

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

|                |                                                                   |
|----------------|-------------------------------------------------------------------|
| <b>Б1.В.02</b> | Нагнетатели и системы снабжения воздухом промышленных предприятий |
|----------------|-------------------------------------------------------------------|

Учебный план: \_\_\_\_\_ ФГОС3++b130301Ц-3\_24-14.plx

Кафедра: 21 Теплосиловых установок и тепловых двигателей

Направление подготовки:  
(специальность) 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки:  
(специализация) Цифровые энергосистемы и комплексы

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

### 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.<br>занятия |                |                   |                          |                                      |
| 6                         | УП  | 24                            | 12                | 12              | 23,75          | 0,25              | 2                        | Зачет                                |
|                           | РПД | 24                            | 12                | 12              | 23,75          | 0,25              | 2                        |                                      |
| Итого                     | УП  | 24                            | 12                | 12              | 23,75          | 0,25              | 2                        |                                      |
|                           | РПД | 24                            | 12                | 12              | 23,75          | 0,25              | 2                        |                                      |

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утверждённым приказом Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 143

Составитель (и):

Доктор технических наук, профессор

Пеленко В.В.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой теплосиловых установок и  
тепловых двигателей

Злобин В.Г.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Смородин С.Н.

Методический отдел:

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** Сформировать компетенции обучающегося в области конструктивных особенностей, принципов работы, современного состояния и перспектив развития нагнетателей, в оценке и анализе физических процессов, протекающих в нагнетателях, расчета основных геометрических размеров машин и их характеристик, в выборе экономичных режимов работы, в обеспечении правильной эксплуатации нагнетателей.

### 1.2 Задачи дисциплины:

- Изучить конструктивные особенности и принципы работы нагнетателей.
- Рассмотреть современное состояние и перспективы развития нагнетателей.
- Продемонстрировать организацию правильной эксплуатации нагнетателей.
- Установить возможности выбора экономичных режимов работы.
- Провести оценку и анализ физических процессов, протекающих в нагнетателях.
- Привить способности к самостоятельному приобретению и использованию в практической деятельности

новых знаний и умений.

### 1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

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

Физика

Теоретическая механика

Математика

Гидрогазодинамика (Гидравлика)

Материаловедение, технологии конструкционных материалов

Прикладная механика

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**ПК-6.2: Готовность к выполнению работ по организационному и техническому обеспечению полного цикла или отдельных стадий эксплуатации теплотехнологического оборудования различных производств**

**Знать:** Схемы, конструкции, характеристики, технико-экономические показатели и особенности эксплуатации компрессоров и оборудования систем воздухообеспечения.

**Уметь:** Анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт, осуществлять выбор основного и вспомогательного оборудования систем воздухообеспечения.

**Владеть:** Навыками разработки мероприятий по повышению энергетической эффективности систем воздухообеспечения промышленных предприятий.

### 3 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий                                                                                                                                                   | Семестр<br>(курс для<br>ЗАО) | Контактная работа |               |                | СР<br>(часы) | Форма<br>текущего<br>контроля |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------|---------------|----------------|--------------|-------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                             |                              | Лек.<br>(часы)    | Пр.<br>(часы) | Лаб.<br>(часы) |              |                               |
| Раздел 1. Общие сведения о нагнетателях                                                                                                                                                                     | 6                            |                   |               |                |              | О                             |
| Тема 1. Классификация нагнетателей.<br>Основные понятия и определения. Основные типы и классификация нагнетателей. Показатели работы нагнетателей.                                                          |                              | 2                 | 2             |                | 3            |                               |
| Тема 2. Принцип действия нагнетателей.<br>Принцип действия динамических нагнетателей. Принцип действия объемных нагнетателей. Высота всасывания.                                                            |                              | 2                 | 2             |                | 3            |                               |
| Раздел 2. Основы теории нагнетателей                                                                                                                                                                        |                              |                   |               |                |              | О                             |
| Тема 3. Центробежные нагнетатели.<br>Конструктивная схема. Параллелограмм скоростей. Уравнение Эйлера. Подобие центробежных нагнетателей.                                                                   |                              | 2                 | 2             |                | 2,75         |                               |
| Тема 4. Осевые нагнетатели.<br>Решетка профилей. Основные уравнения. Характеристики осевых нагнетателей.                                                                                                    |                              | 2                 | 2             |                | 3            |                               |
| Раздел 3. Насосы и системы водоснабжения                                                                                                                                                                    |                              |                   |               |                |              | О,Л                           |
| Тема 5. Системы водоснабжения.<br>Классификация насосных станций. Принципиальные схемы компоновки систем водоснабжения. Трубопроводная арматура.                                                            |                              | 4                 | 2             |                | 3            |                               |
| Тема 6. Насосы.<br>Типовая схема и пуск насосной установки. Работа насоса на сеть. Регулирование насосов. Осевое усилие. Многоступенчатые насосы. Лабораторная работа № 1 «Работа насосов различных типов». |                              | 4                 | 2             | 6              | 3            |                               |
| Раздел 4. Компрессоры и системы воздухообеспечения                                                                                                                                                          |                              |                   |               |                |              | О,Л                           |
| Тема 7. Системы воздухообеспечения.<br>Сжатый воздух в промышленности. Очистка сжатого воздуха. Состав системы воздухообеспечения. Основные типы потребителей сжатого воздуха.                              |                              | 4                 |               |                | 3            |                               |

