

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ВШТЭ

## Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.05** Тепломассообменные процессы сушки и сушильные установки

Учебный план: ФГОС3++m130401-2\_20-12.plx

Кафедра: **24** Промышленной теплоэнергетики

Направление подготовки:  
(специальность) 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки: Тепломассообменные процессы и установки  
(специализация)

Уровень образования: магистратура

Форма обучения: очная

### План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)		Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоёмкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
		Лекции	Практ. занятия				
1	УП	34	17	56,75	0,25	3	Зачет
	РПД	34	17	56,75	0,25	3	
Итого	УП	34	17	56,75	0,25	3	
	РПД	34	17	56,75	0,25	3	

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

Составитель (и):

Доктор технических наук, профессор

Бойков Л.М.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой промышленной  
теплоэнергетики

Сморodin С.Н.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Сморodin С.Н.

Методический отдел:

Смирнова В.Г.

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** - углубленная подготовка специалистов для разработки, проектирования и эксплуатации разнообразных промышленных сушильных установок

- подготовка специалистов способных осуществлять непрерывное усовершенствование сушильных установок на основе современной теории и принципов управления с использованием ЭВМ.

### 1.2 Задачи дисциплины:

Приобретение знаний и навыков в области:

- теплофизика процессов сушки
- методика расчета сушильных установок

### 1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

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

Энергосберегающие технологии при производстве электрической и тепловой энергии

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

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**ПКп-4.1: Готов к обеспечению бесперебойной работы, правильной эксплуатации, ремонта и модернизации тепломассообменных установок**

**Знать:** принципиальные технологические схемы производства целлюлозы, бумаги и картона; основные принципы, обеспечивающие энергосбережение и экологическую безопасность производства; вопросы интенсификации тепломассообмена в процессах сушки

**Уметь:** Рассчитывать температурные поля (поля концентраций веществ) в материалах и элементах конструкции теплотехнологических установок; рассчитывать тепловые потоки с целью интенсификации процессов тепломассообмена, обеспечения заданного температурного режима работы оборудования и минимизации тепловых потерь;

**Владеть:** Способами построения изображений, создания схем и эскизов, с применением компьютерных пакетов программ: основами расчета процессов тепломассопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудован

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Инновац. формы занятий	Форма текущего контроля	
		Лек. (часы)	Пр. (часы)				
Раздел 1. Теплофизика процессов сушки	1					С	
Тема 1. Свойства воздуха. Классификация сушильных установок и свойства влажного воздуха.		2	2	4	ИЛ		
Тема 2. Термодинамика сушки. Термодинамический анализ процессов сушки в теоретических сушильных установках.		3	1	4	ИЛ		
Тема 3. Тепловой баланс сушилки. Тепловой баланс теоретической и действительной сушильных установок.		4	2	4	ИЛ		
Тема 4. Газы, как сушильный агент. Сушка материалов топочными газами		4	2	4	ИЛ		
Тема 5. Связь влаги и волокон. Классификация форм связи влаги с материалом.		1		4	ИЛ		
Тема 6. Кинетика сушки. Кинетика сушки влажных материалов		4		4	ИЛ		
Тема 7. Динамика сушки. Тепломассоперенос и тепломассообмен в процессах сушки.		4	2	4	ИЛ		
Раздел 2. Сушильные установки							С
Тема 8. Конвективные сушилки. Конвективные установки для сушки ленточных и листовых материалов.		1		4	ИЛ		
Тема 9. Конструкция трубы-сушилки. Пневматическая и аэрофонтанная сушильные установки.	2	2	2	ИЛ			

Тема 10. Конструкция сушильного барабана. Барабанные сушильные установки.		2	2	2	ИЛ	
Тема 11. Конструкция сушильной части БДМ. Многоцилиндровые контактно-конвективные установки (БДМ/КДМ)		2		4	ИЛ	
Тема 12. Система пароснабжения. Пароконденсатные системы БДМ.		2	2	2	ИЛ	
Тема 13. Вентиляция буммашины. Технологическая вентиляция БДМ.		2	2	4	ИЛ	
Тема 14. ИК-сушка волокнистых материалов. Радиационно-конвективные сушильные установки.		1		4	ИЛ	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		34	17	50		
Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)		0,25				
<b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>		51,25		50		

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

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

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

##### 5.1.1 Показатели оценивания

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
ПКп-4.1	Имеет представление о вопросах интенсификации тепломассообмена в процессах сушки, принципиальных технологических схемах производства целлюлозы, бумаги и картона, основных способах энергосбережения и экологической безопасности производства. Способен рассчитывать тепловые потоки с целью интенсификации процессов тепломассообмена для обеспечения заданного температурного режима работы оборудования и минимизации тепловых потерь. Демонстрирует навыки построения изображений, создания схем и эскизов, с применением компьютерных пакетов программ; основ расчета процессов тепломассопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудован	Вопросы устного собеседования. Тестовые задания

