

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

Уральский энергетический институт  
Кафедра теплоэнергетики и теплотехники

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по науке  
\_\_\_\_\_ В.В. Кружаев  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ГИДРОДИНАМИКА И ТЕПЛООБМЕН В ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМАХ**

<b>Перечень сведений о программе ГИА</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> Промышленная теплоэнергетика	<b>Код ОП</b> 13.06.01
<b>Направление подготовки</b> Электро- и теплотехника	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 13.06.01
<b>Уровень подготовки</b> Подготовка кадров высшей квалификации	
<b>ФГОС ВО</b>	<b>Реквизиты приказа Минобрнауки РФ об утверждении ФГОС ВО:</b> от 30 июля 2014 г. №878 с изменениями и дополнениями от 30. апреля 2015 г.

**СОГЛАСОВАНО**

**УПРАВЛЕНИЕ**  
**подготовки кадров высшей**  
**КВАЛИФИКАЦИИ**

Екатеринбург, 2018

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Кафедра	Подпись
1	В.А. Мунц	Д.т.н., проф.	Зав. кафедрой, профессор	Теплоэнергетика и теплотехника	
2	Е.В. Черепанова	К.т.н., доцент	доцент	Теплоэнергетика и теплотехника	

**Рекомендовано учебно-методическим советом Уральского энергетического института**  
Председатель учебно-методического  
Совета

*Е.В Черепанова*

**Согласовано:**

Заместитель директора института по науке

*С.Е. Кокин*

Начальник ОПНПК

*Е.А. Бутрина*

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования

Код направления и уровня подготовки	Название направления	Реквизиты приказа Министерства образования и науки Российской Федерации об утверждении и вводе в действие ФГОС ВО	
		Дата	Номер приказа
13.06.01	Электро- и теплотехника	30.07.2014	878

### 1.1. Аннотация содержания дисциплины

Дисциплина изучает гидродинамику и теплообмен в псевдоожигенном слое, а также оборудование для осуществления процессов переноса теплоты и массы в аппаратах с псевдоожигенным слоем.

### 1.2. Планируемые результаты освоения дисциплины

Результатом освоения дисциплины является формирование у аспиранта следующих компетенций:

- способность и готовность применять современные методы исследования, проводить технические испытания и научные эксперименты, оценивать результаты выполненной работы (ПК-1);
- готовность использовать новейшие достижения современной науки и передовой технологии в научных исследованиях (ПК-3);
- готовность использовать в практической деятельности теоретические основы рабочих процессов в энергетических машинах, аппаратах и установках, методы расчетного анализа объектов профессиональной деятельности (ПК-5);
- готовность на основе системного подхода строить и использовать модели для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ (ПК-6);

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- особенности пузырькового псевдоожигения;
- конструкции топок с кипящим слоем;
- экологические преимущества топок с кипящим слоем.

Уметь:

- рассчитывать скорость начала псевдоожигения, скорость витания;
- рассчитывать теплообмен в кипящем слое.

Демонстрировать навыки и опыт деятельности:

проводить конструкторский расчет водогрейного котла с кипящим слоем.

### 1.3. Объем дисциплины

Виды учебной работы, формы контроля	Всего часов	Учебные семестры, номер
		5
<b>Аудиторные занятия</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
Лекции	4	4
Практические занятия	-	-
Лабораторные работы	-	-
<b>Самостоятельная работа студентов, включая все виды текущей аттестации</b>	<b>104</b>	<b>104</b>
Промежуточная аттестация	-	зачет
<b>Общий объем по учебному плану, час.</b>		108
<b>Общий объем по учебному плану, з.е.</b>		3

