

УТВЕРЖДАЮ
Директор ВШТЭ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.03	Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях
(Индекс дисциплины)	(Наименование дисциплины)
Кафедра: 24	Промышленной теплоэнергетики
Код	Наименование кафедры
Направление подготовки: <u>13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника</u>	
Профиль подготовки: <u>Энергетика теплотехнологий</u>	
Уровень образования: <u>Бакалавриат</u>	

План учебного процесса

Составляющие учебного процесса		Очное обучение	Очно-заочное обучение*	Заочное обучение*
Контактная работа обучающихся с преподавателем по видам учебных занятий и самостоятельная работа обучающихся (часы)	Всего	252		
	Аудиторные занятия	70		
	Лекции	28		
	Лабораторные занятия	28		
	Практические занятия	14		
	Самостоятельная работа	146		
	Промежуточная аттестация	36		
Формы контроля по семестрам (номер семестра)	Экзамен	7		
	Зачет			
	Контрольная работа			
Общая трудоемкость дисциплины (зачетные единицы)		7		

Форма обучения:	Распределение зачетных единиц трудоемкости по семестрам									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Очная							7			
Очно-заочная										
Заочная										

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

На основании учебных планов № b130301-3_20

Кафедра-разработчик: Промышленной теплоэнергетики

Заведующий кафедрой: Сморозин С.Н.

СОГЛАСОВАНИЕ:

Выпускающая кафедра: Промышленной теплоэнергетики

Заведующий кафедрой: Сморозин С.Н.

Методический отдел: Смирнова В.Г.

1. ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Место преподаваемой дисциплины в структуре образовательной программы

Блок 1: Базовая Обязательная Дополнительно является факультативом
 Вариативная По выбору

1.2. Цель дисциплины

подготовка специалистов теплоэнергетиков, способных проектировать и эксплуатировать печные установки, содорегенерационные котельные агрегаты и другое высокотемпературное теплотехнологическое оборудование.

1.3. Задачи дисциплины научить выполнять инженерные расчёты топочных и теплообменных процессов в области высокотемпературной теплотехнологии, составлять, решать и анализировать уравнения материального и теплового балансов, принимать экономически обоснованные решения в области энергосберегающих мероприятий.

1.4. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код компетенции	Формулировка компетенции	Этап формирования
ПК- 1	способностью участвовать в сборе и анализе исходных данных для проектирования энергообъектов и их элементов в соответствии с нормативной документацией	1
Планируемые результаты обучения Знать: передовые методы управления производством, передачи и потребления энергии и применяемое энергосберегающее оборудование; методы проведения энергетических обследований потребителей энергетических ресурсов; типовые энергосберегающие мероприятия в энергетических и технологических установках, тепловых и электрических сетях, зданиях и сооружениях. Уметь: оценивать энергетическую эффективность оборудования, технологических установок, производств; оценивать экономию энергетических ресурсов за счет проведения энергосберегающих мероприятий. Владеть: навыками составления и анализа энергетических балансов аппаратов, технологических установок, зданий и сооружений, промышленных предприятий и коммунальных потребителей.		

1.5. Дисциплины (практики) образовательной программы, в которых было начато формирование компетенций, указанных в п.1.4:

Дисциплина базируется на компетенциях, сформированных на предыдущем уровне образования.

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование и содержание учебных модулей, тем и форм контроля	Объем (часы)		
	очное обучение	очно-заочное обучение	заочное обучение
Учебный модуль 1. Высокотемпературные установки и энергосбережение			
Тема 1. Промышленные печи. Особенности организации топочных процессов в промышленных печах. Классификация печей по технологическим признакам и конструктивному исполнению. Горелки для печных установок. Расчёт горелочных устройств и топок для печей. Уравнение теплового баланса печи. КПД печи	30		
Тема 2. Регенерация теплоты высокотемпературных установок. Котлы-утилизаторы. Теплофикационные теплообменники. Мокрые скрубберы.	30		
Тема 3. Улавливание вредных газовых и пылевидных веществ с целью предотвращения загрязнения окружающей среды. Улавливание технологически	30		