##### 5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
Зачтено	Полный, исчерпывающий ответ, явно демонстрирующий глубокое понимание предмета и глубокую эрудицию в оцениваемой области. Критический	Правильные ответы на 60% вопросов

	оригинальный подход к материалу	
Не зачтено	Обучающийся не имеет достаточного уровня знаний, плохо ориентируется в основных понятиях и определениях, плохо знаком с основной литературой, допускает при ответе на зачете существенные ошибки и не может устранить их даже под руководством руководителя	Правильные ответы на менее 60% вопросов

**5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**  
**5.2.1 Перечень контрольных вопросов**

№ п/п	Формулировки вопросов	
Семестр 1		
1	Повышение эффективности использования теплоты в сушильных установках. КПД сушильных установок	
2	Тепломассообмен при сушке влажных материалов. Уравнения тепломассообмена. Критериальные зависимости	
3	Пневматические сушильные установки. Скорость витания. Уравнение теплового баланса	
4	Тепловой баланс теоретической сушильной установки.	
5	Схема сушильной установки с рециркуляцией воздуха. Кратность рециркуляции	
6	Конвективные сушильные установки непрерывного действия. Уравнение теплового баланса	
7	Схема сушильной установки с комбинированным подводом теплоты. Расходы воздуха и теплоты на испарение влаги	
8	Схемы теоретической и действительной сушки на диаграмме. Расходы воздуха и теплоты для испарения влаги	
9	Классификация сушильных установок. Виды теплообмена в сушильных установках. Основные уравнения теплообмена.	
10	Процесс смешения потоков воздуха с различными параметрами	
11	Процессы изменения состояния воздуха в сушильных установках. Угловой коэффициент	
12	Теплоуловители для системы вентиляции. Теплообмен при конденсации водяных паров из паровоздушной смеси. Расчет поверхности нагрева теплоуловителей	
13	Коэффициента теплообмена и массообмена. Критерии подобия и критериальные уравнения для определения коэффициентов теплоотдачи и массоотдачи	
14	Расход сушильного воздуха для ассимиляции испарившейся влаги	
15	Тепломассообмен при сушке влажных материалов. Потенциалы переноса теплоты и влаги. Уравнения теплового и массового потоков	
16	Схемы вентиляции сушильных установок. Тепловой баланс системы вентиляции	
17	Молекулярный и молярный перенос теплоты и влаги.	
18	Расчет расхода теплоты и пара в различные периоды сушки	
19	Тепломассоперенос во влажных материалах. Градиенты температуры влагосодержания и давления. Направления перемещения теплоты и влаги в материале	
20	Способы удаления конденсата из сушильных цилиндров	
21	Расчет расхода испаряющейся влаги. Интенсивность сушки	
22	Схемы теплоснабжения сушильных установок бумагоделательных машин	
23	Кинетика цилиндрической сушки. Расчет температуры и влагосодержания бумажного полотна на цилиндрах и участках свободного хода	
24	Тепломассоперенос при контактной сушке бумажного полотна. Плотность массового и теплового потоков при различных режимах сушки	
25	Схемы сушильных установок, использующих продукты сгорания. Расход теплоты на испарение влаги. Часовой расход топлива на сушку	
26	Многоцилиндровые контактно-конвективные сушильные установки. Теплообмен на сушильных цилиндрах.	
27	Схема и расчет сушильных установок, использующих продукты сгорания. Уравнение теплового баланса. Коэффициент избытка воздуха	
28	Свойства топочных газов как сушильного агента. Состав газов. Влагосодержание газов	
29	Барабанные сушильные установки. Удельный расход теплоты на сушку влажного материала. Уравнение теплового баланса	

## 5.2.2 Типовые тестовые задания

Направление движения теплоносителей в пароводяном теплообменнике не влияет на величину температурного напора, потому что: ...

1. водяной эквивалент одного из теплоносителей значительно больше другого
2. скорость воды значительно ниже скорости пара
3. температура пара при конденсации не изменятся
4. коэффициенты теплоотдачи с обеих сторон – величины одного порядка

В каких теплообменниках коэффициент теплопередачи практически равен коэффициенту теплоотдачи с одной из сторон  $k=\alpha\gamma$ ?

1. в газо-газовых
2. в газожидкостных
3. в парожидкостных
4. в жидкостно-жидкостных

## 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

Время на подготовку к зачету 40 мин, в это время входит подготовка на теоретические вопросы и тестирование

## 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>				
А.П. Бельский, В.Ю. Лакомкин, С.Н. Смородин	Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях [Текст]: учебное пособие	М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП	2012	<a href="http://www.nizrp.narod.ru/energobereg13.htm">http://www.nizrp.narod.ru/energobereg13.htm</a>
С.Н. Смородин, В.Н. Белоусов, В.Ю. Лакомкин	Методы энергосбережения в энергетических, технологических установках и строительстве [Текст]: учебное пособие	М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП	2014	<a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/10.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/10.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>

### 6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

**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