

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета энергетики и систем  
управления

\_\_\_\_\_ А.В. Бурковский /

\_\_\_\_\_ 22.03.2024 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Высокотемпературные теплотехнологические процессы и  
установки»**

**Направление подготовки** 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

**Профиль** Промышленная теплоэнергетика

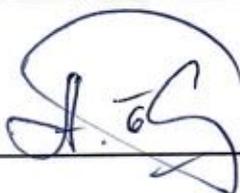
**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года / 4 года и 6 м. / 4 года и 11 м.

**Форма обучения** очная / очно-заочная / заочная

**Год начала подготовки** 2024

Автор программы  
Заведующий кафедрой  
Теоретической и  
промышленной  
теплоэнергетики

\_\_\_\_\_  А.В. Бараков

\_\_\_\_\_  В.В. Портнов

Руководитель ОПОП

\_\_\_\_\_  С.В. Дахин

Воронеж 2024

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

Целью изучения дисциплины является формирование знаний по проектированию, эксплуатации и исследованию энергетических и теплотехнологических установок, которые являются одними из самых ёмких потребителей топлива и других энергоресурсов (электроэнергии, кислорода, сжатого воздуха).

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

Изучение прогрессивных технологических принципов обработки материалов; выбор конструкций нагревательных устройств; обоснование рационального способа генерации теплоты; ресурсо- и энергосбережение путем рационального теплового режима и интенсификации процесса теплопередачи.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-3 - Способен проводить расчеты энергетического и теплотехнического оборудования по типовым методикам

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-3	знать основные закономерности и тенденции развития технических объектов; состав и разделы рабочего проекта высокотемпературных теплотехнологий.
	уметь принимать технические решения при проектировании теплоэнергетических объектов; разрабатывать и оформлять проектную документацию (расчетно-пояснительная записка) для высокотемпературных теплотехнологий машиностроительных заводов; проводить численные расчеты с помощью специализированных программных продуктов в области нагрева и охлаждения.
	владеть навыками конструирования и проектирования теплотехнических систем и установок; навыками эксплуатации высокотемпературных теплотехнологий.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	54	54
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	81	81
<b>Курсовой проект</b>	+	+
Часы на контроль	45	45
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	180	180
зач.ед.	5	5

**очно-заочная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	48	48
В том числе:		
Лекции	16	16
Практические занятия (ПЗ)	16	16
Лабораторные работы (ЛР)	16	16
<b>Самостоятельная работа</b>	87	87
<b>Курсовой проект</b>	+	+
Часы на контроль	45	45
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	180	180
зач.ед.	5	5

**заочная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	12	12
В том числе:		
Лекции	4	4
Практические занятия (ПЗ)	4	4
Лабораторные работы (ЛР)	4	4

<b>Самостоятельная работа</b>	159	159
<b>Курсовой проект</b>	+	+
<b>Часы на контроль</b>	9	9
<b>Виды промежуточной аттестации - экзамен</b>	+	+
<b>Общая трудоемкость:</b>		
академические часы	180	180
зач.ед.	5	5

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

#### очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение	Структурная схема теплотехнологической установки, назначение отдельных элементов. Основные этапы развития теплотехнологических установок, ведущая роль отечественных ученых в развитие энергетики теплотехнологии. Тепловая схема технологической установки, технологические зоны и теплотехнические элементы, классификация тепловых схем. Температурные и тепловые графики, их классификация. Теплотехнические принципы организации теплотехнологических процессов и схемы рабочих камер.	2	-	-	8	10
2	Аэродинамические условия в рабочей камере	Движение газов в технологических камерах. Канальное движение. Струйное движение, внутренняя циркуляция газов, распределение статического давления по высоте рабочего пространства печи. Фильтрационное движение, плотный слой, псевдооживленный слой, взвешенный слой, циклонное движение.	2	2	4	8	16
3	Внешний теплообмен	Радиационный нагрев. Основные способы нагрева. Прямой нагрев, установки с большим объемом рабочего пространства, шахтные печи. Внешний теплообмен в печах с большим объемом свободного рабочего пространства в виде радиационного теплообмена, равномерно распределенный и направленный прямой теплообмен, направленный косвенный теплообмен, теплообмен излучение при муфельировании материала. Внешний теплообмен в печах с радиантными трубами. Конвективный нагрев. Внешний теплообмен в слоевых установках, плотный слой, псевдооживленный слой, слоевые установки с косвенный подводом тепла. Косвенный теплообмен, основные расчетные уравнения.	2	2	4	8	16
4	Внутренний теплообмен	Общая постановка задачи и ее	2	2	4	8	16