Наименование и содержание учебных модулей, тем и форм контроля	Объем (часы)		
	очное обучение	очно-заочное обучение	заочное обучение
ценных газообразных и пылевидных веществ. Утилизация теплоты паровых котлов.			
Текущий контроль 1. Тест	2		
Учебный модуль 2. Природные топлива и горючие отходы			
Тема 4. Тепловой баланс топки. Устойчивость топочного процесса. Развитие горящего факела при сжигании газа. Организация процесса сжигания жидкого топлива. Влияние распыла на интенсивность процесса горения. Подготовка и сжигание древесной коры и отходов. Подготовка и сжигание лигнина. Сжигание биологического ила.	20		
Тема 5. Газификация твёрдых топлив. Интенсификация процессов газификации. Методика расчёта процессов газификации твёрдого топлива. Конструкции газогенераторов. Очистка генераторного газа. Схемы газогенераторных станций.	20		
Тема 6. Регенерация щелоков. Организация топочных процессов в содорегенерационных котлоагрегатах (СРК). Основные закономерности и повышение эффективности топочных процессов в СРК. Снижение химической и механической неполноты сгорания. Мероприятия по снижению уноса.	20		
Текущий контроль 2. Тест	2		
Учебный модуль 3. Энергосбережение и энергоаудит на объектах теплоэнергетики и в ЖКХ			
Тема 7. Способы экономии топливно-энергетических ресурсов. Теплоснабжение и типовые энергосберегающие мероприятия в ЖКХ.	15		
Тема 8. Оценка энергосбережения в теплотехнологических процессах и установках. Методика и организация проведения энергоаудита. Виды энергоаудита	15		
Тема 9. Организация учета топлива, тепловой и электрической энергии, воды и сжатого воздуха	15		
Тема 10. Оценка энергосбережения в теплотехнологических процессах и установках. Энергетический паспорт промышленных предприятий и объектов ЖКХ	15		
Текущий контроль 3. Тест	2		
Промежуточный контроль по дисциплине экзамен	36		
ВСЕГО:	252		

3. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

3.1. Лекции

Номера изучаемых тем	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
1	7	4				
2	7	2				
3	7	2				
4	7	4				
5	7	4				
6	7	2				
7	7	4				
8	7	2				
9	7	2				
10	7	2				
ВСЕГО:		28				

3.2. Практические и семинарские занятия

Номера изучаемых тем	Наименование и форма занятий	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
		Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)

Номера изучаемых тем	Наименование и форма занятий	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
		Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
1	Расчёт горелочных устройств и топок для печей. Уравнение теплового баланса печи. КПД печи Методика расчёта промышленных печей.	7	2				
2	Котлы-утилизаторы. Теплофикационные теплообменники	7	2				
3	Улавливание вредных газовых и пылевидных веществ с целью предотвращения загрязнения окружающей среды	7	2				
4	Определение теплоты сгорания топлива и горючих веществ. Тепловой баланс топки. Устойчивость топочного процесса	7	1				
5	Методика расчёта процессов газификации твёрдого топлива. Конструкции газогенераторов. Очистка генераторного газа. Схемы газогенераторных станций	7	2				
6	Утилизация теплоты уходящих газов. Тепловой баланс СРК	7	1				
7	Методика сбора информации о потреблении энергоресурсов	7	1				
8	Методика и организация проведения энергоаудита.	7	1				
9	Организация учета топлива, тепловой и электрической энергии, воды и сжатого воздуха	7	1				
10	Энергетический паспорт промышленных предприятий и объектов ЖКХ	7	1				
ВСЕГО:			14				

3.3. Лабораторные занятия

Номера изучаемых тем	Наименование лабораторных занятий	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
		Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
1	Испытание аэрофонтанной установки со взвешенным слоем сыпучего материала	7	4				
2	Определение теплоты сгорания вторичных топливных ресурсов (древесиной щепы)	7	4				
2	Исследование теплообмена	7	4				

Номера изучаемых тем	Наименование лабораторных занятий	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
		Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
	в газо-жидкостном аппарате.						
2	Исследование теплообмена в газо-газовом аппарате.	7	4				
4	Моделирование работы установки с кипящим слоем (топки с кипящим слоем)	7	4				
4	Исследование кинетики конвективной сушки топлива (торфа)	7	4				
6	Определение скорости витания и коэффициента формы частиц.	7	2				
7	Определение теплоты парообразования.	7	2				
ВСЕГО:			28				

4. КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

4.1. Цели и задачи курсовой работы

Не предусмотрено

5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

Номера учебных модулей, по которым проводится контроль	Форма контроля знаний	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
		Номер семестра	Кол-во	Номер семестра	Кол-во	Номер семестра	Кол-во
1,2,3	Тест	7	3				

6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ

Виды самостоятельной работы обучающегося	Очное обучение		Очно-заочное обучение		Заочное обучение	
	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)	Номер семестра	Объем (часы)
Усвоение теоретического материала	7	70				
Подготовка к практическим занятиям	7	36				
Подготовка к лабораторным работам	7	40				
Подготовка к экзамену	7	36				
ВСЕГО:			146+36			

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

7.1. Характеристика видов и используемых инновационных форм учебных занятий

Не предусмотрены

7.2. Система оценивания успеваемости и достижений обучающихся для промежуточной аттестации

традиционная

балльно-рейтинговая

8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1. Учебная литература

а) основная учебная литература

1. Стрельников Н.А. Энергосбережение [Электронный ресурс]: учебник/ Стрельников Н.А.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014.— 174 с, режим доступа - IPRbooks -<http://www.iprbookshop.ru/47729>

2. Климова Г.Н. Энергосбережение на промышленных предприятиях [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Климова Г.Н.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский политехнический университет, 2014.— 180 с,

режим доступа - IPRbooks -<http://www.iprbookshop.ru/34743>

б) дополнительная учебная литература

1. Посашков М.В. Энергосбережение в системах теплоснабжения [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Посашков М.В., Немченко В.И., Титов Г.И.— Электрон. текстовые данные.— Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2014.— 192 с, режим доступа - IPRbooks -<http://www.iprbookshop.ru/29799>

2. Белоусов В.Н., Смородин С.Н., Лакомкин В.Ю. Основы энергоаудита объектов. Энергетический паспорт предприятия: учебное пособие. СПбГТУРП. СПб., 2014. 80 с., режим доступа - Электронная библиотека методических указаний, учебно-методических пособий ВШТЭ <http://nizrp.narod.ru/metod/kpte/8.pdf4>

3. Белоусов В.Н., Смородин С.Н., Лакомкин В.Ю. Системы и узлы учета расхода энергоресурсов: учебное пособие. СПбГТУРП. СПб., 2014. 20 с., режим доступа - Электронная библиотека методических указаний, учебно-методических пособий ВШТЭ <http://nizrp.narod.ru/metod/kpte/7.pdf>

4. Шахнин В.А. Энергетическое обследование. Энергоаудит [Электронный ресурс]/ Шахнин В.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016.— 144 с,

режим доступа - IPRbooks -<http://www.iprbookshop.ru/39662>

8.2. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Бельский А.П. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / А.П. Бельский, В.Ю. Лакомкин, С.Н. Смородин; СПбГТУРП, каф. пром. теплоэнергетики. – СПб, 2012. – 136 с. – ЭБС ВШТЭ:

<http://www.gturp.spb.ru/fkl/fpe/kaf/pte/lakomkin/drying2.htm>

8.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины

1. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях:

<http://www.gturp.spb.ru/fkl/fpe/kaf/pte/lakomkin/energysave.htm>

2. Портал по энергосбережению:

<http://www.energsovet.ru/stat.php>

3. Биоэнергетика: <http://www.btgworld.com/index.php?id=147&rid=33&r=references>

4. Волновая энергетика:

http://www.wavegen.co.uk/about_wave_energy_info_schools_wave_whistles.htm

5. Перевод цементных печей на энергосберегающие технологии:

<http://www.nii-cement.ru/suh.htm>

8.4. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

1. Microsoft Windows 8.1

2. Microsoft Office Professional 2013

8.5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

1. Аудитория с мультимедийным учебным комплексом

8.6. Иные сведения и (или) материалы

Компьютерные презентации, плакаты, каталоги оборудования, демонстрационные и раздаточные материалы

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Виды учебных занятий и самостоятельная работа обучающихся	Организация деятельности обучающегося
Лекции	Работа с конспектом лекций, просмотр рекомендуемой литературы
Практические занятия	Работа с конспектом лекций и практических занятий; подготовка ответов к контрольным вопросам, тестовым заданиям; решение расчетно-графических заданий; решение задач по алгоритму.
Лабораторные работы	Лабораторные занятия способствуют развитию практических навыков владения изучаемым оборудованием и технологиями в процессе взаимодействия со специально разработанными лабораторными установками и, предполагают

