

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.В.04**

Сушильные теплотехнологические установки

Учебный план: \_\_\_\_\_ ФГОС3++b130301-4\_23-14.plx

Кафедра: 24 Промышленной теплоэнергетики

Направление подготовки:  
(специальность) 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки:  
(специализация) Энергетика теплотехнологий

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 |                |                   |                          |                                      |
| 7                         | УП  | 34                            | 17                | 17              | 40             | 36                | 4                        | Экзамен, Курсовая<br>работа          |
|                           | РПД | 34                            | 17                | 17              | 40             | 36                | 4                        |                                      |
| Итого                     | УП  | 34                            | 17                | 17              | 40             | 36                | 4                        |                                      |
|                           | РПД | 34                            | 17                | 17              | 40             | 36                | 4                        |                                      |

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):

Кандидат технических наук, доцент

Громова Е.Н.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой промышленной  
теплоэнергетики

Сморозин С.Н.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Сморозин С.Н.

Методический отдел:

Смирнова В.Г.

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** подготовка выпускников для проектирования и эксплуатации разнообразных промышленных сушильных установок, способных осуществлять их непрерывное усовершенствование на основе современной теории и принципов автоматического управления

**1.2 Задачи дисциплины:**

освоение конструктивных особенностей тепломассообменных (сушильных) установок, овладение теорией и современными инженерными методами расчета процессов сушки и тепломассообменных (сушильных) установок при их проектировании или модернизации

**1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:**

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

Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки

Тепломассообменное оборудование теплоэнергетических предприятий

Теплотехнологические процессы в целлюлозно-бумажном производстве

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ПК-1.2: Способен к разработке схем размещения теплотехнического оборудования различных производств</b>                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Знать:</b> схемы размещения сушильных установок, их назначение; конструктивные особенности и эксплуатационные характеристики, физическую сущность тепловых и массообменных процессов в теплотехническом оборудовании.                                                                                                                                                    |
| <b>Уметь:</b> читать тепловые и принципиальные схемы; осуществлять проведение технических и технико-экономических расчетов; анализировать информацию о достижениях отечественной и зарубежной науки и техники, технические данные, показатели и результаты работы, обобщать и систематизировать их, используя современные технические средства и информационные технологии. |
| <b>Владеть:</b> правилами технологической дисциплины при эксплуатации объектов профессиональной деятельности.                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>ПК-6.2: Готовность к выполнению работ по организационному и техническому обеспечению полного цикла или отдельных стадий эксплуатации теплотехнологического оборудования различных производств</b>                                                                                                                                                                        |
| <b>Знать:</b> схемы размещения сушильных установок, их назначение; конструктивные особенности и эксплуатационные характеристики, физическую сущность тепловых и массообменных процессов в теплотехническом оборудовании; методы контроля технического состояния и режимов работы сушильных установок..                                                                      |
| <b>Уметь:</b> анализировать информацию о достижениях отечественной и зарубежной науки и техники, технические данные, показатели и результаты работы, обобщать и систематизировать их, используя современные технические средства и информационные технологии; анализировать параметры работы технологических объектов.                                                      |
| <b>Владеть:</b> расчетов сушильных установок с определением расходов теплоты, пара, потерь теплоты в окружающую среду и определением габаритов установок                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>ПК-7.2: Способен участвовать в проведении предварительного технико-экономического обоснования проектных разработок теплотехнологических объектов и их элементов по стандартным методикам</b>                                                                                                                                                                             |
| <b>Знать:</b> передовой отечественный и мировой опыт в области использования тепловой энергии основные принципы, обеспечивающие энергосбережение и экологическую безопасность производства; вопросы интенсификации тепломассообмена в процессах сушки; физическую сущность тепловых и массообменных процессов в теплотехническом оборудовании.                              |
| <b>Уметь:</b> анализировать информацию о достижениях отечественной и зарубежной науки и техники, технические данные, показатели и результаты работы, обобщать и систематизировать их, используя современные технические средства и информационные технологии; анализировать параметры работы технологических объектов.                                                      |
| <b>Владеть:</b> методикой предварительных технико-экономических расчетов обоснований проектных разработок теплотехнологических объектов.                                                                                                                                                                                                                                    |

