

Министерство образования и науки Челябинской области
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«Южно-Уральский государственный технический колледж»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ
по учебной дисциплине «Теплотехника»**

для специальности 22.02.03 Литейное производство черных и цветных
металлов

Челябинск, 2021

АКТ СОГЛАСОВАНИЯ


на методические рекомендации по выполнению практических работ по
Теплотехнике
для специальности

22.02.03 Литейное производство черных и цветных металлов,
разработанной преподавателем
Южно-Уральского государственного технического колледжа
Белянко Е.С..

Методические рекомендации по выполнению практических работ составлены в соответствии с программой учебной дисциплины «Теплотехника».

Методические рекомендации к практическим работам имеют единую структуру: цели, общие положения, ход работы, форму отчета по работе, справочные данные, литература. Тематика работ разнообразна. Темы работ определены, исходя из логики изучения дисциплины «Теплотехника» и направлены на углубление теоретических знаний и формирование умений производить технологические расчеты.

Методические рекомендации по выполнению практических работ по дисциплине «Теплотехника» соответствуют программе учебной дисциплины и могут использоваться в образовательном процессе.

Рецензент:  Берсенев В.В., главный металлург КТЦ
(Конструкторско-технологический центр) ООО «ЧТЗ-УРАЛТРАК»



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические рекомендации по выполнению практических работ по дисциплине Теплотехника предназначены для обучающихся по специальности 22.02.03 Литейное производство черных и цветных металлов (базовая подготовка). Практические занятия являются важным элементом междисциплинарного курса. В процессе выполнения практических работ обучающиеся систематизируют и закрепляют полученные теоретические знания, развивают интеллектуальные и профессиональные умения, формируют элементы компетенций будущих специалистов.

Методические рекомендации предназначены для организации выполнения практических работ по дисциплине Теплотехника.

Для закрепления теоретических знаний и приобретения необходимых практических умений программой дисциплины «Теплотехника» предусматриваются 3 практических занятия (8 часов), направленных на формирование *элементов следующих компетенций*:

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

ПК 1.1. Выбирать исходные материалы для производства отливок.

ПК 1.2. Анализировать свойства и структуры металлов и сплавов для изготовления отливок.

Л.Р1 Отражать российскую гражданскую идентичность, патриотизм, уважение к своему народу, чувства ответственности перед Родиной, гордости за свой край, свою Родину, прошлое и настоящее многонационального народа России, уважение государственных символов (герб, флаг, гимн);

Л.Р4 Отражать сформированность мировоззрения, соответствующего современному уровню развития науки и общественной практики, основанного на диалоге культур, а также различных форм общественного сознания, осознание своего места в поликультурном мире;

Л.Р9 Отражать готовность и способность к образованию, в том числе самообразованию, на протяжении всей жизни; сознательное отношение к непрерывному образованию как условию успешной профессиональной и общественной деятельности;

Описание каждой практической работы содержит номер, название и цель работы, формируемые в процессе выполнения работы знания, умения и элементы компетенций, теоретическое изложение необходимого материала (при необходимости примеры выполнения заданий), варианты заданий, описание алгоритма выполнения.

Вариант задания выбирается студентом из таблицы в соответствии с его порядковым номером по журналу теоретического обучения.

Для получения дополнительной, более подробной информации по основным вопросам учебной дисциплины в конце методических рекомендаций приведен перечень информационных источников.

Отчеты студентов по практическим работам должны содержать номер, название и цель работы, выполненные задания и их результаты, ответы на контрольные вопросы и выводы по проделанной работе.

Оценка отлично – ставится за правильно выполненную работу с верными ответами на вопросы по отчету.

Оценка хорошо – ставится за правильно выполненную работу без ответов на вопросы по отчету.

Оценка удовлетворительно – ставится за работу с и некоторыми неточностями и без ответов на вопросы по отчету.

Оценка неудовлетворительно ставится в случае отсутствия отчета по работе.

Титульный лист должен быть оформлен в соответствии с приложением 1.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

№ темы	Наименование работы	Объем (час)
Тема 1.1.	Расчет теплоты сгорания топлива	2
Тема 1.2.	Расчет электрического нагревателя	2
Тема 1.3.	Расчет суммарного сопротивления и высоты дымовой трубы	4

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

Тема: Расчёт теплоты сгорания топлива

Цель работы: научиться рассчитывать теплоту сгорания топлива

знания (актуализация):

- параметры теплоты сгорания топлива;

умения:

- правильно рассчитывать теплоту сгорания топлива

Теоретический материал:

При расчёте горения топлив определяют количество воздуха, необходимое для горения единицы данного топлива, количество и состав продуктов горения, температуру горения.

