



**Негосударственное частное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Технический университет УГМК»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
ТЕПЛОТЕХНИКА**

<b>Направление подготовки</b>	<b>22.03.02 Metallургия</b>
<b>Профиль подготовки</b>	<b>Metallургия цветных металлов</b>
<b>Уровень высшего образования</b>	<b>Прикладной бакалавриат</b>

Рассмотрено на заседании кафедры Metallургии  
Одобрено Методическим советом университета 30 июня 2021 г., протокол № 4

г. Верхняя Пышма  
2021

Методические рекомендации к организации и выполнению самостоятельной работы составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Теплотехника».

Код направления и уровня подготовки	Название направления	Реквизиты приказа Министерства образования и науки Российской Федерации об утверждении и вводе в действие ФГОС ВО	
		Дата	Номер приказа
22.03.02	Металлургия	04.12.2015	1427

Автор – разработчик /Дата создания/	Гольцев В.А., к.т.н., доцент	
Эксперт	Скопов Геннадий Вениаминович, главный специалист Управления стратегического планирования ООО «УГМК-Холдинг», д-р техн. наук, ст.науч.сотр.	
Заведующий кафедрой «Металлургия» /Дата утверждения/	Мастюгин Сергей Аркадьевич, д-р техн. наук, доцент	
Продолжительность модуля/дисциплины	108 часов (3 ЗЕ)	
Место проведения	Учебные аудитории Технического университета УГМК	
Цель модуля/дисциплины	После завершения дисциплины, обучающиеся будут способны проводить теплотехнический анализ работы металлургических агрегатов с целью энерго- и ресурсосбережения.	

Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине «Теплотехника» предусмотрена на 3 курсе в 5 семестре в объёме 51 час (очная форма обучения) и на 3 курсе в 5 семестре в объёме 92 часа (заочная форма обучения).

Самостоятельная работа обучающихся включает изучение теоретического курса и подготовку к зачету. Поэтому настоящие методические рекомендации к организации и выполнению самостоятельной работы относятся к виду учебной работы «Изучение теоретического курса и подготовка к зачету». Данная составляющая самостоятельной работы предусмотрена на 3 курсе в 5 семестре в объёме 60 часов (соответственно 51+9) - очная форма обучения и на 2 курсе в 4 семестре в объёме 34 часа (соответственно 34+0) и на 3 курсе в 5 семестре в объёме 62 часа (соответственно 58+4) - заочная форма обучения. Самостоятельная работа обучающихся также включает все виды текущей аттестации.

### Тематика самостоятельной работы

Код раздела, темы	Номер занятия	Тема занятия	Время на проведение занятия, час	
			форма обучения	
			очная	заочная
P1	1	Основы общей теории тепловой работы печей	5	14
P2	2	Строительные элементы печей	5	16
P3	3	Огнеупорные и теплоизоляционные материалы	4	10
P4	4	Теплогенерация в топливных и электрических печах	3	10
P5	5	Вторичные энергоресурсы (ВЭР) металлургических технологий и их использование	6	10
P6	6	Конструкция и тепловая работа обжиговых и плавильных агрегатов, нагревательных печей и сушильных установок в металлургии	6	10
Курсовая работа			22	22
			51	92

Принятые сокращения: ОФО – очная форма обучения; ЗФО – заочная форма обучения.

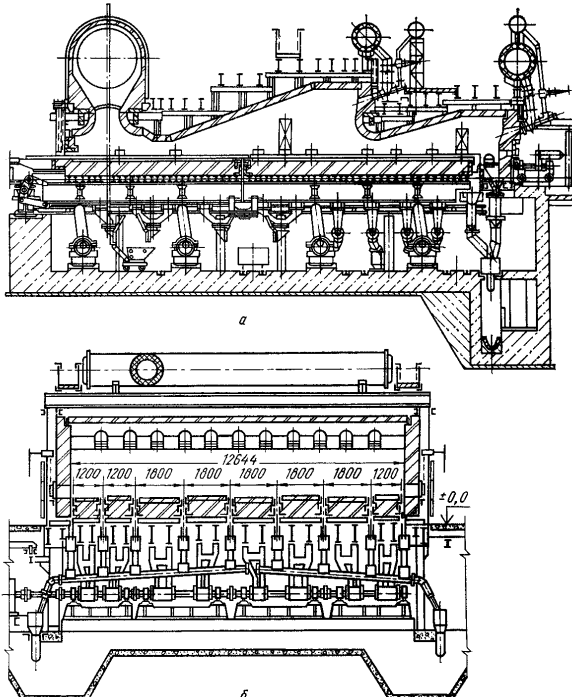
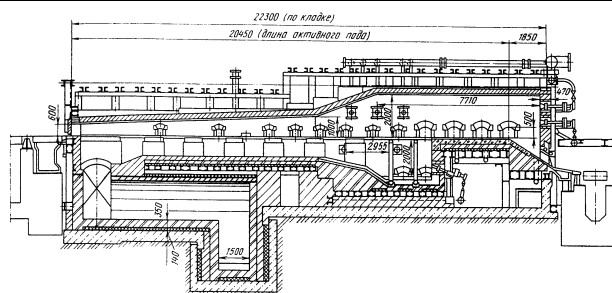
# САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА № 1