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

| Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Семестр<br>(курс для<br>ЗАО) | Контактная работа |               |                | СР<br>(часы) | Инновац.<br>формы<br>занятий | Форма<br>текущего<br>контроля |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------|---------------|----------------|--------------|------------------------------|-------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                              | Лек.<br>(часы)    | Пр.<br>(часы) | Лаб.<br>(часы) |              |                              |                               |
| Раздел 1. Термодинамический анализ процессов сушки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 7                            |                   |               |                |              |                              | О,Т,З                         |
| Тема 1. Классификация сушильных установок. Назначение и применение процессов сушки. Роль процессов сушки в различных отраслях промышленности. Изменение физических свойств материалов в процессе сушки. Классификация сушильных установок по способу подвода теплоты. Организация процесса сушки различных материалов и выбор типа сушильной установки. Физические свойства влажного воздуха. Насыщенный и перегретый пар. Связь между параметрами влажного воздуха |                              | 2                 | 1             |                | 4            | ИЛ                           |                               |
| Тема 2. Термодинамический анализ процессов сушки в теоретических сушильных установках. I-d диаграмма влажного воздуха. Построение процессов на I-d диаграмме. Схема установки с разомкнутым циклом. Особенности этой схемы при неадиабатическом процессе. Схема установки с комбинированным и ступенчатым нагревом воздуха. Схема с рециркуляцией воздуха. Тепловой баланс камеры смешения.                                                                         |                              | 4                 | 1             |                | 4            | ИЛ                           |                               |
| Тема 3. Тепловой баланс теоретической и действительной сушильных установок. Определение углового коэффициента для реального процесса. Повышение эффективности использования теплоты в сушильных установках за счёт применения теплоуловителей.                                                                                                                                                                                                                      |                              | 4                 | 2             |                | 6            | ИЛ                           | Т,Л                           |
| Раздел 2. Кинетика сушки влажных материалов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                              |                   |               |                |              |                              |                               |
| Тема 4. Классификация форм связи влаги с материалом. Классификация влажных материалов. Различные виды связи влаги с материалом. Определение влажности твёрдых тел. Изотермы сорбции и десорбции. Гигроскопическое и равновесное состояние капиллярно-пористых тел. Капиллярное всасывание.                                                                                                                                                                          |                              | 2                 | 2             |                | 2            | ИЛ                           |                               |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |   |   |   |   |    |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---|---|---|---|----|-----------|
| Тема 5. Кривые кинетики сушки при постоянных параметрах источника теплоты. Отдельные стадии процесса: прогрев, период постоянной скорости сушки, период падающей скорости сушки. Аналитическое описание процесса сушки, термограммы материала. Лабораторная работа №1. Исследование кривой насыщения водяного пара                                                                                                                                                                          |  | 2 | 2 | 3 | 4 | ИЛ |           |
| Тема 6. Тепломассоперенос и тепломассообмен в процессах сушки. Внутренняя теплопроводность в процессах сушки. Определение полей влагосодержания и температуры в сечении материала. Дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности. Физическая сущность тепломассообмена в процессах сушки. Молекулярный и молярный перенос. Аналогия процессов теплообмена и массообмена. Критериальные уравнения. Лабораторная работа №2 Определение теплоты парообразования                   |  | 2 | 2 | 2 | 6 | ИЛ |           |
| Раздел 3. Сушильные установки различного назначения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |   |   |   |   |    |           |
| Тема 7. Сушка влажных материалов топочными газами. Топки для сушильных установок. Использование дымовых газов в качестве сушильного агента. Расчёт параметров дымовых газов на входе в сушилку. Анализ процесса сушки в установке, использующей смесь воздуха и продуктов сгорания. Сушильная установка с рециркуляцией дымовых газов. Особенности конструкции топок для сушильных установок. Лабораторная работа №3 Испытание цилиндрической сушилки с взвешенным слоем сыпучего материала |  | 4 | 1 | 4 | 2 | ИЛ | Л,РГР,З,О |
| Тема 8. Конвективные установки для сушки ленточных и листовых материалов. Тепловой баланс камерной сушильной установки. Методика расчёта установки для сушки ленточных материалов. Конструкция и расчёт конвективной установки с сопловым обдувом. Сушильная установка для сушки мелкокусковых материалов. Лабораторная работа №4 Изучение гидродинамики взвешенного слоя                                                                                                                   |  | 2 | 1 | 4 | 2 | ИЛ |           |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |    |    |      |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----|----|------|----|
| Тема 9. Пневматические сушильные установки. Скорость витания и объёмный коэффициент теплообмена. Аэродинамика запылённого потока. Конструкция аэрофонтанной сушильной установки. Порозность и насыпная плотность материала. Методика расчёта сушильных установок с кипящим слоем. Лабораторная работа №5 Определение скорости витания и коэффициента формы частиц               | 2   | 1  | 4  | 2    | ИЛ |
| Тема 10. Барабанные сушильные установки. Конструкция установок. Тепломассообмен во вращающемся барабане. Вспомогательное оборудование: циклон, дымосос. Выбор тягодутьевого оборудования.                                                                                                                                                                                       | 2   | 1  |    | 2    | ИЛ |
| Тема 11. Многоцилиндровые контактно-конвективные сушильные установки (БДМ). Конструкции и режимы работы сушильной части БДМ. Схемы сушильной части БДМ. Тепломассообмен на сушильных цилиндрах при контактно-конвективной сушке материалов. Кинетика сушки бумаги на цилиндре и на участке свободного хода. Методика расчёта теплоты и пара, затрачиваемых на сушку бумаги.     | 2   | 1  |    | 2    | ИЛ |
| Тема 12. Пароконденсатные системы БДМ. Схемы пароконденсатной системы БДМ. Подвод пара и отвод пароконденсатной смеси от сушильных цилиндров. Термопланки. Конденсатоотводчики. Методика расчёта диаметров паро- и конденсатопроводов, водоотделителя, холодильника, дросселирующей шайбы, вакуум-насоса. Стабилизация теплового и гидравлического режимов сушильных цилиндров. | 4   | 1  |    | 2    |    |
| Тема 13. Радиационно-конвективные сушильные установки. Теория радиационной сушки влажных материалов. Коэффициенты облучённости и взаимные излучающие поверхности. Конструкции и методика расчёта радиационно-конвективных сушильных установок для сушки ленточных и дисперсных материалов.                                                                                      | 2   | 1  |    | 2    | ИЛ |
| Итого в семестре (на курсе для ЗАО)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 34  | 17 | 17 | 40   |    |
| Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен, Курсовая работа)                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 2,5 |    |    | 33,5 |    |