		решение. Расчет нагрева "тонких" тел. Расчет нагрева "массовых" тел. Особенности внутреннего теплообмена в псевдоожигенном слое. Численные методы расчета внутреннего теплообмена в монолитных и дисперсных веществах.					
5	Тепловой и материальный балансы ВТУ	Тепловой баланс, приходные и расходные статьи, коэффициенты полезного действия, удельные расходы топлива. Материальный баланс установки	1	1	-	8	10
6	Особенности сжигания топлива в ВТУ	Полное сгорание топлива. Неполное сгорание топлива с коэффициентом избытка воздуха $\alpha < 1$ . Неполное горение при диссоциации продуктов сгорания.	1	1	-	8	10
7	Огнеупорные, теплоизоляционные и строительные материалы	Классификация огнеупорных материалов, их физико-механические и рабочие свойства, пористость, теплопроводность, теплоемкость, огнеупорность, термостойкость, механическая прочность, шлакоустойчивость, термическое расширение, правильность форм и размеров. Основные виды огнеупорных изделий, кремнеземистые, алюмосиликатные, магнезиальные, хромистые, углеродистые, цирконистые, карбидные. Неформированные огнеупорные материалы, огнеупорные бетоны, набивные массы, торкрет-массы, защитные гарниссажи, растворы, обмазки. Теплоизоляционные материалы, диатомит, трепел, асбест, искусственные теплоизоляционные материалы. Другие строительные материалы.	2	1	-	8	11
8	Печи для нагрева металлов	Технология и расчет процесса нагрева, температура нагрева, равномерность нагрева, угар, режим нагрева, температурные напряжения, расчет продолжительности нагрева «тонких» и «массивных» тел. Печи для нагрева слитков перед прокаткой и ковкой, камерные печи, нагревательные колодцы, проходные нагревательные печи, толкательные, с роликовым подом, с шагающими балками. Термические печи, садочные печи периодического действия, проходные печи непрерывного действия. Электрические нагревательные печи.	2	3	-	8	13
9	Плавильные печи	Технология и расчет процесса плавления, температура плавления, расчет продолжительности плавки. Топливные плавильные печи, доменная печь, вагранка, конвертор, мартеновская печь, отражательная печь, циклонная печь. Электрические плавильные печи, дуговые печи, вакуумные дуговые печи, электрошлаковые печи, индукционные печи.	2	3	-	8	13
10	Рациональное топливоиспользование в ВТУ	Основные направления рационального энерго- и теплоиспользования, основы безотходных и энергосберегающих	2	3	6	9	20

	методов организации технологических процессов. Регенеративный подогрев компонентов горения, экономия топлива, повышение температуры горения, классификация подогревателей компонентов горения. Рекуперативные теплообменные аппараты, тепловой и гидравлический расчет, рекуператор из гладких стальных труб, игольчатый рекуператор, радиационные рекуператоры, керамические рекуператоры.						
<b>Итого</b>		<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>81</b>	<b>135</b>	

### очно-заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение	Структурная схема теплотехнологической установки, назначение отдельных элементов. Основные этапы развития теплотехнологических установок, ведущая роль отечественных ученых в развитие энергетики теплотехнологии. Тепловая схема технологической установки, технологические зоны и теплотехнические элементы, классификация тепловых схем. Температурные и тепловые графики, их классификация. Теплотехнические принципы организации теплотехнологических процессов и схемы рабочих камер.	1	-	-	9	10
2	Аэродинамические условия в рабочей камере	Движение газов в технологических камерах. Канальное движение. Струйное движение, внутренняя циркуляция газов, распределение статического давления по высоте рабочего пространства печи. Фильтрационное движение, плотный слой, псевдооживленный слой, взвешенный слой, циклонное движение.	1	1	4	9	15
3	Внешний теплообмен	Радиационный нагрев. Основные способы нагрева. Прямой нагрев, установки с большим объемом рабочего пространства, шахтные печи. Внешний теплообмен в печах с большим объемом свободного рабочего пространства в виде радиационного теплообмена, равномерно распределенный и направленный прямой теплообмен, направленный косвенный теплообмен, теплообмен излучение при муфельировании материала. Внешний теплообмен в печах с радиантными трубами. Конвективный нагрев. Внешний теплообмен в слоевых установках, плотный слой, псевдооживленный слой, слоевые установки с косвенный подводом тепла. Косвенный теплообмен, основные расчетные уравнения.	2	1	4	9	16
4	Внутренний теплообмен	Общая постановка задачи и ее решение. Расчет нагрева "тонких" тел. Расчет нагрева "массовых" тел. Особенности внутреннего теплообмена в псевдооживленном слое. Численные	2	2	4	9	17