Количество воздуха, необходимого для горения топлива, количество и состав продуктов горения определяют на основании данных о составе топлива и реакции горения элементов и составляющих веществ данного топлива. Для простоты расчётов можно принять, что воздух состоит на 21 об. % O_2 и 79 об. % N_2 ($79 : 21 = 3,762$) или 23,2 мас. % O_2 и 76,8 мас. % N_2 .

Расчёт горения твёрдого и жидкого топлив начинают с определения состава топлива на рабочую массу. Горение твёрдого или жидкого топлив рассчитывают на 100 кг массы топлива. Пример расчета приведен в приложении 2.

Задание: рассчитать теплоту сгорания топлива, используя исходные данные своего варианта.

Варианты заданий

Вариант	Составляющие топлива, %				Количество продуктов горения, м ³	
	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₄	N ₂	N ₂	CO ₂
1	15	97	0,8	1,5	0,2	0,8
2	10	96	0,8	1,5	0,2	0,8
3	11	95	0,8	1,5	0,2	0,8
4	12	94	0,8	1,5	0,2	0,8
5	13	93	0,8	1,5	0,2	0,8
6	15	97	0,8	1,5	0,2	0,8
7	10	96	0,8	1,5	0,2	0,8
8	11	95	0,8	1,5	0,2	0,8
10	12	94	0,8	1,5	0,2	0,8
11	13	93	0,8	1,5	0,2	0,8
12	15	97	0,8	1,5	0,2	0,8
13	10	96	0,8	1,5	0,2	0,8
14	11	95	0,8	1,5	0,2	0,8
15	12	94	0,8	1,5	0,2	0,8
16	13	93	0,8	1,5	0,2	0,8
17	15	97	0,8	1,5	0,2	0,8
18	10	96	0,8	1,5	0,2	0,8
19	11	95	0,8	1,5	0,2	0,8
20	12	94	0,8	1,5	0,2	0,8
21	13	93	0,8	1,5	0,2	0,8
22	15	97	0,8	1,5	0,2	0,8
23	10	96	0,8	1,5	0,2	0,8
24	11	95	0,8	1,5	0,2	0,8
25	12	94	0,8	1,5	0,2	0,8
26	13	93	0,8	1,5	0,2	0,8
27	10	96	0,8	1,5	0,2	0,8
28	11	95	0,8	1,5	0,2	0,8
29	12	94	0,8	1,5	0,2	0,8

30	13	93	0,8	1,5	0,2	0,8
----	----	----	-----	-----	-----	-----

Ход работы:

1. Составить реакцию горения топлива.
2. Рассчитать процентное содержание углерода.
3. Рассчитать процентное содержание воды.
4. Рассчитать процентное содержание азота.
5. Рассчитать процентное содержание метана.
6. Рассчитать количество теплоты, которое выделится при горении топлива.
7. По результатам расчета сделать вывод.
8. Ответить на контрольные вопросы:
 - а) Из каких составляющих состоит воздух?
 - б) Как рассчитать процентные содержания составляющих воздуха?
 - в) К какому виду реакций (экзотермическая или эндотермическая) относится реакция горения углекислого газа?
9. Оформить и сдать отчет преподавателю.

Тема: Расчет электрического нагревателя сопротивления

Цель работы: научиться рассчитывать электрический нагреватель сопротивления

знания (актуализация):

- параметры расчета электрического нагревателя сопротивления;

умения:

- правильно рассчитывать электрический нагреватель сопротивления

Теоретический материал:

Для обеспечения требуемой мощности электропечь должна быть оборудована соответствующими нагревателями. Нагревательные элементы сопротивления (нагреватели) могут быть металлическими и керамическими. Металлические нагреватели применяются в основном в термических печах и представляют собой проводники, выполненные из специального сплава, имеющего большое электрическое сопротивление и большой срок службы при температурах, соответствующих термической обработке. Долговечность нагревателя зависит от температуры, до которой он нагревается: чем выше температура, тем меньше срок службы.

В зависимости от температуры рабочего пространства печи применяют соответствующие материалы нагревателей до 1100°C – нагреватели из хромоникелевых сплавов; для более высоких температур – керамические нагреватели. Большинство термических печей имеют нагреватели из нихрома, изготовленные из проволоки или ленты. Проволочный нагреватель может быть изготовлен в виде спирали или зигзага, а нагреватель из ленты в виде зигзага.

При расчёте электрического нагревателя сопротивление определяют:

а) количество нагревателей;

б) длину нагревателей;

в) размеры сечения нагревателей.