Виды учебных занятий и самостоятельная работа обучающихся	Организация деятельности обучающегося
	проведение учебного эксперимента на лабораторной установке (под руководством преподавателя) Следует предварительно изучить методические указания по выполнению лабораторных работ
Самостоятельная работа	Знакомство с дополнительной литературой, включая справочные издания, зарубежные источники. При подготовке к экзамену необходимо проработать конспекты лекций и практических занятий курса и рекомендуемую литературу.

10. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

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

10.1.1. Показатели оценивания компетенций на этапах их формирования

Код компетенции (этап освоения)	Показатели оценивания компетенций	Наименование оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
ПК-1 (1)	представляет передовые методы управления производством, передачи и потребления энергии и применяемое энергосберегающее оборудование; методы проведения энергетических обследований потребителей энергетических ресурсов; типовые энергосберегающие мероприятия в энергетических и технологических установках, тепловых и электрических сетях, зданиях и сооружениях способен оценивать энергетическую эффективность оборудования, технологических установок, производств; оценивать экономию энергетических ресурсов за счет проведения энергосберегающих мероприятий демонстрирует владение навыками составления и анализа энергетических балансов аппаратов, технологических установок, зданий и сооружений, промышленных предприятий и коммунальных потребителей	Устное собеседование Практическое задание	Перечень вопросов к зачету (47 вопросов) Задачи (18 штук)

10.1.2. Описание шкал и критериев оценивания сформированности компетенций Критерии оценивания сформированности компетенций

Оценка по традиционной шкале	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Практическое задание
отлично	Полный, исчерпывающий ответ, явно демонстрирующий глубокое понимание предмета. Умение применять теоретические знания для решения практических задач	Качественное и безошибочное исполнение всех элементов задания полностью соответствующее всем предъявляемым требованиям.
хорошо	Ответ стандартный, в целом качественный, основан на всех	Имеются отдельные несущественные ошибки, не влияющие на общий

	обязательных источниках информации. Присутствуют небольшие пробелы в знаниях или несущественные ошибки.	результат.
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.
неудовлетворительно	Неспособность ответить на вопрос без помощи экзаменатора. Незнание значительной части принципиально важных элементов дисциплины. Многочисленные грубые ошибки. Попытка списывания, использования неразрешенных технических устройств или пользования подсказкой другого человека (вне зависимости от успешности такой попытки).	Отсутствие одного или нескольких обязательных элементов задания, представление чужой работы, плагиат, либо отказ от представления работы.

** Существенные ошибки – недостаточная глубина и осознанность ответа (например, студент не смог применить теоретические знания для объяснения явлений, для установления причинно-следственных связей, сравнения и классификации явлений и т.д.).*

** Несущественные ошибки – неполнота ответа (например, упущение из вида какого-либо нехарактерного факта, дополнения при описании процесса, явления, закономерностей и т.д.); к ним могут быть отнесены оговорки, допущенные при невнимательности студента.*

10.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций

10.2.1. Перечень вопросов, разработанный в соответствии с установленными этапами формирования компетенций

№ п/п	Формулировка вопросов	№ темы
1	Способы экономии топливно-энергетических ресурсов в теплоэнергетике и теплотехнологиях.	7
2	Тепловой баланс содорегенерационного котельного агрегата.	6
3	Оценка энергосбережения в теплотехнологических процессах и установках: КПД и удельные расходы.	7
4	КПД СРК: технологический и энергетический.	6
5	Тепловой баланс теплообменной установки для нагревания изделий: энергетический и технологический КПД.	1
6	Котлы-утилизаторы: водотрубные, дымогарные, с принудительной циркуляцией. Уравнение теплового баланса.	2
7	Классификация печных установок. Схема энергосбережения за счет снижения температуры продуктов сгорания.	1
8	«Глубокое» охлаждение уходящих газов при естественной тяге.	2
9	Доменная печь, тепловой баланс.	1
10	«Глубокое» охлаждение уходящих газов с камерой смешения.	2
11	Доменная печь: КПД.	1
12	Утилизация теплоты уходящих газов в контактном теплообменнике с активированными насадками (КТАН). Уравнение теплового баланса.	2
13	Методические печи: схема, тепловой баланс.	1
14	Рекуперация теплоты в воздухоподогревателе с керамическими трубами. Уравнение теплового баланса.	2
15	Расчет длительности нагрева материала в методических печах за счет конвективного теплообмена.	1
16	Органические отходы ЦБП, элементный состав и теплота сгорания.	4
17	Методическая печь: назначение, КПД.	1
18	Энергосбережение при сжигании лигнина.	4
19	Известеобжигательные печи: назначение, уравнение теплового баланса.	1