		методы расчета внутреннего теплообмена в монолитных и дисперсных веществах.					
5	Тепловой и материальный балансы ВТУ	Тепловой баланс, приходные и расходные статьи, коэффициенты полезного действия, удельные расходы топлива. Материальный баланс установки	1	1	-	9	11
6	Особенности сжигания топлива в ВТУ	Полное сгорание топлива. Неполное сгорание топлива с коэффициентом избытка воздуха $\alpha < 1$ . Неполное горение при диссоциации продуктов сгорания.	1	1	-	9	11
7	Огнеупорные, теплоизоляционные и строительные материалы	Классификация огнеупорных материалов, их физико-механические и рабочие свойства, пористость, теплопроводность, теплоемкость, огнеупорность, термостойкость, механическая прочность, шлакоустойчивость, термическое расширение, правильность форм и размеров. Основные виды огнеупорных изделий, кремнеземистые, алюмосиликатные, магнезиальные, хромистые, углеродистые, цирконистые, карбидные. Неформированные огнеупорные материалы, огнеупорные бетоны, набивные массы, торкрет-массы, защитные гарниссажи, растворы, обмазки. Теплоизоляционные материалы, диатомит, трепел, асбест, искусственные теплоизоляционные материалы. Другие строительные материалы.	2	1	-	8	11
8	Печи для нагрева металлов	Технология и расчет процесса нагрева, температура нагрева, равномерность нагрева, угар, режим нагрева, температурные напряжения, расчет продолжительности нагрева «тонких» и «массивных» тел. Печи для нагрева слитков перед прокаткой и ковкой, камерные печи, нагревательные колодцы, проходные нагревательные печи, толкательные, с роликовым подом, с шагающими балками. Термические печи, садочные печи периодического действия, проходные печи непрерывного действия. Электрические нагревательные печи.	2	3	-	8	13
9	Плавильные печи	Технология и расчет процесса плавления, температура плавления, расчет продолжительности плавки. Топливные плавильные печи, доменная печь, вагранка, конвертор, мартеновская печь, отражательная печь, циклонная печь. Электрические плавильные печи, дуговые печи, вакуумные дуговые печи, электрошлаковые печи, индукционные печи.	2	3	-	8	13
10	Рациональное топливоиспользование в ВТУ	Основные направления рационального энерго- и теплоиспользования, основы безотходных и энергосберегающих методов организации технологических процессов. Регенеративный подогрев компонентов горения, экономия топлива, повышение температуры	2	3	4	9	18

		горения, классификация подогревателей компонентов горения. Рекуперативные теплообменные аппараты, тепловой и гидравлический расчет, рекуператор из гладких стальных труб, игольчатый рекуператор, радиационные рекуператоры, керамические рекуператоры.					
<b>Итого</b>			<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>87</b>	<b>135</b>

### заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение	Структурная схема теплотехнологической установки, назначение отдельных элементов. Основные этапы развития теплотехнологических установок, ведущая роль отечественных ученых в развитие энергетики теплотехнологии. Тепловая схема технологической установки, технологические зоны и теплотехнические элементы, классификация тепловых схем. Температурные и тепловые графики, их классификация. Теплотехнические принципы организации теплотехнологических процессов и схемы рабочих камер.	1	-	-	5	6
2	Аэродинамические условия в рабочей камере	Движение газов в технологических камерах. Канальное движение. Струйное движение, внутренняя циркуляция газов, распределение статического давления по высоте рабочего пространства печи. Фильтрационное движение, плотный слой, псевдооживленный слой, взвешенный слой, циклонное движение.	-	1	-	18	19
3	Внешний теплообмен	Радиационный нагрев. Основные способы нагрева. Прямой нагрев, установки с большим объемом рабочего пространства, шахтные печи. Внешний теплообмен в печах с большим объемом свободного рабочего пространства в виде радиационного теплообмена, равномерно распределенный и направленный прямой теплообмен, направленный косвенный теплообмен, теплообмен излучение при муфелировании материала. Внешний теплообмен в печах с радиантными трубами. Конвективный нагрев. Внешний теплообмен в слоевых установках, плотный слой, псевдооживленный слой, слоевые установки с косвенный подводом тепла. Косвенный теплообмен, основные расчетные уравнения.	1	-	2	20	23
4	Внутренний теплообмен	Общая постановка задачи и ее решение. Расчет нагрева "тонких" тел. Расчет нагрева "массовых" тел. Особенности внутреннего теплообмена в псевдооживленном слое. Численные методы расчета внутреннего теплообмена в монолитных и дисперсных веществах.	-	1	-	20	21
5	Тепловой и материальный	Тепловой баланс, приходные и	-	-	-	15	15

	балансы ВТУ	расходные статьи, коэффициенты полезного действия, удельные расходы топлива. Материальный баланс установки					
6	Особенности сжигания топлива в ВТУ	Полное сгорание топлива. Неполное сгорание топлива с коэффициентом избытка воздуха $\alpha < 1$ . Неполное горение при диссоциации продуктов сгорания.	-	1	-	18	19
7	Огнеупорные, теплоизоляционные и строительные материалы	Классификация огнеупорных материалов, их физико-механические и рабочие свойства, пористость, теплопроводность, теплоемкость, огнеупорность, термостойкость, механическая прочность, шлакоустойчивость, термическое расширение, правильность форм и размеров. Основные виды огнеупорных изделий, кремнеземистые, алюмосиликатные, магнезиальные, хромистые, углеродистые, цирконистые, карбидные. Неформированные огнеупорные материалы, огнеупорные бетоны, набивные массы, торкрет-массы, защитные гарниссажи, растворы, обмазки. Теплоизоляционные материалы, диатомит, трепел, асбест, искусственные теплоизоляционные материалы. Другие строительные материалы.	-	-	-	15	15
8	Печи для нагрева металлов	Технология и расчет процесса нагрева, температура нагрева, равномерность нагрева, угар, режим нагрева, температурные напряжения, расчет продолжительности нагрева «тонких» и «массивных» тел. Печи для нагрева слитков перед прокаткой и ковкой, камерные печи, нагревательные колодцы, проходные нагревательные печи, толкательные, с роликовым подом, с шагающими балками. Термические печи, садочные печи периодического действия, проходные печи непрерывного действия. Электрические нагревательные печи.	-	-	2	15	17
9	Плавильные печи	Технология и расчет процесса плавления, температура плавления, расчет продолжительности плавки. Топливные плавильные печи, доменная печь, вагранка, конвертор, мартеновская печь, отражательная печь, циклонная печь. Электрические плавильные печи, дуговые печи, вакуумные дуговые печи, электрошлаковые печи, индукционные печи.	1	-	-	15	16
10	Рациональное топливоиспользование в ВТУ	Основные направления рационального энерго- и теплоиспользования, основы безотходных и энергосберегающих методов организации технологических процессов. Регенеративный подогрев компонентов горения, экономия топлива, повышение температуры горения, классификация подогревателей компонентов горения. Рекуперативные теплообменные аппараты, тепловой и гидравлический	1	1	-	18	20

		расчет, рекуператор из гладких стальных труб, игольчатый рекуператор, радиационные рекуператоры, керамические рекуператоры.					
<b>Итого</b>			<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>159</b>	<b>171</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторная работа № 1. Исследование гидродинамики установки с псевдооживленным слоем.

Лабораторная работа № 2. Исследование внешнего теплообмена в электрической муфельной печи.

Лабораторная работа № 3. Исследование нестационарного температурного поля в бесконечной пластине.

Лабораторная работа № 4. Тепловой баланс электрической муфельной печи.