По результатам расчёта, пользуясь справочником, подбирают стандартное ближайшее сечение нагревателей.

Задание: рассчитать электрический нагреватель сопротивления, используя исходные данные своего варианта.

Таблица 2

Варианты заданий

№ варианта	Максимальная температура нагрева, К	Мощность печи, кВт	Размеры рабочего пространства, м			
			а	в	с	Напряжение сети, В
1	1123	12	1,2	0,8	0,6	220
2	1223	16	1,2	0,5	0,4	220
3	1123	14	1,1	0,6	0,4	220
4	1223	18	1,0	0,7	0,5	220
5	1123	20	1,1	0,7	0,5	220
6	1123	12	1,2	0,8	0,6	220
7	1223	16	1,2	0,5	0,4	220
8	1123	14	1,1	0,6	0,4	220
9	1223	18	1,0	0,7	0,5	220
10	1123	20	1,1	0,7	0,5	220
11	1123	12	1,2	0,8	0,6	220
12	1223	16	1,2	0,5	0,4	220
13	1123	14	1,1	0,6	0,4	220
14	1223	18	1,0	0,7	0,5	220
15	1123	20	1,1	0,7	0,5	220
16	1123	12	1,2	0,8	0,6	220
17	1223	16	1,2	0,5	0,4	220
18	1123	14	1,1	0,6	0,4	220
19	1223	18	1,0	0,7	0,5	220
20	1123	20	1,1	0,7	0,5	220
21	1123	12	1,2	0,8	0,6	220
22	1223	16	1,2	0,5	0,4	220

23	1123	14	1,1	0,6	0,4	220
24	1223	18	1,0	0,7	0,5	220
25	1123	20	1,1	0,7	0,5	220
26	1123	12	1,2	0,8	0,6	220
27	1223	16	1,2	0,5	0,4	220
28	1123	14	1,1	0,6	0,4	220
29	1223	18	1,0	0,7	0,5	220
30	1123	20	1,1	0,7	0,5	220

Ход работы

1. Выбрать расположение нагревателей: на стенах, поду и своде печи в соответствии с расположением загружаемых деталей.
2. Определить удельную поверхностную мощность стен камеры печи по формуле:

$$P_{ст.уд.} = \frac{P}{F_{ст.}}, \text{ кВт/м}^2,$$

где Р – мощность печи или зоны;

$F_{ст}$ – суммарная площадь стен печи, пода и свода.

3. По таблице 1 выбрать материал нагревателей и установить рабочую температуру нагревателей (она не должна быть равна или ниже температуры нагрева деталей).
4. Определить для выбранного материала значение идеальной поверхностной мощности нагревателя кВт/м².
5. Найти относительную мощность стены $P_{ст.отн.}$:

$$P_{ст.отн.} = \frac{P_{ст.уд.}}{\omega_{ид.}}.$$

6. Сравнивая полученное значение $P_{\text{ст.отн}}$ с данными таблицы №1 и учитывая полученное значение $\omega_{\text{ид.}}$, окончательно выбрать материал для нагревательных элементов и принять ту или иную конструкцию последних.

7. Для принятой конструкции найти величину коэффициента $\frac{\omega}{\omega_{\text{ид.}}}$ по таблице 1 и определить ω – поверхностную мощность нагревателя (кВт/м^2).

8. Принять, что нагреватели соединены «звездой», тогда фазовое напряжение будет равно 127 В, а мощность одной фазы равна $\frac{\text{мощность печи}}{\text{количество фаз}}$; количество фаз равно 3.

9. Определить сечение нагревателя:

диаметр проволочного нагревателя –
$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 10^3 \cdot \rho \cdot P_{\text{ср}}^2}{\pi^2 \cdot V^2 \cdot \omega}} \quad (\text{м}),$$

где ρ – удельное сопротивление нагревателя при рабочей температуре, $\text{Ом} \cdot \text{м}$ (определяется по таблице №1);

P – мощность печи или зоны (фазы), кВт;

V – напряжение питающей сети, В (для 3-х фазной сети – фазовое, если нагреватели включены в «звезду»).

Для прямоугольного материала (ленты) –
$$a = \sqrt[3]{\frac{10^3 \cdot \rho \cdot P_{\text{ср}}^2}{2 \cdot m \cdot (m+1) \cdot V^2 \cdot \omega}} \quad (\text{м}),$$

где m – соотношение сторон прямоугольного сечения ленты: $m = \frac{E}{a}$, отсюда найдём $v = a \cdot m = 10 \cdot a$.

