический анализ процесса сушильной части производства бумаги. Распределение энергозатрат, сушка бумаги, регенерация теплоты паровоздушных потоков |  | 1    | 1 | 10   |
| Итого в семестре (на курсе для ЗАО)                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  | 6    | 6 | 87   |
| Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен)                                                                                                                                                                                                                                                                           |  | 2,5  |   | 6,5  |
| <b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>                                                                                                                                                                                                                                                                           |  | 14,5 |   | 93,5 |

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

#### 5. ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, КРИТЕРИЕВ, СИСТЕМЫ И СРЕДСТВ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

##### 5.1 Показатели оценивания

| Код компетенции | Показатели оценивания результатов обучения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-1           | Демонстрирует знания последовательности выполнения и особенностей стадий, этапов прикладных научных исследований; методов обработки и формы представления результатов наблюдений и экспериментов; методов планирования и проведения эксперимента; методов анализа результатов наблюдений и эксперимента, в том числе методов математической статистики; правил оформления результатов научных исследований.<br>Способен выполнять планирование и проводить эксперимент, применять методы математического планирования эксперимента.<br>Демонстрирует владение навыками выбора и создания критериев оценки исследований. |
| ОПК-2           | Ориентируется в методах обработки и формах представления результатов наблюдений и экспериментов; методах планирования и проведения эксперимента; методах анализа результатов наблюдений и эксперимента, в том числе методах математической статистики; правилах оформления результатов научных исследований.<br>Способен обрабатывать результаты эксперимента с применением методов математической статистики; анализировать результаты эксперимента с применением методов математической статистики.<br>Обладает навыками представления результатов выполненной работы.                                                |

##### 5.2 Система и критерии оценивания

| Шкала оценивания      | Критерии оценивания сформированности компетенций                                                                                                                               |                                                                                                                                                       |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       | Устное собеседование                                                                                                                                                           | Письменная работа                                                                                                                                     |
| 5 (отлично)           | Полный, исчерпывающий ответ, демонстрирующий глубокое понимание предмета. Умение применять теоретические знания для решения практических задач                                 | Качество исполнения всех элементов задания полностью соответствует всем предъявляемым требованиям. Оригинальный подход к решению поставленной задачи. |
| 4 (хорошо)            | Ответ стандартный, в целом качественный, основан на всех обязательных источниках информации. Присутствуют небольшие пробелы в знаниях или несущественные ошибки                | Работа выполнена в соответствии с заданием. Имеются отдельные несущественные ошибки или отступления от правил оформления работы                       |
| 3 (удовлетворительно) | Ответ неполный. При понимании сущности предмета в целом присутствуют существенные ошибки или пробелы в знаниях сразу по нескольким темам, незнание (путаница) важных терминов. | Задание выполнено полностью, но с многочисленными существенными ошибками. При этом нарушены правила оформления или сроки представления работы.        |

|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2<br>(неудовлетворительно) | <p>Неспособность ответить на вопрос без помощи экзаменатора. Незнание значительной части принципиально важных элементов дисциплины. Многочисленные грубые ошибки.</p> <p>Попытка списывания, использования неразрешенных технических устройств или пользования подсказкой другого человека (вне зависимости от успешности такой попытки).</p> | <p>Отсутствие одного или нескольких обязательных элементов задания, либо многочисленные грубые ошибки в работе, либо грубое нарушение правил оформления или сроков представления работы.</p> <p>Представление чужой работы, плагиат, либо отказ от представления работы.</p> |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 5.3 Типовые контрольные задания и/или иные материалы, используемые для оценки результатов обучения