20	Энергосбережение при сжигании биологического ила. Уравнение теплового баланса.	4
21	Туннельные печи: схема, тепловой баланс.	1
22	Энергосбережение при сжигании серы. Расход полученного пара.	4
23	Туннельные печи: расчет длительности нагревания материала в туннельной печной установки.	1
24	Энергосбережение при сжигании сульфитных щелоков на магниевом основании.	4
25	Электрические печи: печи сопротивления, дуговые печи, индукционные печи, тепловой расчет.	1
26	Состав и теплота сгорания коры и древесных отходов.	4
27	Термическая переработка твердого топлива: сухая перегонка, полукоксование, коксование.	5
28	Подготовка корьевых и древесных отходов к сжиганию.	4
29	Газификация твердого топлива: схема газогенератора, кинетика газификации.	5
30	Сжигание корьевых отходов в топке с наклонной колосниковой неподвижной решеткой. Тепловой баланс топки.	4
31	Газификация твердого топлива: материальный баланс, схема включения газогенератора.	5
32	Сжигание корьевых отходов в топке ЦКТИ им. Ползунова. Тепловой баланс топки.	4
33	Газификация твердого топлива: тепловой баланс.	5
34	Сжигание корьевых отходов в топке с кипящим слоем. Тепловой баланс топки.	4
35	Схема производства сульфатной целлюлозы, химизм регенерации химикатов.	6
36	Сжигание корьевых отходов в топке с кипящим слоем и с предварительной газификацией. Тепловой баланс топки.	4
37	Свойства черного сульфатного щелока.	6
38	Сжигание корьевых отходов в топке с подвижными колосниками. Тепловой баланс	4
39	Содорегенерационные котельные агрегаты; схема СРК, назначение технологическое и энергетическое.	6
40	Сжигание корьевых отходов в скоростной топке В.В.Померанцева. Тепловой баланс	4
41	Виды энергоаудита	8
42	Методика и организация энергоаудита	8
43	Организация учета топлива	9
44	Организация учета тепловой и электрической энергии	9
45	Организация учета воды и сжатого воздуха	9
46	Энергетический паспорт промышленных предприятий	10
47	Энергетический паспорт объектов ЖКХ	10

10.2.2. Вариант типовых заданий (задач, кейсов), разработанных в соответствии с установленными этапами формирования компетенций

Задача № 1

Дано:

Теплота вносимая с топливом и воздухом $Q_p = 80$ кВт, теплота вносимая с материалом $Q'_m = 20$ кВт, потери теплоты с уходящими газами $Q_{yx} = 30$ кВт, потери теплоты с нагретым материалом $Q''_m = 60$ кВт, потери теплоты в окружающую среду $Q_{окр} = 10$ кВт. Составить уравнение теплового баланса нагревательной печной установки, рассчитать технологический и энергетический коэффициенты полезного действия. Определить относительные потери с уходящими газами, с материалом и в окружающую среду.

Решение:

1. Уравнение теплового баланса печной установки

$$\underbrace{Q_p + Q'_m}_{\text{приход}} = \underbrace{Q_{yx} + Q''_m + Q_{окр}}_{\text{расход}} \quad \underbrace{80 + 20}_{\text{приход}} = \underbrace{30 + 60 + 10}_{\text{расход}}$$

2. Технологический К.П.Д. установки рассчитывается по формуле

$$\eta_T = \frac{Q_{пол} \cdot 100}{Q_{прих}} = \frac{(Q''_m - Q'_m) \cdot 100}{Q_p + Q'_m} = \frac{(60 - 20) \cdot 100}{80 + 20} = 40 \%$$