### 2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код раз-делов и тем	Раздел, тема дисциплины	Содержание
1	Тема 1. Режимы псевдоожигения	Скорость начала псевдоожигения. Скорость витания. Псевдоожигение полидисперсных частиц. Пузырьковый режим псевдоожигения. Особенности пузырькового псевдоожигения. Псевдоожигение в слое с пучками труб.
2	Тема 2. Перенос частиц в кипящем слое	Циркуляция и перемешивание частиц по высоте слоя. Перемешивание частиц в горизонтальном направлении. Выброс частиц в надслоевое пространство и унос из слоя. Спекание частиц в кипящем слое. Анализ условий, обеспечивающих минимальный износ омываемых слоем поверхностей.
3	Тема 3. Теплообмен в кипящем слое	Тепло- и массообмен между частицами и псевдоожигающим агентом или слоем в целом. Механизм теплообмена между кипящим слоем и погруженной поверхностью. Факторы, влияющие на максимальный коэффициент теплоотдачи. Локальный теплообмен. Максимальный (средний по поверхности) коэффициент теплоотдачи к погруженным в спой трубам и пучкам труб.
4	Тема 4. Горение в кипящем слое	Выгорание частиц натурального твердого топлива. Модель горения коксовых частиц в слое. Расчет газообразования в слое. Расчет температуры горящих в слое частиц. Связывание оксидов серы.
5	Тема 5. Конструкции котлов с кипящим слоем	Топки со стационарным низкотемпературным кипящим слоем. Топки с циркуляционным кипящим слоем. Топка по схеме «Альстрём». Схема топки Лурги. Схема топки типа Compact-Intrex.
6	Тема 6. Применение топок с кипящим слоем для сжигания твердых бытовых отходов	Топочное устройство с вихревым кипящим слоем. Котельная установка с ЦКС для сжигания отходов.

### 3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

## ДИСЦИПЛИНЫ

### 3.1. Рекомендуемая литература

#### 3.1.1. Основная литература

1. Tugov A.N., Ryabov G.A., Dik E.P., Litoun D.S., Folomeev O.M., Shatman S.G., Smirnov O.N. Operating experience of fluidized bed furnaces of municipal wastes incineration at Rudnevo plant in Russia. В сборнике: «Circulating Fluidized Bed Technology 9» (Труды международной конференции по циркуляционному кипящему слою). 2008. Hamburg. FRG.
2. Тугов А.Н., Рябов Г.А., Родионов В.И., Угначев В.И., Смирнов А.Н., Романов В.В., Гендельсман М.Е., Колин И.Б. Результаты освоения и перспективы использования технологии сжигания отходов в вихревом кипящем слое. Электрические станции. 2006. №6. С. 20 - 26.
3. Вихрев Ю.В., Зеликов Е.Н. Новая энергоустановка в Германии по подготовке и сжиганию твердых бытовых отходов в ЦСК // Энергетика за рубежом (приложение к журналу «Энергетик»). 2008. Вып. 1, с 29-32.
4. Gerdes R. Two-and-a-half years of operating experience with the RDF fired power plant Neumunster // В сборнике: «Circulating Fluidized Bed Technology 9» (Труды международной конференции по циркуляционному кипящему слою). 2008. Hamburg. FRG.

#### 3.1.2. Дополнительная литература

1. Баскаков А.П., Мацнев В.В., Распопов И.В. Котлы и топки с кипящим слоем. 1995. М. Энергоатомиздат.
2. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод)/ под ред М.А. Кузнецова и др. 3-е изд. пере- раб. и дополн. СПб: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. 256 с.
3. Sneyd Robert J. Energy recovery from fluidized bed combustion //Chemical Engng Progr. 1984. V.80. №1. P.48-54.
4. Werther J. Sewage sludge combustion /J. Werther, T. Ogada //Progress in energy and combustion science. Pergamon Press. 1999. V.25. P.55-116.
5. Werther Joachim. Fluidization technology development - the industry/ academia collaboration issue / Joachim Werther //Powder Technology. 2000. V.113. P.230-241.
6. Goidich S.J. Foster Wheeler compact CFB for utility scale/ S.J. Goidich, T. Hyppanen //Proceedings of the 16 th International Conference on fluidized bed combustion. USA, 2001.
7. Nowak W. Ten years of experience of BOT Turow Power plant S.A. in the operation of high-power fluidized-bed boilers / W. Nowak, R. Walkowiak, T. Ozimowski, J. Jablonski, J. Wyszynski // В сборнике «Circulating Fluidized Bed Technology 9» (труды международной конференции по циркуляционному кипящему слою). 2008. Hamburg. FRG.