|                                                   |  |      |      |  |  |
|---------------------------------------------------|--|------|------|--|--|
| <b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b> |  | 70,5 | 73,5 |  |  |
|---------------------------------------------------|--|------|------|--|--|

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

##### 4.1 Цели и задачи курсовой работы (проекта): Научиться:

- составлять материальный и тепловой балансы сушильной установки;
- определять параметры сушильного агента;
- выполнять конструктивный расчет трубы-сушилки;
- выбирать необходимое вспомогательное оборудование;

##### Задачи:

овладеть навыками расчета сушильных установок различного назначения

**4.2 Тематика курсовой работы (проекта):** Расчет пневматической сушильной установки (по индивидуальному заданию)

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

Работа выполняется индивидуально с использованием методических указаний по курсовому проектированию Лакомкин В.Ю., Смородин С.Н. Расчет проектирование пневматической сушильной установки: учебно-методическое пособие для выполнения курсового проекта/ СПбГТУРП. - СПб., 2013, основной и дополнительной учебной литературы.

Расчётно-пояснительная записка содержит следующие разделы:

- назначение и конструкция установки;
- тепломассообменные расчёты;
- аэродинамические расчёты;
- расчёт и выбор вспомогательного оборудования;

В процессе выполнения курсового проекта студенты закрепляют знания и приобретают навыки самостоятельной инженерной работы. Объём заданий (25-30 страниц текста); графическая часть (объём 1 лист формата А1) содержит схемы, чертежи общего вида установки, наиболее важные узлы и детали.

#### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

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

##### 5.1.1 Показатели оценивания

| Код компетенции | Показатели оценивания результатов обучения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Наименование оценочного средства                                     |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| ПК-1.2          | Иметь представление о схемах размещения сушильных установок, их назначении; конструктивных особенностях и эксплуатационных характеристиках, физической сущности тепловых и массообменных процессов в теплотехническом оборудовании.<br>Способен читать тепловые и принципиальные схемы; осуществлять проведение технических и технико-экономических расчетов; анализировать информацию о достижениях отечественной и зарубежной науки и техники, технические данные, показатели и результаты работы, обобщать и систематизировать их, используя современные технические средства и информационные технологии.<br>Демонстрирует навыки технологической дисциплины при эксплуатации объектов профессиональной деятельности.                                                                                | Вопросы устного собеседования<br>Тестовые задания<br>Курсовая работа |
| ПК-6.2          | Имеет представление о схемах размещения сушильных установок, их назначении; конструктивных особенностях и эксплуатационных характеристиках, физической сущности тепловых и массообменных процессов в теплотехническом оборудовании; методах контроля технического состояния и режимов работы сушильных установок..<br>Способен анализировать информацию о достижениях отечественной и зарубежной науки и техники, технические данные, показатели и результаты работы, обобщать и систематизировать их, используя современные технические средства и информационные технологии; анализировать параметры работы технологических объектов.<br>Демонстрирует навыки расчетов сушильных установок с определением расходов теплоты, пара, потерь теплоты в окружающую среду и определением габаритов установок | Вопросы устного собеседования<br>Тестовые задания<br>Курсовая работа |

|        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                     |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-7.2 | <p>Имеет представление о передовом отечественном и мировом опыте в области использования тепловой энергии, основных принципах, обеспечивающих энергосбережение и экологическую безопасность производства; вопросах интенсификации теплообмена в процессах сушки;</p> <p>физической сущности тепловых и массообменных процессов в теплотехническом оборудовании.</p> <p>Способен анализировать информацию о достижениях отечественной и зарубежной науки и техники, технические данные, показатели и результаты работы, обобщать и систематизировать их, используя современные технические средства и информационные технологии; анализировать параметры работы технологических объектов.</p> <p>Демонстрирует навыки предварительных технико-экономических расчетов обоснований проектных разработок теплотехнологических объектов.</p> | <p>Вопросы устного собеседования</p> <p>Тестовые задания</p> <p>Курсовая работа</p> |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

### 5.1.2 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 соответствующее всем предъявляемым требованиям. Критическое и разностороннее рассмотрение вопросов, свидетельствующее о значительной самостоятельной работе с источниками                                               |
| 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> |