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта в 5 семестре для очной формы обучения, в 6 семестре для очно-заочной формы обучения, в 6 семестре для заочной формы обучения.

Примерная тематика курсового проекта: «Тепловой расчет нагревательных печей непрерывного действия».

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- расчет горения топлива, тепловой и материальный балансы;
- расчет внешнего теплообмена и определение продолжительности нагрева, определение основных резервов рабочего пространства и расхода топлива;
- разработка мероприятий по рационализации топливоиспользования и расчет теплотехнической установки (воздухоподогреватель, КУ).

Курсовой проект включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

**7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
-------------	---	---------------------	------------	---------------

	компетенции			
ПК-3	знать основные закономерности и тенденции развития технических объектов; состав и разделы рабочего проекта высокотемпературных теплотехнологий.	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсового проекта	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь принимать технические решения при проектировании теплоэнергетических объектов; разрабатывать и оформлять проектную документацию (расчетно-пояснительная записка) для высокотемпературных теплотехнологий машиностроительных заводов; проводить численные расчеты с помощью специализированных программных продуктов в области нагрева и охлаждения.	Выполнение курсового проекта, выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками конструирования и проектирования теплотехнических систем и установок; навыками эксплуатации высокотемпературных теплотехнологий.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана работ по разработке курсового проекта, выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5 семестре для очной формы обучения, 6 семестре для очно-заочной формы обучения, 6 семестре для заочной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-3	знать основные закономерности и тенденции развития технических объектов; состав и разделы рабочего проекта высокотемпературных теплотехнологий.	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь принимать технические решения при проектировании теплоэнергетических объектов; разрабатывать и оформлять проектную документацию (расчетно-пояснительная записка) для	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

высокотемпературных теплотехнологий машиностроительных заводов; проводить численные расчеты с помощью специализированных программных продуктов в области нагрева и охлаждения.						
владеть навыками конструирования и проектирования теплотехнических систем и установок; навыками эксплуатации высокотемпературных теплотехнологий.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены	

## **7.2 Примерный перечень оценочных средств (типичные контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)**

### **7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию**

1. Как изменится осевая скорость потока в пределах начального участка свободной затопленной струи?
  1. Возрастает.
  2. Уменьшается.
  3. Не изменяется.
  4. Это зависит от сечения струи.
  5. Это зависит от вида теплоносителя.
2. Как изменяется осевая скорость потока в пределах основного участка свободной затопленной струи?
  1. Возрастает.
  2. Уменьшается.
  3. Не изменяется.
  4. Это зависит от сечения струи.
  5. Это зависит от вида теплоносителя.
3. Что обеспечивает более равномерное температурное поле в рабочем пространстве печи?
  1. Применение большего числа горелок меньшего диаметра устья.
  2. Применение меньшего числа горелок большего диаметра устья.
  3. Применение горелок типа "труба в трубе".
  4. Применение температурных горелок.
  5. Применение плоскопламенных горелок.
4. Что произойдет со слоем дисперсного материала, если скорость теплоносителя станет равной первой критической скорости псевдооживления?
  1. Материал будет находиться в плотном слое.
  2. Материал будет находиться в псевдооживленном слое.
  3. Материал будет находиться во взвешенном слое.
  4. Это зависит от вида материала.
  5. Это зависит от вида теплоносителя.

5. Что произойдет со слоем дисперсного материала, если скорость теплоносителя станет равной второй критической скорости псевдооживления?
1. Материал будет находится в плотном слое.
  2. Материал будет находится в псевдооживленном слое.
  3. Материал будет находится во взвешенном слое.
  4. Это зависит от вида материала.
  5. Это зависит от вида теплоносителя.
6. На каком уровне проходит плоскость  $\pm 0$  в рабочем пространстве печи?
1. На уровне свода.
  2. На уровне пола.
  3. На уровне борова печи.
  4. На уровне открытого технологического окна.
  5. На уровне зарытого шибера.
7. Как изменятся потери давления теплоносителя, если его скорость возрастает в 2 раза?
1. Не изменятся.
  2. Уменьшатся в 2 раза.
  3. Возрадут в 2 раза.
  4. Возрадут в 4 раза.
  5. Возрадут в 6 раз.
8. От чего зависит величина естественной тяги, создаваемой дымовой трубой?
1. От плотности атмосферы воздуха.
  2. От плотности теплоносителя.
  3. От высоты дымовой трубы.
  4. От диаметра дымовой трубы.
  5. От всех этих факторов.
9. Какой из перечисленных параметров теплоносителя оказывает наибольшее влияние на интенсивность лучистого теплообмена?
1. Эффективная толщина слоя теплоносителя.
  2. Температура теплоносителя.
  3. Состав теплоносителя.
  4. Теплофизические свойства теплоносителя.
  5. Действие всех параметров равнозначно.
10. От чего зависит степень черноты газообразного теплоносителя?
1. От его температуры.
  2. От концентрации 3-х атомных газов.
  3. От концентрации водяных паров.
  4. От эффективной толщины слоя теплоносителя.
  5. От всех этих параметров.