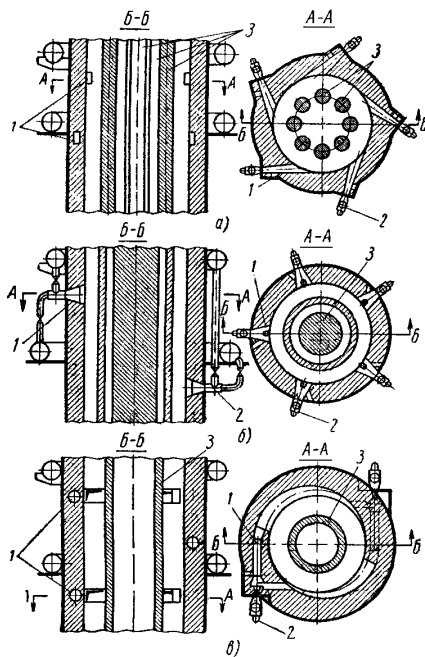
**Тема: основы общей теории тепловой работы печей**

**Задание 1** Проанализировать схему классификации печных агрегатов (по Глинкову).



Заполнить таблицу:

Чертеж металлургического агрегата	Подробная классификация (по Глинкову)
 <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">Рис. Двухзонная печь с шагающим подом: а, б — продольный и поперечный разрезы</p>	
 <p style="text-align: center; margin-top: 5px;">Рис. Двухзонная методическая печь</p>	



Фиг. Конструктивные варианты вертикальных камерных печей для термической обработки;

*а* — безмуфельная печь с тангенциально установленными горелками; *б* — полумуфельная печь с горелками, установленными радиально; *в* — циркуляционная печь, отапливаемая мазутом; 1 — горелочные каналы; 2 — горелки; 3 — нагреваемые изделия.

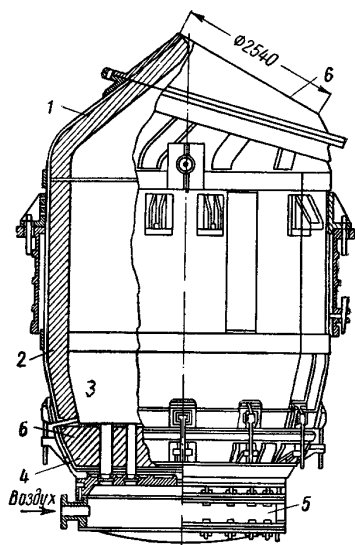


Рис. Бессемеровский конвертер

Чертеж металлургического агрегата

Подробная классификация (по Глинкову)

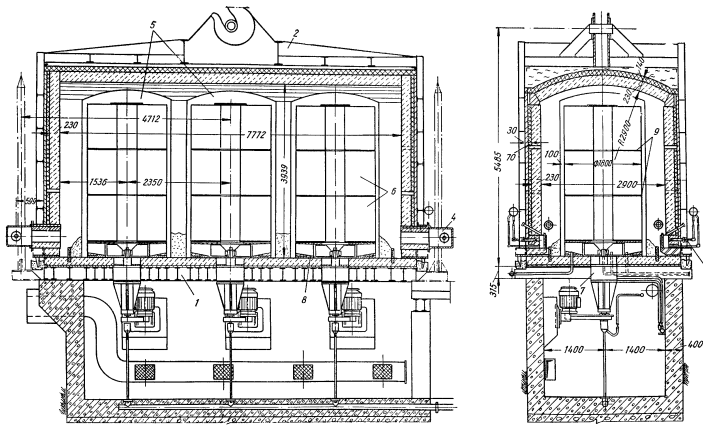


Рис. Трехкамерная кокшковая печь для чугуна:  
1 — стена; 2 — нагревательный кожух; 3 — горелка; 4 — печной инжектор; 5 — муфта; 6 — столы отжигаемых рудов; 7 — циркуляционные вентиляторы с текстурной передаточей; 8 — нагревательные аппараты циркуляционных вентиляторов; 9 — конвекторные кольца