3. Энергетический К.П.Д. установки (отношение использованной теплоты продуктов сгорания ко всей подведенной теплоте).

$$\eta_E = \frac{(Q_p - Q_{yx}) \cdot 100}{Q_p + Q'_m} = \frac{(80 - 30) \cdot 100}{80 + 20} = 50 \%$$

4. Относительные потери теплоты с уходящими газами

$$q_{yx} = \frac{Q_{yx} \cdot 100}{Q_p + Q'_m} = \frac{30 \cdot 100}{80 + 20} = 30 \%$$

5. Относительные потери теплоты с нагретым материалом

$$q''_m = \frac{Q''_m \cdot 100}{Q_p + Q'_m} = \frac{60 \cdot 100}{80 + 20} = 60 \%$$

6. Относительные потери теплоты в окружающую среду

$$q_{окр} = \frac{Q_{окр} \cdot 100}{Q_p + Q'_m} = \frac{10 \cdot 100}{80 + 20} = 10 \%$$

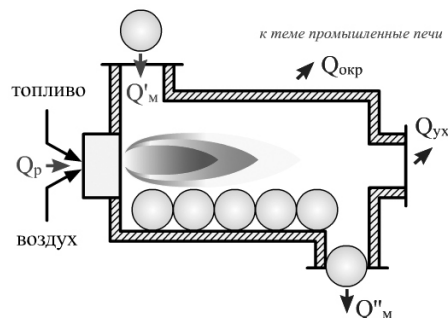


Рис. 1. Схема нагревательной печи к расчету теплового баланса

Задача № 4

Дано:

Стальной цилиндр диаметром $D_{ц} = 70$ мм и высотой $h_{ц} = 100$ мм нагревается от начальной $t_0 = 20^\circ\text{C}$ до конечной температуры $t_2 = 830^\circ\text{C}$. Теплообмен между цилиндром и пространством печи осуществляется конвективным способом, $\alpha = 180$ Вт/(м²·К), температура внутри печи $t_c = 850^\circ\text{C}$. Теплопроводность стали $\lambda_{ст} = 42$ Вт/(м·К); теплоемкость стали $c_m = 0,462$ кДж/(кг·К); плотность стали $\rho_{ст} = 7900$ кг/м³. Определить длительность нагрева стального цилиндра при конвективном теплообмене.

Решение:

1. Площадь поверхности цилиндра

$$F = 2 \cdot \pi \cdot R_{ц} \cdot (R_{ц} + h_{ц}) = 2 \cdot 3.14 \cdot 70 \cdot (70 + 100) \cdot 10^{-6} = 0.07 \text{ м}^2$$

2. Объем стального цилиндра

$$V = \pi \cdot R_{ц}^2 \cdot h_{ц} = 3.14 \cdot 70^2 \cdot 100 \cdot 10^{-9} = 0.001539 \text{ м}^3$$

3. Масса стального цилиндра

$$m = V \cdot \rho_{ст} = 0.001539 \cdot 7900 = 12.16 \text{ кг}$$

4. Критерий Био

$$Bi = \frac{\alpha \cdot R_{ц}}{\lambda_{ст}} = \frac{180 \cdot 70 \cdot 10^{-3}}{42} = 0.3$$

Так как $Bi < 0,25$ считаем цилиндр термически тонким и рассчитываем время нагрева по следующей формуле

5. Время нагрева стального цилиндра

$$\tau = \frac{1000 \cdot m \cdot c_m}{\alpha \cdot F} \cdot \ln \frac{t_c - t_0}{t_c - t_2} = \frac{1000 \cdot 12.16 \cdot 0.462}{180 \cdot 0.07} \cdot \ln \frac{850 - 20}{850 - 830} = 1555.7 \text{ с} = 25.93 \text{ мин}$$

10.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности), характеризующих этапы формирования компетенций

10.3.1. Условия допуска обучающегося к сдаче экзамена и порядок ликвидации академической задолженности

Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

10.3.2. Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

устная

письменная

компьютерное тестирование

иная*

10.3.3. Особенности проведения экзамена

Время на подготовку к экзамену 45 мин, в это время входит подготовка ответа на теоретические вопросы и решение практической задачи. Для расчетов студенту необходимо иметь калькулятор, также ему предоставляется справочная информация.