По таблице 1 найти стандартное ближайшее сечение ленты по сортаменту.

10. Определить длину нагревателя L :

общая длина нагревателей – $L = L_{\phi} \cdot n$, где n – количество нагревателей;

для ленточного или проволочного нагревателя – $L_{\phi} = \frac{R_{\phi} \cdot f}{\rho}$ (м) – длина фазы,

где f – площадь сечения нагревателя, м²;

$$R_{\phi} = \frac{V_{\phi}}{P_{\phi} \cdot 10^3} \quad (\text{Ом}) \text{ – сопротивление фазы.}$$

$V_{\phi} = 127$ – фазовое напряжение, В.

P_{ϕ} – мощность фазы, кВт

11. По результатам расчёта сделать вывод.

12. Ответить на контрольные вопросы:

а) На какие свойства металлов влияет расположение электрических нагревателей?

б) Как установить рабочую температуру нагревателей?

в) От чего зависит мощность фазы?

13. Оформить и сдать отчет преподавателю.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

Тема: Расчет суммарного сопротивления и высоты дымовой трубы

Цель работы: научиться рассчитывать суммарное сопротивление и высоту дымовой трубы

знания (актуализация):

- параметры суммарного сопротивления и высоты дымовой трубы;

умения:

- правильно рассчитывать суммарное сопротивление и высоту дымовой трубы

Теоретический материал:

Дымовая труба предназначена для удаления дымовых газов из печи в атмосферу. Находящийся внутри трубы столб газов создаёт у её основания геометрический напор, который расходуется на создание разрежения у основания трубы, необходимого для преодоления всех сопротивлений на пути движения дымовых газов.

Разряжение зависит от высоты трубы H , температуры отходящих газов и окружающего воздуха. Чем больше H , больше температура газов, тем ниже температура окружающего воздуха, тем больше разряжение.

Практически диаметр трубы выбирают, задаваясь скоростью движения дыма в устье трубы (2,5...3,0 м/с при $T = 273$ К и давлении $P = 101,3$ кН/м³). Такая скорость выбирается из условий, при которых газ мог бы выходить из трубы, не опрокидываясь обратно в трубу под действием дующего ветра. Кирпичные и железобетонные трубы делают сужающимися кверху для устойчивости. Диаметр кирпичных труб у основания в 1,5 раза больше, чем в устье. Железные трубы делают цилиндрическими.

Для приближённых расчётов принимают падение температуры на 1 м высоты трубы для кирпичных труб 1...1,5 градуса. Если труба обслуживает несколько печей, то расчёт трубы ведётся по максимальному сопротивлению, а

не по сумме сопротивлений всех печей. Число печей влияет на величину диаметра трубы (т.к. увеличивается количество продуктов горения).

На случай засорения дымохода или форсирования работы печей действительное разрежение должно быть приблизительно на 30% больше суммарных потерь: $P_{\text{действ.}} \sim P_{\text{пот.}}$. Для регулирования давления в печи у основания трубы устанавливается шибер.

Задание: рассчитать суммарное сопротивление и высоту дымовой трубы, используя исходные данные своего варианта.

Таблица 3

Варианты заданий

№ Вар.	Кол-во продуктов горения, м³/ч	Размеры раб. простр. печи, м²	Потери напора, Н/м	Темпер. дыма, К	Охлаж. газов, К	Высота канала, м	Длина боров, м		
							До рекуп. 1	До рекуп. 2	От рекуп. до шибера
1	21200	3,6х2,1	44,1	1133	673	3,0	4,5	6,1	5,9
2	22100	3,8х2,2	44,2	1123	683	3,0	4,6	6,0	5,8
3	21800	3,7х2,1	44,3	1143	693	3,0	4,8	6,2	5,7
4	21900	3,8х2,0	44,4	1153	673	3,1	5,0	6,3	5,5
5	21500	3,8х1,5	44,5	1143	693	3,2	4,0	6,2	5,4
6	21200	3,6х2,1	44,1	1133	673	3,0	4,5	6,1	5,9
7	22100	3,8х2,2	44,2	1123	683	3,0	4,6	6,0	5,8
8	21800	3,7х2,1	44,3	1143	693	3,0	4,8	6,2	5,7
9	21900	3,8х2,0	44,4	1153	673	3,1	5,0	6,3	5,5
10	21500	3,8х1,5	44,5	1143	693	3,2	4,0	6,2	5,4
11	21200	3,6х2,1	44,1	1133	673	3,0	4,5	6,1	5,9
12	22100	3,8х2,2	44,2	1123	683	3,0	4,6	6,0	5,8
13	21800	3,7х2,1	44,3	1143	693	3,0	4,8	6,2	5,7
14	21900	3,8х2,0	44,4	1153	673	3,1	5,0	6,3	5,5
15	21500	3,8х1,5	44,5	1143	693	3,2	4,0	6,2	5,4
16	21200	3,6х2,1	44,1	1133	673	3,0	4,5	6,1	5,9