### 3.2. Программное обеспечение

1. Операционная система Windows 7.
2. Microsoft Office 2007.
3. MatLab.

### 3.3. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Зональная научная библиотека УрФУ <http://lib.urfu.ru/>
2. Российская Государственная библиотека <http://www.rsl.ru/>
3. Российская национальная библиотека <http://www.nlr.ru/>
4. Государственная публичная научно-техническая библиотека России <http://www.gpntb.ru/>
5. Публичная интернет-библиотека <http://www.public.ru/>
6. Студенческая библиотека <http://www.lib.students.ru/>
7. Научная библиотека Санкт-Петербургского Государственного Университета

### 3.4. Электронные образовательные ресурсы

Не используются.

## МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием

Материально-техническое обеспечение должно способствовать изучению дисциплины, наглядно и в доступной форме иллюстрировать лекционный и практический материал.

1. Специализированная аудитория Т-1002 с видеопроекционным комплексом на базе мультимедийного проектора и стационарного компьютера.
2. Специализированная аудитория Т-1104 с видеопроекционным комплексом на базе мультимедийного проектора и переносного компьютера.

В помещении электроцеха ЭПК УрФУ имеется компьютерный класс с компьютером для преподавателя и 16 компьютерами для студентов, которым пользуется кафедра «Теплоэнергетика и теплотехника».

## 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТЦИИ

### Перечень примерных вопросов для зачета

1. Что называется псевдооживленным (кипящим) слоем? Чем объясняются его названия? (ПК-5)
2. Что понимается под скоростью начала псевдооживления? Чем она отличается от скорости свободного витания частицы? (ПК-5)
3. Чему равно аэродинамическое сопротивление кипящего слоя? (ПК-5)
4. Как правильно выбрать скорость начала псевдооживления слоя полидисперсных частиц? (ПК-5)
5. Перечислите основные особенности пузырькового псевдооживления. (ПК-5)
6. Почему температуры частиц и псевдооживляющего агента равны друг другу почти по всей высоте кипящего слоя? (ПК-5)
7. Как изменяется коэффициент теплоотдачи от кипящего слоя к омываемой им поверхности с увеличением скорости псевдооживления? Почему? (ПК-6)
8. Как устроена топка со стационарным низкотемпературным кипящим слоем? (ПК-5)
9. Чему приблизительно равен коэффициент теплоотдачи к поверхности змеевика, размещенного в топке со стационарным низкотемпературным кипящим слоем? (ПК-5)
10. Какова оптимальная температура в топке с кипящим слоем? Чем определяется ее величина? (ПК-5)
11. За счет чего в топке со стационарным кипящим слоем поддерживается оптимальная температура? (ПК-5)
12. В топке с кипящим слоем псевдооживляется смесь горючих частиц и инертных (зола, песок). Какова доля горючих частиц в этой смеси? (ПК-5)
13. Что такое тепловое напряжение решетки? Как оно связано со скоростью псевдооживления? (ПК-5)
14. Каким образом в топках с кипящим слоем связывается сера, содержащаяся в топливе? (ПК-5)
15. Почему перераспределяя подаваемый для горения воздух на первичный и вторичный, можно резко уменьшить концентрацию оксидов азота в продуктах сгорания? (ПК-5)
16. Чем определяется предельное содержание балласта (вода плюс зола) в отходах или шламе, допустимое для сжигания в кипящем слое? Чему оно примерно равно? (ПК-5)
17. В чем различия топок со стационарным и циркуляционным кипящим слоем? Назовите

преимущества топок с циркуляционным кипящим слоем. (ПК-5)

18. Чем различаются топки с циркуляционным кипящим слоем, выполненные по схеме Альстрём, Лурги и Фостер-Уиллер (Compact - Intrex)? (ПК-3)
19. Можно ли в топках с циркуляционным кипящим слоем сжигать несортированные ТБО или они пригодны для сжигания только топлива из отходов мельче 10 мм? (ПК-5)
20. Как расположить отверстия в колпачках для выхода из них псевдоожижающего воздуха, чтобы струи одного колпачка не «срезали» соседние с ним колпачки? (ПК-1)