|                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |       |    |    |       |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------|----|----|-------|--|
| Тема 8. Компрессоры.<br>Конструкции компрессоров. Индикаторная диаграмма.<br>Многоступенчатые компрессоры с<br>дифференциальным поршнем. Характеристики<br>компрессоров. Регулирование компрессоров.<br>Лабораторная работа № 2 «Рабочие процессы<br>поршневого компрессора». |  | 4     |    | 6  | 3     |  |
| Итого в семестре (на курсе для ЗАО)                                                                                                                                                                                                                                           |  | 24    | 12 | 12 | 23,75 |  |
| Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)                                                                                                                                                                                                                               |  | 0,25  |    |    |       |  |
| <b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>                                                                                                                                                                                                                             |  | 48,25 |    |    | 23,75 |  |

#### 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-6.2          | Обучающийся:<br>1) Излагает современное состояние и перспективы развития нагнетателей; знает характеристики и технико-экономические показатели компрессоров и оборудования систем воздухообеспечения.<br>2) Демонстрирует умение выбора нагнетателей и вспомогательного оборудования систем воздухообеспечения, а также их экономичных режимов работы.<br>3) Использует навыки анализа физических процессов, протекающих в нагнетателях, а также навыки по разработке мероприятия по повышению их энергетической эффективности. |

##### 5.2 Система и критерии оценивания

| Шкала оценивания | Критерии оценивания сформированности компетенций                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | Устное собеседование                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Письменная работа                                                                                                                                                                                                                                |
| Зачтено          | Обучающийся показывает всестороннее и глубокое знание основных положений, свободно ориентируется в основных понятиях, терминах и определениях; усвоил основную и знаком с дополнительной литературой; может объяснить взаимосвязь основных положений и их значение для последующей профессиональной деятельности; проявляет творческие способности в использовании учебного материала. Обучающийся демонстрирует правильное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и 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. | Обучающийся демонстрирует правильное понимание условия задачи, выбора нужных законов и формул для ее решения. Умеет применять математический аппарат для реализации плана решения задачи. Получил правильный ответ и может его интерпретировать. |
| Не зачтено       | Обучающийся не имеет достаточного уровня знания дисциплины; не может сформулировать основные положения; плохо ориентируется в основных                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Обучающийся вникает в смысл условия задачи, понимает план ее решения, однако, не может в полной мере с помощью математического аппарата реализовать ее                                                                                           |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |          |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
|  | <p>понятиях и определениях; плохо знаком с основной литературой; допускает при ответе на зачете существенные ошибки и не может устранить их даже под руководством преподавателя. Обучающийся не может проанализировать условие задачи, наметить план ее решения, выбрать физические законы и плохо ориентируется в физических величинах, не владеет математическим аппаратом.</p> | решение. |
|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|

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

#### 5.3.1 Типовые контрольные вопросы

| № п/п     | Формулировки вопросов                                                     |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|
| Семестр 6 |                                                                           |
| 1         | Компрессоры со ступенями сжатия в отдельных цилиндрах.                    |
| 2         | Компрессоры с несколькими ступенями сжатия в одном цилиндре.              |
| 3         | Состав системы воздухообеспечения и компрессорных станций.                |
| 4         | Оборудование компрессорных станций.                                       |
| 5         | Основные типы потребителей сжатого воздуха.                               |
| 6         | Приближенный расчет расхода воздуха у потребителей.                       |
| 7         | Расчет воздухопроводной сети                                              |
| 8         | Основные типы и классификация нагнетателей                                |
| 9         | Конструктивная схема центробежных нагнетателей                            |
| 10        | Параллелограмм скоростей центробежных нагнетателей                        |
| 11        | Уравнение Эйлера для центробежных нагнетателей                            |
| 12        | Характеристики центробежных нагнетателей                                  |
| 13        | Подобие центробежных нагнетателей                                         |
| 14        | Работа насоса на сеть. Последовательное и параллельное соединение насосов |
| 15        | Регулирование насосов                                                     |
| 16        | Осевое усилие при работе насосов                                          |
| 17        | Эксплуатация насосных установок                                           |
| 18        | Геометрическая, полная и вакуумметрическая высота всасывания              |
| 19        | Кавитационный запас                                                       |
| 20        | Термодинамика процесса сжатия                                             |
| 21        | Уравнение сохранения энергии процесса сжатия.                             |
| 22        | КПД и мощность компрессора.                                               |
| 23        | Охлаждение газа в компрессоре                                             |
| 24        | Многоступенчатое сжатие.                                                  |
| 25        | Процессы сжатия и расширения газа в поршневом компрессоре.                |