17	22100	3,8x2,2	44,2	1123	683	3,0	4,6	6,0	5,8
18	21800	3,7x2,1	44,3	1143	693	3,0	4,8	6,2	5,7
19	21900	3,8x2,0	44,4	1153	673	3,1	5,0	6,3	5,5
20	21500	3,8x1,5	44,5	1143	693	3,2	4,0	6,2	5,4
21	21200	3,6x2,1	44,1	1133	673	3,0	4,5	6,1	5,9
22	22100	3,8x2,2	44,2	1123	683	3,0	4,6	6,0	5,8
23	21800	3,7x2,1	44,3	1143	693	3,0	4,8	6,2	5,7
24	21900	3,8x2,0	44,4	1153	673	3,1	5,0	6,3	5,5
25	21500	3,8x1,5	44,5	1143	693	3,2	4,0	6,2	5,4
26	21200	3,6x2,1	44,1	1133	673	3,0	4,5	6,1	5,9
27	22100	3,8x2,2	44,2	1123	683	3,0	4,6	6,0	5,8
28	21800	3,7x2,1	44,3	1143	693	3,0	4,8	6,2	5,7
29	21900	3,8x2,0	44,4	1153	673	3,1	5,0	6,3	5,5
30	21500	3,8x1,5	44,5	1143	693	3,2	4,0	6,2	5,4

Ход работы

1. Потери напора (сопротивление) в вертикальных каналах складываются из потерь на трение, местные сопротивления (поворот на 90° и изменение скорости потока) и преодоление геометрического напора

$$P_{\text{пот.верт.}} = P_{\text{тр.}} + P_{\text{м.с1}} + P_{\text{м.с2}} + P_{\text{геометр.}}$$

2. Расчёт скорости движения дымовых газов в конце печи с учётом уменьшения сечения рабочего пространства за счёт нагреваемых заготовок.

$$\omega_0 = \frac{V_{\text{д}}}{3600 F_{\text{печи}}}, \text{ м/с}$$

$$F_{\text{печи}} = a(b - d)$$

3. Расчёт скорости движения дымовых газов в трёх вертикальных каналах принимается равной

$$\omega'_0 = 2,5 \text{ м/с,}$$

тогда их сечение $F_{кан3} = \frac{V_{\partial}}{3600 \cdot \omega_0'}$, м².

4. Площадь сечения каждого канала:

$$F_{кан} = \frac{F_{кан.3}}{3}, \text{ м}^2.$$

5. Размеры вертикальных каналов принимаются следующие: длина a , ширина b подбираются из $F_{кан}$, высоту h принять равной 3 м, тогда приведённый диаметр канала

$$d_{np} = \frac{4 \cdot a' \cdot b'}{P} \quad (\text{м}),$$

где P – периметр канала.

6. Потери на трение:

$$P_{мп1} = \lambda \cdot \frac{h}{d_{np}} \cdot \frac{\rho_{\partial} \cdot \omega_0'^2}{2} \cdot \frac{T}{T_0} \quad (\text{Н/м}^2),$$

где λ – коэффициент, учитывающий трение дыма о стенки ($\lambda = 0,05$ – для кирпичных каналов);

T – средняя температура в вертикальном канале.

Принять падение температуры в вертикальном канале равным 50 градусов,

тогда
$$T = \frac{T_{\partial} + (T_{\partial} - 50)}{2},$$

$$T_0 = 273 \text{ К}$$

7. Потери при повороте канала на 90°:

$$P_{мс} = K \cdot \frac{\rho_{\partial} \cdot \omega_0'^2}{2} \cdot \frac{T}{T_0} \quad (\text{Н/м}^2),$$

где K – опытный коэффициент, учитывающий потери напора от местных сопротивлений (см. табл.; в данном случае для каналов, имеющих форму щели).