#### 5.3.1 Типовые контрольные вопросы

| № п/п  | Формулировки вопросов                                                                                                |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Курс 2 |                                                                                                                      |
| 1      | Математическое выражение связи эксергетического КПД сложной термодинамической системы с КПД ее элементов             |
| 2      | Теплообменник смешения                                                                                               |
| 3      | Адиабатический самоиспаритель                                                                                        |
| 4      | Выпарной аппарат                                                                                                     |
| 5      | Эксергетические характеристики основных энергопотребляющих процессов                                                 |
| 6      | Анализ эксергетических функциональных групп производства целлюлозы                                                   |
| 7      | Эксергетические характеристики функциональных групп сушильной части БДМ                                              |
| 8      | Тепловая обработка черного щелока в СРК                                                                              |
| 9      | Декарбонизация известняка                                                                                            |
| 10     | Выпаривание черного щелока                                                                                           |
| 11     | Варка технологической щепы                                                                                           |
| 12     | Анализ эксергетических коэффициентов полезного действия функциональных групп сушильной части БДМ                     |
| 13     | Основные направления повышения степени термодинамического совершенства технологического процесса сушильной части БДМ |
| 14     | Практическая модернизация сушильной части БДМ                                                                        |
| 15     | Проблемы реализации повышения регенерации теплоты в процессах сушильной части БДМ                                    |
| 16     | Основы технологии переработки черного щелока                                                                         |
| 17     | Технологическая схема переработки черного щелока                                                                     |
| 18     | Принципиальная технологическая схема получения сульфатной целлюлозы                                                  |
| 19     | Принципиальная аппаратно – технологическая схема получения сульфатной целлюлозы.                                     |
| 20     | Аппаратно – технологическая схема теплорекуперационной установки.                                                    |
| 21     | Варка технологической щепы                                                                                           |
| 22     | Процесс сжигания раствора в ЦБП                                                                                      |
| 23     | Выпаривание черного щелока                                                                                           |
| 24     | Процесс декарбонизации известняка                                                                                    |
| 25     | Основные потребители энергии в производстве бумаги                                                                   |
| 26     | Эксергия теплового потока. Определение                                                                               |
| 27     | Математическое выражение для эксергии теплового потока                                                               |
| 28     | Эксергетические потери и их математическое выражение                                                                 |
| 29     | Эксергетический КПД теплообменного аппарата                                                                          |
| 30     | Эксергетический КПД сложной термодинамической системы                                                                |
| 31     | Удельный тепловой поток, переданный (воспринятый) в i-ом теплообменнике                                              |
| 32     | Приведенный тепловой поток для i-ого теплообменного аппарата                                                         |
| 33     | Среднетермодинамическая температура (точное и приближенное значение для процессов с фазовым и без фазового перехода) |
| 34     | Эксергетический КПД для сложной термодинамической системы через приведенные тепловые потоки                          |
| 35     | Математическое выражение для доли подведенной эксергии в i-ом теплообменнике к общей подведенной эксергии в системе  |

### 5.3.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено

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

1. Определить эксергетический КПД и эксергетические потери для парового калорифера вторичного подогрева воздуха в кондиционере для холодного периода года. Пусть воздух с расходом  $G = 20000$  кг / час нагревается в калорифере от  $t_n = 16$  °C до  $t_k = 19$  °C паром при температуре  $t_p = 100$  °C. Теплоёмкость воздуха  $C_v = 0,92$  кДж / кг·град.  $T_x = 245$  К. Процесс адиабатический (без отвода теплоты в окружающую среду).

2. Определить эксергетический КПД парожидкостного подогревателя сетевой воды с прямыми трубами

Исходные данные: производительность аппарата по воде - 1400 т/ч; температура воды на входе - 343 К; температура воды на выходе - 393 ; абсолютное давление греющего пара - 3 бар; расход пара - 38,9 кг/с

## 5.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения

### 5.4.1 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»

### 5.4.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная ☐ + Письменная ☐ + Компьютерное тестирование ☐ Иная ☐

### 5.4.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

На решение задачи и подготовку устного ответа отводится 30 минут. В течение семестра выполняется контрольная работа

## 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>       |                                                                                                     |                                                                     |             |                                                                                                             |
| В.Г. Казаков, П.В. Луканин, О.С. Смирнова      | Эксергетические методы оценки эффективности теплотехнологических установок [Текст]: учебное пособие | М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП             | 2013        | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/2.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/2.pdf</a>         |
| <b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b> |                                                                                                     |                                                                     |             |                                                                                                             |
| В.Г. Казаков, П.В. Луканин, О.С. Смирнова      | Термодинамические методы анализа в энергоиспользующих процессах [Текст]: учебное пособие            | М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП             | 2011        | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/termodynammetody.htm">http://www.nizrp.narod.ru/termodynammetody.htm</a> |
| Баранов, А. В., Ж. А.                          | Энергосбережение и энергоэффективность                                                              | Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ | 2017        | <a href="http://www.iprbookshop.ru/85987.html">http://www.iprbookshop.ru/85987.html</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>

База ГОСТов [Электронный ресурс]. URL: <https://allgosts.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                                                                                                           |
| Компьютерный класс   | Мультимедийное оборудование, компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду |
| Учебная аудитория    | Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска                                                                                                           |