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

Не предусмотрено учебным планом.

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Определить наименьшее значение сгорания теплоносителя в рабочем пространстве печи, если:

- ширина рабочего прогрева 10 м;
- высота рабочего прогрева 2 м;
- теплоноситель – продукт сгорания топлива с температурой 1000 °С.

2. Определить расстояние от устья горелки типа «труба в трубе», осевая скорость теплоносителя будет равна 10 м/с, если:

- диаметр носика горелки 0,07 м;
- скорость истечения газозвушной смеси из носика горелки 25 м/с.

3. Для слоя частиц хромита с эквивалентным диаметром  $d_э=0,58$  мм и плотностью  $\rho_м=3600$  кг/м<sup>3</sup> и порозностью  $\varepsilon_0=0,58$ , определить критические скорости псевдооживения, если оживения газом служат продукты сгорания топлива с температурой 1150 °С. Определить порозность псевдооживенного слоя таких частиц, если скорость оживения газа равна  $\omega=3,8 \cdot \omega'_{кр}$ .

4. Применительно к условию задачи 1 потери давления на трение, если длина рабочего пространства печи составляет 50 метров.

5. Применительно к условию задачи 1.4 определить потери на трение, если скорость движения возрастет до 3 м/с, а стены, свод и под печи выполнены из огнеупорного кирпича.

6. Применительно к условию задачи 5 определить потери давления теплоносителя при входе в дымоход (боров), если его площадь составляет 3,6 м<sup>2</sup>.

7. Применительно к условию задачи 3 определить гидравлическое сопротивление слоя частиц, если скорость теплоносителя 0,2 м/с, а высота слоя  $H_0=0,5$  м.

8. Применительно к условию задачи 3 определить гидравлическое сопротивление и высоту псевдооживенного слоя, если его насыпная высота  $H_0=0,5$  м.

9. Определить высоту разряжения, создаваемого дымовой трубой высотой 20 м, если теплоноситель имеет температуру 1000 °С.

10. Произвести расчет высоты и диаметров дымовой трубы, установленной за трехзонной методической печью, если  $h_п \cdot l_a^6 = 200$  Па, скорость в устье  $\omega_в=3$  м/с; температура газов  $t_г=300$  °С, их расход  $V_г=5$  м<sup>3</sup>/с.

### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом.

### 7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену

1. Принципиальная схема ВТУ.
2. Тепловые схемы ВТУ.
3. Уравнение Бернулли. Статика рабочего пространства ВТУ.

4. Характер движения теплоносителей в камерах ВТУ.
5. Аэродинамика слоевых установок.
6. Сопротивления движению теплоносителей в камерах ВТУ.
7. Расчет дымовой трубы и выбор дымососа.
8. Прямой радиационный теплообмен в камерах ВТУ.
9. Косвенный радиационный теплообмен в камерах ВТУ.
10. Внешний теплообмен в слоевых ВТУ.
11. Конвективный теплообмен в камерах ВТУ.
12. Расчет внутреннего теплообмена. Математическая формулировка задачи и ее решения на примере бесконечной пластины.
13. Расчет нагрева тонких тел.
14. Расчет нагрева массивных тел.
15. Тепловой и материальный балансы ВТУ.
16. Классификация огнеупорных материалов и их физико-механические свойства.
17. Основные виды огнеупорных материалов.
18. Неформированные огнеупорные материалы.
19. Теплоизоляционные материалы.
20. Технология и расчет процесса нагрева металла.
21. Регенеративные нагревательные колодцы.
22. Рекуперативные нагревательные колодцы.
23. Методические нагревательные печи.
24. Термические печи.
25. Электрические нагревательные печи.
26. Технология и расчет процесса нагревания материалов.
27. Топливные плавильные печи шахтного типа.
28. Топливные плавильные печи пламенного типа.
29. Конверторы.
30. Электродуговые плавильные печи.
31. Индукционные плавильные печи.
32. Рекуперативные ПКГ конвективного типа.
33. Рекуперативные ПКГ радиационного типа.
34. Регенеративные ПКГ.
35. Классификация и использование ВЭР.
36. Считка промышленных газов.

#### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 2 вопроса и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 1 балл.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент не решил задачу и не ответил на вопросы.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент ответил на один вопрос или решил задачу.

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент ответил на один вопрос и решил задачу.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент ответил на вопросы и решил задачу.

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение	ПК-3	Тест, экзамен
2	Аэродинамические условия в рабочей камере	ПК-3	Тест, защита лабораторных работ, контрольная работа, экзамен
3	Внешний теплообмен	ПК-3	Тест, защита лабораторных работ, контрольная работа, экзамен
4	Внутренний теплообмен	ПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, экзамен
5	Тепловой и материальный балансы ВТУ	ПК-3	Тест, контрольная работа, требования к курсовому проекту, экзамен
6	Особенности сжигания топлива в ВТУ	ПК-3	Тест, контрольная работа, требования к курсовому проекту, экзамен
7	Огнеупорные, теплоизоляционные и строительные материалы	ПК-3	Тест, контрольная работа, требования к курсовому проекту, экзамен
8	Печи для нагрева металлов	ПК-3	Тест, контрольная работа, требования к курсовому проекту, экзамен
9	Плавильные печи	ПК-3	Тест, контрольная работа, требования к курсовому проекту, экзамен
10	Рациональное топливоиспользование в ВТУ	ПК-3	Тест, контрольная работа, требования к курсовому проекту, экзамен

### 7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач

на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Основы высокотемпературной теплотехнологии: учебное пособие / А.В. Бараков, Д.А. Прутских, А.А. Надеев, В.Ю. Дубанин; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2022. – 90 с.

2. Бараков А.В. Тепловой расчёт методической печи: учеб. пособие / А.В. Бараков, В.Ю. Дубанин, А.А. Надеев. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017. – 109 с.

3. Троянкин Ю.В. Проектирование и эксплуатация высокотемпературных технологических установок: учеб. пособие / Троянкин Ю.В. – М: Энергоатомиздат 1988. – 256 с.

### **8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

#### **8.2.1 Перечень ресурсов сети «Интернет»**

- Российское образование. Федеральный портал. <http://www.edu.ru>;
- Образовательный портал ВГТУ <https://old.education.cchgeu.ru>;
- Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам»: <http://window.edu.ru>;
- Проект ВГТУ:Знания: <https://wiki.cchgeu.ru>.
- Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru>;
- Единая система конструкторской документации. URL: [https://standartgost.ru/0/2871-edinaya\\_sistema\\_konstruktorskoj\\_dokumentatsii](https://standartgost.ru/0/2871-edinaya_sistema_konstruktorskoj_dokumentatsii);
- Федеральный институт промышленной собственности. Информационно-поисковая система. URL: [www1.fips.ru](http://www1.fips.ru);
- Национальная электронная библиотека: [elibrary.ru](http://elibrary.ru);
- Информационный портал Temperatures.ru: <http://temperatures.ru>.

#### **8.2.2 Перечень информационных технологий**

- Windows Professional 8.1 (7 и 8) Single Upgrade MVL A Each Academic;
- OpenOffice;

- Adobe Acrobat Reader;
- SMath Studio;
- Компас-График LT;
- Internet explorer.

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

1. Специализированная лекционная аудитория, оснащённая оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.
2. Дисплейный класс, оснащённый компьютерными программами для проведения тестирования.
3. Учебная лаборатория «Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки» для выполнения лабораторных работ.

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовой проект.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета высокотемпературных установок. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсового проекта изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсового проекта должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсового проекта, защитой курсового проекта.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом

занятие	лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начинаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом, экзаменом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
----------	-----------------------------	----------------------------	--