8. Потери от сужения каналов (изменения скорости потока):

$$P_{мс2} = K \cdot \frac{\rho_{\partial} \cdot \omega_0'^2}{2} \cdot \frac{T}{T_0} \quad (\text{Н/м}^2),$$

K – по данным таблицы для случая $\frac{F}{F} = \frac{F_{кан}}{F_{кан}}$

9. Потери на преодоление геометрического напора

$$P_{геом.} = h \cdot T_0 \cdot \frac{\rho_0^g}{T_g} - \frac{\rho_g}{T} \quad (\text{Н/м}^2),$$

ρ_0^g – плотность воздуха при $T_0 = 273 \text{ К}$ и $P = 101,3 \text{ кН/м}^2$

$$\rho_0^g = 1,29 \text{ кг/м}^3$$

g – ускорение свободного падения, м/с^2 .

10. Суммарные потери в вертикальных каналах:

$$P_{пот1} = P_{тр1} + P_{мс1} + P_{мс2} + P_{геом.}$$

11. Количество продуктов горения перед рекуператором

$$V_{\partial}' = 1,1 \cdot m \cdot V_{\partial} \quad (\text{м}^3/\text{ч}),$$

где $m = 0,7$ – коэффициент, учитывающий потери в боровых;

$1,1$ – коэффициент, учитывающий подсос воздуха.

12. Расчётное количество дымовых газов:

$$\bar{V}_{\partial} = \frac{V_{\partial} + V_{\partial}'}{2}, \quad \text{м}^3/\text{ч}.$$

13. Скорость движения дыма в борове принять

$$\omega_6 = 2,5 \text{ м/с},$$

тогда сечение борова:
$$F_6 = \frac{\bar{V}_d}{3600 \cdot \omega_6} \text{ , м}^2.$$

14. Ширину борова сохранить равной длине вертикальных каналов a , тогда

высота борова равна
$$\frac{F_6}{a} \text{ .}$$

15. Приведённый диаметр борова:

$$B_{np6} = \frac{4 \cdot F_6}{P_6} \text{ (м)},$$

где P_6 – периметр борова.

16. Средняя температура дыма в борове:

$$T_{дср} = \frac{T + T_d}{2} \text{ , К.}$$

17. Длина борова до рекуператора:

$$l' + l'', \text{ м}$$

18. Потери на преодоление трения

$$P_{тр} = \lambda \cdot \frac{l' + l''}{d_{np6}} \cdot \frac{\rho_d \cdot \omega_6'^2}{2} \cdot \frac{T_{дср}}{T_0} \text{ (Н/м}^2\text{)}.$$

19. Потери на 2 поворота на 90° на пути вертикальных каналов до рекуператора:

$$P_{мс} = K' \cdot P_{дин} = K' \cdot \frac{\rho_d \cdot \omega_6'^2}{2} \cdot \frac{T_{дср}}{T_0} \text{ (Н/м}^2\text{)},$$

$$K' = K_1 + K_2$$

K_1 – для щелей (выход из вертикальных каналов)

K_2 – поворот (изменение направления)

K_1 и K_2 – из таблицы

20. Суммарные потери напора от вертикальных каналов до рекуператора

$$P_{\text{пот2}} = P_{\text{тр2}} + P_{\text{мс}}, \text{ Н/м}^2$$

21. Принимаем потери температуры 1,5 градуса на 1 м длины борова l''' , тогда падение температуры составит 1,5 l''' К, а температура на выходе из борова (ушибера) равна $T_p - 1,5 l'''$ К, а средняя температура дымовых газов на этом участке равна:

$$T_{\text{дср}} = \frac{T_p + (T_p - 1,5 \cdot l''')}{2} \quad (\text{К}).$$

22. Потери на трение (при том же сечении борова, что и до рекуператора):

$$P_{\text{ном3}} = P_{\text{тр3}} = \lambda \cdot \frac{l'''}{d_{\text{прб}}} \cdot \frac{\rho_{\text{д}} \cdot \omega_{\text{б}}^2}{2} \cdot \frac{T_{\text{дср}}}{T_0} \quad (\text{Н/м}^2),$$

23. Общие потери напора при движении продуктов горения от рабочего пространства дошибера (суммарное сопротивление)

$$\sum P_{\text{пот}} = P_{\text{пот1}} + P_{\text{пот2}} + P_{\text{пот3}} + P_{\text{рек}}, \text{ Н/м}^2.$$

24. Площадь сечения устья трубы (принять скорость дыма в устье $\omega_{\text{уст}}$ равной 3м/с).

$$F_{\text{уст}} = \frac{\bar{V}_{\text{д}}}{3600 \cdot \omega_{0\text{уст}}} \quad (\text{м}^2), \text{ тогда}$$

$$\text{диаметр устья} \quad d_{\text{уст}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{уст}}}{\pi}}, \text{ м.}$$