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

#### 5.2.1 Перечень контрольных вопросов

| № п/п     | Формулировки вопросов                                                                                                                                                       |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Семестр 7 |                                                                                                                                                                             |
| 1         | Ленточные установки для сушки кусковых и зернистых материалов. Расход теплоты на испарение влаги. Расчет длины слоя материала.                                              |
| 2         | Тепловой баланс теоретической сушильной установки. Приходные и расходные статьи теоретической установки.                                                                    |
| 3         | Пневматические сушильные установки. Скорость витания. Уравнение теплового баланса.                                                                                          |
| 4         | Тепломассообмен при сушке влажных материалов. Уравнения Ньютона-Рихмана и Дальтона. Критериальные зависимости для определения коэффициентов тепло- и массообмена при сушке. |
| 5         | Выражение влажности твердых материалов. Связь между относительной влажностью, влагосодержанием, абсолютной влажностью и сухостью.                                           |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6  | Повышение эффективности использования теплоты в сушильных установках. Изображение процессов на I-d диаграмме. КПД сушильных установок.                                                                                                                        |
| 7  | Барабанные сушильные установки. Удельный расход теплоты на сушку влажного материала. Уравнение теплового баланса.                                                                                                                                             |
| 8  | Свойства топочных газов как сушильного агента. Состав газов. Влагосодержание газов.                                                                                                                                                                           |
| 9  | Барабанные сушильные установки. Уравнение теплообмена. Определение диаметра и длины барабана.                                                                                                                                                                 |
| 10 | Схемы и расчет сушильных установок, использующих продукты сгорания. Уравнение теплового баланса. Коэффициент избытка воздуха. Процессы изменения состояния газовой смеси на I-d диаграмме.                                                                    |
| 11 | Многоцилиндровые контактно-конвективные сушильные установки. Теплообмен на сушильных цилиндрах. Активный тепловой поток.                                                                                                                                      |
| 12 | Схемы сушильных установок, использующих продукты сгорания. Расход топочных газов. Расход теплоты на испарение влаги. Часовой расход топлива на сушку.                                                                                                         |
| 13 | Тепломассоперенос при контактной сушке бумажного полотна. Плотность массового и теплового потоков при низкотемпературном и высокотемпературном режимах сушки.                                                                                                 |
| 14 | Классификация форм связи влаги с материалом. Высота поднятия жидкости в капиллярах.                                                                                                                                                                           |
| 15 | Кинетика контактно-конвективной сушки бумаги на многоцилиндровых установках. Расчет температуры бумажного полотна на сушильных цилиндрах и участках свободного хода.                                                                                          |
| 16 | Изотермы сорбции и десорбции. Физическая основа. Определение форм связи с материалом по изотермам сорбции и десорбции.                                                                                                                                        |
| 17 | Выражение влажности твердых материалов. Связь между относительной влажностью, влагосодержанием, абсолютной влажностью и сухостью. Расчет расхода испарившейся влаги.                                                                                          |
| 18 | Тепломассоперенос во влажных материалах. Градиенты влагосодержания, температуры и давления. Направления перемещения теплоты и влаги в материале. Распределения влаги и температуры в сечении материала.                                                       |
| 19 | Расчет расхода теплоты и пара для многоцилиндровых сушильных установок в период прогрева, в периоды постоянной и уменьшающейся скорости сушки.                                                                                                                |
| 20 | Тепломассоперенос во влажных материалах. Помещение влаги при низкотемпературном и высокотемпературном режимах сушки. Молекулярный и молярный тепловлагоперенос. Уравнения нестационарной теплопроводности и влагопроводности.                                 |
| 21 | Схемы пароснабжения сушильной части бумагоделательных машин. Параллельная схема. Схема пароснабжения с последовательным перепуском пара по группам. Расчет расхода вторичного пара.                                                                           |
| 22 | Способы удаления конденсата из сушильных цилиндров: ковшом, неподвижным и вращающимися сифонами.                                                                                                                                                              |
| 23 | Тепломассообмен при сушке влажных материалов. Потенциалы переноса теплоты и влаги. Уравнения теплового и массового потоков.                                                                                                                                   |
| 24 | Тепломассообмен при сушке влажных материалов. Определение коэффициентов теплоотдачи и массоотдачи. Критерии и критериальные уравнения для определения коэффициентов теплоотдачи и массоотдачи.                                                                |
| 25 | Кинетика процессов сушки влажных материалов. Периоды сушки. Характерные признаки периодов сушки. Скорость сушки влажных материалов.                                                                                                                           |
| 26 | Радиационно-конвективные сушильные установки. Теория радиационной сушки влажных материалов. Тепловой поток. Поглощение тепловой энергии. Расчет количества испарившейся влаги.                                                                                |
| 27 | Процессы изменения состояния воздуха в сушильных установках: нагрев и охлаждение воздуха, адиабатическое испарение влаги, одновременное охлаждение и осушение воздуха, одновременное нагревание и увлажнение воздуха. Угловой коэффициент для этих процессов. |
| 28 | Кинетика процессов сушки влажных материалов. Расчет длительности периодов прогрева, периода постоянной и уменьшающейся скорости сушки.                                                                                                                        |
| 29 | Процесс смешения потоков воздуха с различными параметрами. Кратность смешения потоков воздуха. Уравнение теплового баланса камеры смешения.                                                                                                                   |
| 30 | Классификация сушильных установок. Виды теплообмена в сушильных установках. Основные расчетные уравнения теплообмена. Расчет испарившейся влаги.                                                                                                              |
| 31 | Схема теоретической сушильной установки с разомкнутым циклом. Изображение процессов на I-d диаграмме. Расходы воздуха и теплоты для испарения влаги.                                                                                                          |
| 32 | Камерные сушильные установки. Схема. Уравнение теплового баланса. Удельный расход теплоты на сушку влажных материалов в камерных установках.                                                                                                                  |
| 33 | Схема сушильной установки с комбинированным нагревом воздуха. Процесс на I-d диаграмме. Расходы воздуха и теплоты на испарение влаги.                                                                                                                         |
| 34 | Конвективные установки непрерывного действия. Уравнение теплового баланса. Расчет габаритов установки.                                                                                                                                                        |
| 35 | Схема сушильной установки со ступенчатым нагревом воздуха. Расход воздуха и теплоты. Изображение процесса на I-d диаграмме. Сравнение циклов по расходам теплоты и воздуха.                                                                                   |