#### 5.3.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено.

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

Кейс 1. Центробежный насос перекачивает конденсат из конденсатора паровой турбины, переохлажденного до температуры  $t_B$ .

Рассчитать, на каком наименьшем вертикальном расстоянии от минимального уровня в конденсаторе  $H_{BC}^{ДОП}$  должна находиться ось насоса для обеспечения его нормальной работы без кавитационных срывов.

$Q=36$  м<sup>3</sup>/час;  $d_{вс}=150$  мм;  $p_k=19$  кПа;  $h_{вс}^{п}=0,5$  м/вод.ст.;  $n=1500$  об/мин;  $t_B=72$ ;  $C=1500$ .

1 вариант -  $H_{BC}^{ДОП}=+12,5$ ; 2 вариант -  $H_{BC}^{ДОП}=+0,5$ ; 3 вариант -  $H_{BC}^{ДОП}=0$ ; 4 вариант -  $H_{BC}^{ДОП}=-3,4$ .

Кейс 2. Электродвигатель со скоростью вращения 1500 мин<sup>-1</sup> центробежного насоса производительностью 600 м<sup>3</sup>/ч. вышел из строя. Рассчитать новую производительность центробежного насоса при замене приводного электродвигателя, если скорость вращения стала 1000 мин<sup>-1</sup>.

1 вариант:  $Q = 100$  м<sup>3</sup>/ч; 2 вариант:  $Q = 200$  м<sup>3</sup>/ч; 3 вариант:  $Q = 400$  м<sup>3</sup>/ч; 4 вариант:  $Q = 600$  м<sup>3</sup>/ч.

#### 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

Время на подготовку ответа на зачете 30 минут.

## 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>                                                      |                                                                                                                                                                                                          |                                                                              |             |                                                                                               |
| Аляев, В. А., Булаев, С. А., Косенков, Д. В., Котомкин, Д. О., Сагдеев, Д. И., Садыков, А. Х. | Насосы и компрессоры. Часть 1                                                                                                                                                                            | Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет | 2016        | <a href="http://www.iprbookshop.ru/63678.html">http://www.iprbookshop.ru/63678.html</a>       |
| Локалов, Г. А., Марковский, В. М., Аронсон, К. Э.                                             | Осевые и центробежные насосы тепловых электрических станций                                                                                                                                              | Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ                     | 2016        | <a href="http://www.iprbookshop.ru/69653.html">http://www.iprbookshop.ru/69653.html</a>       |
| <b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>                                                |                                                                                                                                                                                                          |                                                                              |             |                                                                                               |
| Коротков, В. А., Татаренко, Ю. В.                                                             | Компрессоры динамического принципа действия                                                                                                                                                              | Санкт-Петербург: Университет ИТМО                                            | 2016        | <a href="http://www.iprbookshop.ru/66514.html">http://www.iprbookshop.ru/66514.html</a>       |
| Молодова, Ю. И.                                                                               | Компрессоры объемного действия. Типы и механизмы движения                                                                                                                                                | Санкт-Петербург: Университет ИТМО, Институт холода и биотехнологий           | 2014        | <a href="http://www.iprbookshop.ru/66515.html">http://www.iprbookshop.ru/66515.html</a>       |
| В.В. Филатов, Н.Н. Гладышев                                                                   | Технологические энергоносители предприятий (Воздухоснабжение промышленных предприятий) [Текст]: методические указания к выполнению курсовой работы «Компрессорная станция для промышленного предприятия» | М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП                      | 2012        | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/tepvozdux.htm">http://www.nizrp.narod.ru/tepvozdux.htm</a> |

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

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>
2. Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД [Электронный ресурс]. URL: <http://nizrp.narod.ru>
3. База данных большой технической библиотеки "Сайт теплотехника" [Электронный ресурс]. URL: <http://teplokot.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 |