25. Диаметр основания трубы

$$d_{\text{осн}} = 1,5 d_{\text{уст}}, \text{ м.}$$

26. Для определения температуры газов в устье трубы ориентировано задать высоту трубы по приближённой формуле:

$$H \approx 30 d_{уст}$$

27. Падение температуры в кирпичной трубе принять 1,0...1,5 градусов на 1 м высоты трубы:

$$\Delta T = 1,0 \dots 1,5 \text{ K},$$

тогда температура дыма в устье трубы:

$$T_{уст} = (T_p - 1,5 l'') - \Delta T, \text{ K}.$$

Средняя температура дыма в трубе:

$$T_{cp} = \frac{T_{уст} + T_{осн}}{2} \quad (\text{K}), \text{ где}$$

$$T_{осн} = T_p - 1,5 l''' \quad (\text{K}) - \text{температура в основании трубы.}$$

28. Плотность дымовых газов при средней температуры в трубе:

$$\rho_{д,ср} = \rho_{д0} \cdot \frac{T_0}{T_{ср}}, \text{ кг/м}^3.$$

29. Плотность воздуха при T_v :

$$\rho_{в,ср} = \rho_{в0} \cdot \frac{T_0}{T_v}, \text{ кг/м}^3.$$

30. Средний диаметр трубы:

$$d_{cp} = \frac{d_{уст} + d_{осн}}{2}, \text{ м.}$$

31. Среднее сечение трубы:

$$F_{cp} = \frac{\pi \cdot d_{cp}^2}{4}, \text{ м}^2.$$

32. Средняя скорость движения дыма в трубе:

$$\omega_{0cp} = \frac{\bar{V}_d}{3600 \cdot F_{cp}}, \text{ м/с.}$$

33. Действительное разряжение, создаваемое трубой, должно быть на 20 ÷ 40 % больше потерь напора при движении дымовых газов, т.е.

$$P_{дейст} = 1,3 \sum P_{пот}, \text{ Н/м}^2$$

Находим высоту кирпичной трубы Н из формулы:

$$P_{дейст} = H \cdot g \cdot (\rho_{T_g}^e - \rho_{T_{cp}}^d) - \lambda \cdot \frac{\rho_d \cdot \omega_{0cp}^2}{2} \cdot \frac{T_{cp}}{T_0} \cdot \frac{H_d}{d_{cp}} - \frac{\rho_d \cdot \omega_{0уст}^2}{2} \cdot \frac{T_{уст}}{T_0},$$

где λ – коэффициент трения для кирпичных труб – принять равным 0,05.

34. По результатам расчётов сделать вывод.

35. Ответить на контрольные вопросы:

а) От чего зависит скорость движения дымовых газов в печи?

б) Как изменится средняя скорость движения дыма в трубе при увеличении среднего сечения трубы?

в) Как влияет коэффициент, учитывающий трение дыма о стенки, на среднюю температуру в вертикальном канале боровая?

36. Оформить и сдать отчет преподавателю.

Список литературы

1. Константинов, И. Л. Основы технологических процессов обработки металлов давлением [Электронный ресурс] : учебник/ И. Л. Константинов, С. Б. Сидельников. - М.: ИНФРА-М, 2019. - 488 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). – Режим доступа: www.znaniium.com

2. Кудинов, И.В. Теоретические основы теплотехники. Часть 1. Термодинамика [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.В. Кудинов, Е.В. Стефанюк. — Электрон. дан.

— Самара : АСИ СамГТУ, 2019. — 172 с. — Режим доступа:
<https://e.lanbook.com/book/73897>.

Приложение 1

Министерство образования и науки Челябинской области
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«Южно-Уральский государственный технический колледж»

ОТЧЕТ

по выполнению практических работ
по дисциплине «Теплотехника»

выполнил _____

группа _____

проверил _____

Пример расчета горения топлива

на 100 м³ топлива. Можно считать, что в 100 м³ топлива содержится СО м³ окиси углерода, СО₂ м³ углекислоты и т. д. (табл. 4). Правильность расчета горения газа также проверяют составлением материального баланса.

Поступило:
газ в том числе в кг:
СО₂ = СО₂ м³ · 44
СО = СО м³ · 28
Н₂ = Н₂ м³ · 2
СН₄ = СН₄ м³ · 16
С₂H₄ = С₂H₄ м³ · 28 и т. д.
воздуха, кг:
О₂ = n ∑ О₂ м³ · 32
N₂ = n ∑ N₂ м³ · 28

Получено продуктов горения, кг:
СО₂ = ∑ СО₂ м³ · 44
Н₂O = ∑ Н₂O м³ · 18
SO₂ = ∑ SO₂ м³ · 64
О₂ = (n - 1) ∑ О₂ м³ · 32
N₂ = (N₂ м³ + n ∑ N₂ м³) · 28

∑ прхк = кг ∑ прхк = кг

Глава III. УСТРОЙСТВА ДЛЯ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВ

Для сжигания твердого топлива используют топки, жидкого топлива — форсунки, газообразного топлива — горелки.