|    |                                                                                                                                                                                   |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 36 | Конвективные установки с сопловым обдувом. Схема установки. Аэродинамика струи. Скорость истечения струи. Расчет коэффициента теплоотдачи и теплового потока при сопловом обдуве. |
| 37 | Схема сушильной установки с рециркуляцией воздуха. Изображение процессов на I-d диаграмме. Расход воздуха. Кратность рециркуляции.                                                |

### 5.2.2 Типовые тестовые задания

При выполнении какого расчета определяются размеры сушильной установки?

- 1) Конструктивного расчета
- 2) Поверочного расчета
- 3) Аэродинамического расчета

Влажный материал в количестве  $G_1 = 0,3$  м<sup>3</sup>/с с начальным влагосодержанием  $U_n = 45\%$  подается в сушильную установку. Конечное влагосодержание высушенного материала  $U_k = 5\%$ . Определите количество испаряемой влаги  $W$

- 1) 12 г/с
- 2) 6,5 г/с
- 3) 10 г/с

Что такое гигроскопическая влага?

- 1) Влага, которую материал способен поглотить из воздуха
- 2) Влага, находящаяся внутри клетки или проникающая в нее под действием односторонней диффузии
- 3) Влага, которую материал способен поглотить при непосредственном соприкосновении с водой

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

Не предусмотрено

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

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

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

### 5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная ☐ + Письменная ☐ + Компьютерное тестирование ☐ + Иная ☐

### 5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Тестовые задания выполняются на компьютерах, время тестирования - 30 минут. На подготовку устного ответа отводится 20 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>       |                                                                                                                              |                                                                   |             |                                                                                                         |
| В.Ю. Лакомкин, С.Н. Смородин, Е.Н. Громова     | Тепломассообменное оборудование предприятий (Сушильные установки) [Текст]: учебное пособие                                   | М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД | 2016        | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte//16.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte//16.pdf</a> |
| <b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b> |                                                                                                                              |                                                                   |             |                                                                                                         |
| В.Ю. Лакомкин, С.Н. Смородин                   | Расчет и проектирование барабанной сушильной установки [Текст]: учебно-методическое пособие для выполнения курсового проекта | М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП           | 2012        | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/barabsush.htm">http://www.nizrp.narod.ru/barabsush.htm</a>           |

|                              |                                                                                                                                  |                                                         |      |                                                                                               |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| В.Ю. Лакомкин, С.Н. Смородин | Расчет и проектирование пневматической сушильной установки [Текст]: учебно-методическое пособие для выполнения курсового проекта | М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП | 2013 | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/rasch2013.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/rasch2013.pdf</a> |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|

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

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

## 6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftWindows 8

Microsoft: Office Standard 2016 Russian OLP NL AcademicEdition

## 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 |
| А-206а               | Лабораторные установки для исследования гидродинамики и тепломассообмена в газодисперсных потоках и при сушке волокнистых материалов                                    |