§1. Сжигание твердого топлива

Твердое кусковое топливо для отопления промышленных печей применяют редко. Однако оно сохраняет свое значение в качестве резервного топлива. Подлевинное топливо широко применяют на крупных котельных установках.

Кусковое топливо сжигают на колосниках, применяя для этого простые и полугазовые топки. В простой топке высота слоя угля превышает трехкратных диаметров кусков. Весь воздух, необходимый для горения, подают под колосниковую решетку при коэффициенте расхода ~1,4. Горение заканчивается в пределах топки.

Расчет простой топки ведут по уравнению

$$f_n = B/n_n$$

где f_n — площадь колосниковой решетки, м²; B — расход топлива, кг/ч; n_n — количество топлива, сжигаемое на 1 м² решетки в течение 1 ч, кг/(м²·ч).

Обычно n_n для простых топок составляет 200—300 кг/(м²·ч). Теплотехническим недостатком простых топок при применении их для промышленных печей является то, что топки находятся вне рабочего пространства печи. Поэтому в рабочем пространстве отсутствует факел, способный интенсивно отдавать теплоту нагреваемому материалу.

Этот недостаток частично устраняют, применяя полугазовые топки. В полугазовых топках высота слоя угля составляет более четырех диаметров кусков. В топке (по толщине топлива) идут следующие реакции:

$$C + O_2 = CO_2, CO_2 + C = 2CO, H_2O + C = CO + H_2$$

Образовавшиеся продукты неполного горения — так называемый полугаз содержит горючие компоненты (СО и Н₂). Их используют для последующего дожигания в рабочем пространстве печей. В полугазовых топках 60 % всего воздуха поступает под колосниковую решетку. Вторичный воздух подают в рабочее пространство печи, где происходит дожигание полугаза. При расчете полугазовых топок величину n_n принимают равной до 150 кг/(м²·ч).

§ 2. Форсунки для сжигания жидкого топлива

Для обеспечения горения жидкого топлива требуется перемешивание паров топлива с кислородом воздуха. Необходимо хорошее распыление жидкого топлива. Распыление осуществляется форсунками, которые по способу распыления делят на механические, высокого давления (паровые и воздушные) и низкого давления (воздушные). На литейных печах и сушилах применяют воздушные форсунки низкого давления. Они работают при давлении воздуха 5—6 кПа и давлении мазута 10—20 кПа. Струю мазута подают по центру воздушного потока. Механическое воздействие воздушного потока, движущегося с большой скоростью, разрушает и распыляет струю мазута.

По выходе из форсунки капли мазута, окруженные воздухом, попадают в полость раскаленного горелочного туннеля (см. рис. 3). Капли начинают нагреваться за счет излучения пламени в туннеле, а также за счет конвекции от нагретого воздуха и рециркуляции продуктов горения в туннеле.

При тонком распылении и хорошем перемешивании капля мазута с воздухом длина факела уменьшается. При плохом распылении и перемешивании с воздухом выделяется сажистый углерод, который не успевает сгореть, образует копоть, и длина факела увеличивается. Факел, образующийся при горении, должен соответствовать конструкции печи [4].

Длина факела должна обеспечивать полное и экономичное сгорание мазута в имеющемся объеме топки или печи и необходимые условия теплопередачи к нагреваемым изделиям.

В форсунках высокого давления распыление мазута осуществляется паром под давлением 300—1200 кПа или компрессорным воздухом под давлением 300—700 кПа. В форсунках с распылением компрессорным воздухом количество компрессорного воздуха составляет ~10 % количества, необходимого для горения. Остальной воздух подают вентилятором. В паровых форсунках весь воздух, необходимый для горения, подают вентилятором.

Форсунка низкого давления (рис. 1) работает следующим образом. Жидкое топливо (мазут) по направлению стрелки B

Приложение 3

Требования к содержанию и оформлению отчета

1. Отчет должен быть оформлен на листе формата А4, шрифт Times New Roman, кегль 14, межстрочный интервал 1,5.
2. Структура отчета должна содержать:
 - Тему практической работы (название).
 - Цель практической работы.
 - Ход работы.
 - Вывод.
 - Ответы на контрольные вопросы.