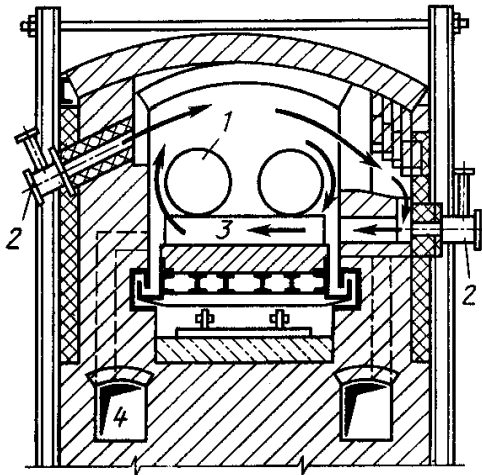


Рис. Циркуляционная печь с выкатным подом:  
1 — садка; 2 — горелка; 3 — подставка; 4 — дымоотводящий канал

# Чертеж металлургического агрегата

# Подробная классификация (по Глинкову)

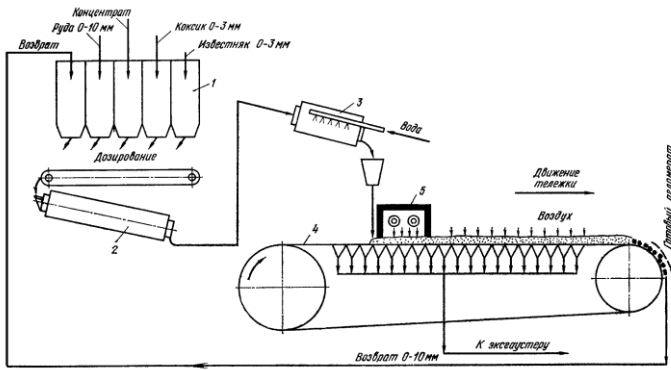


Схема производства агломерата

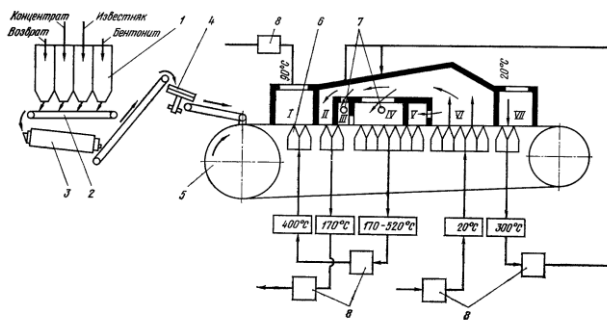


Схема производства окатышей:

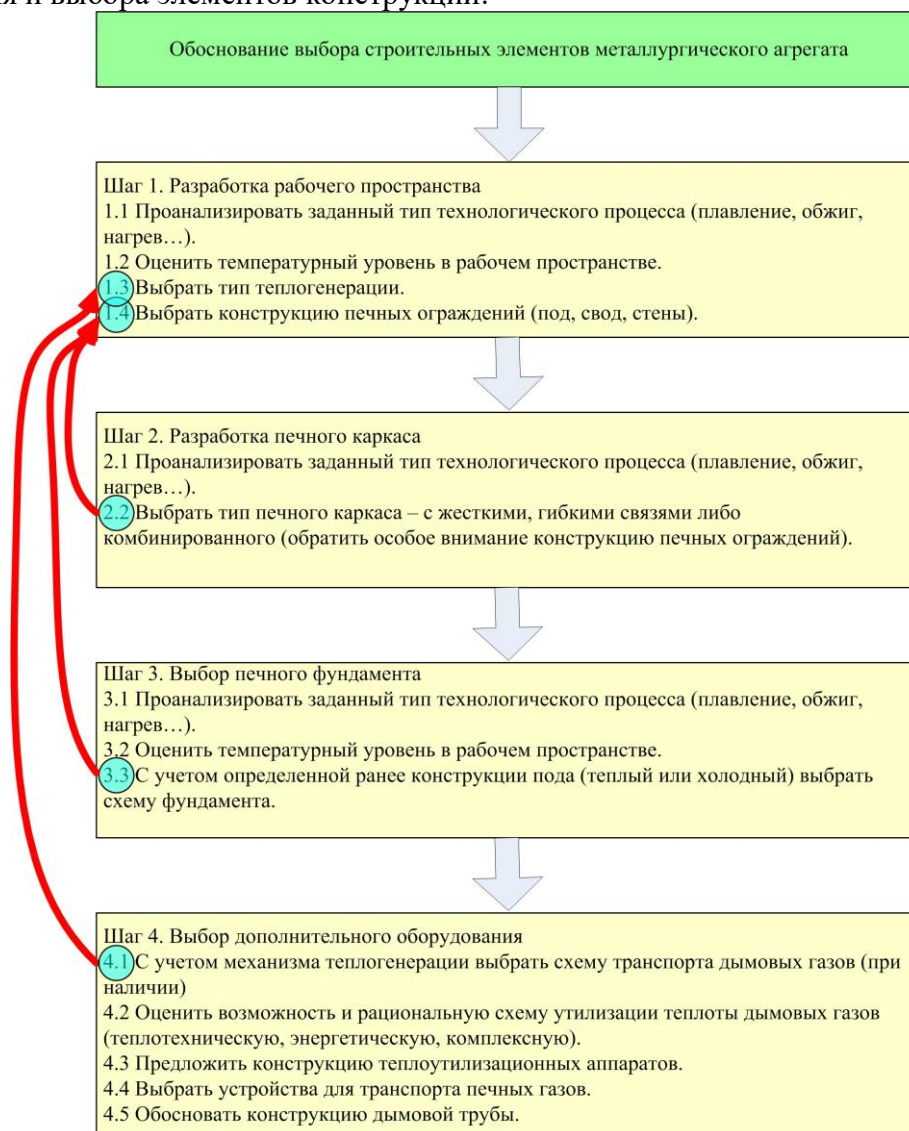
1 — шихтовый бункер; 2 — шихтовый конвейер; 3 — смешиватель; 4 — тарельчатый гранулятор; 5 — обжимная конвейерная машина; 6 — вакуум-камера; 7 — горелка; 8 — вентилятор; I, II — зоны сушки; III — зона подогрева; IV — зона охлаждения; V, VI, VII — зоны охлаждения

## САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА № 2

### Тема: Строительные элементы печей

#### Задание 1 Самостоятельная работа:

Каждому студенту разработать и обосновать свой выбор по комплектации заданного типа печного агрегата в соответствии с классификацией (по технологическому назначению, по первичному виду энергии, по типу теплового процесса и по режиму работы). Схема обоснования и выбора элементов конструкции:



Типы теплотехнических агрегатов для разработки:

1. Теплотехнический агрегат для осуществления окислительного обжига.
2. Теплотехнический агрегат для осуществления хлорирующего обжига.
3. Теплотехнический агрегат для осуществления возгоночного обжига.
4. Теплотехнический агрегат для осуществления восстановительного обжига.
5. Теплотехнический агрегат для осуществления агломерирующего обжига.
6. Теплотехнический агрегат для осуществления обжига в кипящем слое.
7. Теплотехнический агрегат для осуществления шахтной плавки.
8. Теплотехнический агрегат для осуществления отражательной плавки.
9. Теплотехнический агрегат для осуществления электроплавки.
10. Теплотехнический агрегат для осуществления конвертирования.



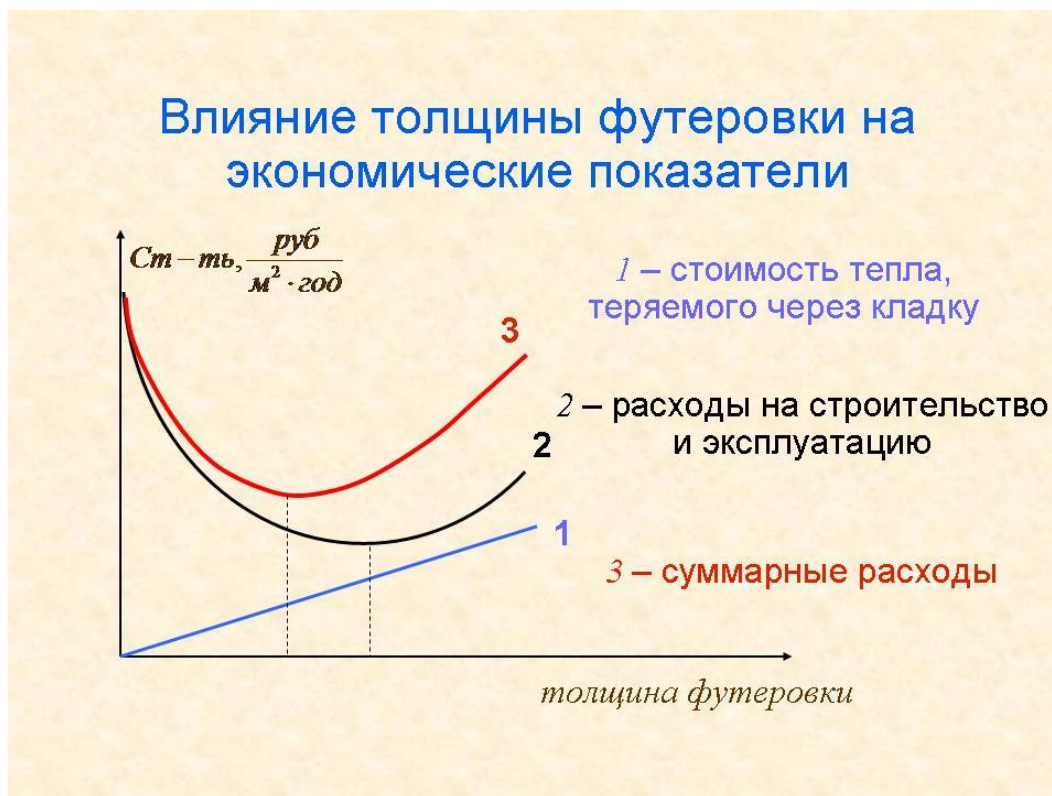
11. Теплотехнический агрегат для осуществления автогенной плавки.
12. Теплотехнический агрегат для осуществления огневого рафинирования.
13. Теплотехнический агрегат для нагрева слитков.
14. Теплотехнический агрегат для термообработки листов.
15. Теплотехнический агрегат для сушки шихтовых материалов.

### САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА № 3

#### Тема: Огнеупорные и теплоизоляционные материалы

##### Задание 1

*Самостоятельная работа:* разработать в среде Excel программу, реализующую поиск наиболее оптимальной толщины футеровки с учетом ограничений. Исходные данные приведены на рисунке:



Исходные данные для расчета:

Дана печная кладка площадью 10 квадратных метров. Расчетом подобрать оптимальную толщину футеровки, если известна стоимость 1 кубического метра огнеупора, стоимость сооружения 1 кубического метра кладки (условно принять равной стоимости кубометра огнеупора), стоимость 1 кубического метра топлива, идущего на отопление печи.

Известна температура в рабочем пространстве печи и окружающей среды (20 °С).

Ограничения:

- использовать реальные огнеупоры (поиск в Интернете);
- использовать стандартный кирпич размером 230x115x65 мм;
- толщина стены должна быть кратна 230 либо 115 мм.

*Результат успешного выполнения практического задания – рационально выбранная и обоснованная толщина футеровки с учетом ограничений. В обязательном порядке использовать надстройку «Поиск решения».*

## САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА № 4

### Тема: Теплогенерация в топливных и электрических печах

Провести поверочный расчет горелок для сжигания газа. Заданы: тип горелки, ее тепловая мощность, температура подогретого воздуха, вид газа, давление газа перед горелкой.

Рассчитать параметры газораспределения: глубину проникновения газовых струй в поток воздуха при заданном давлении газа, скорость истечения газа и воздуха, диаметр расширившейся струи в соответствии с характеристиками:

Характеристики горелок Г-0,4 и Г-1,0

Характеристика	Г-0,4	Г-1,0
Номинальная тепловая мощность горелки, Гкал/ч	0,377	0,963
Номинальное давление газа, Па	300	850
Давление воздуха, Па	300	1150
Коэффициент избытка воздуха	1,05	1,03
Диаметры, мм:		
$D_1$	87	160
$D_2$	48	76

Характеристики горелок ГГВ

Характеристика	ГГВ-10	ГГВ-25	ГГВ-50	ГГВ-75	ГГВ-100	ГГВ-150	ГГВ-200	ГГВ-350	ГГВ-500	ГГВ-750
Номинальная тепловая мощность горелки, Гкал/ч	0,104	0,244	0,504	0,8/0,74	1,0	1,49/1,44	2,0/1,98	3,5/3,48	4,8/4,97	7,45
Номинальное давление воздуха, Па	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
Число отверстий-сопел для входа газа, $n$	12/12	24/28	16/36	12/36	12/36	12/36	12/36	12/36	12/36	24/36
Диаметры, мм: $d$	2,76/1,4	3,0/1,0	5,0/1,7	7,7/2,2	8,7/2,5	11,0/3,0	12,2/3,5	16,3/4,75	205/5,8	17,3/17,0
$D_1$	68	126	152	168	192	210	270	330	386	460
$D_2$	33	91	117	133	157	175	235	295	351	425

*Примечания.* 1. В числителе даны характеристики горелок при работе на газе с номинальным давлением 2 кПа, в знаменателе – с давлением 30 кПа.

2. Тепловая мощность ГГВ-150, согласно государственным испытаниям, достигает 1,79 Гкал при давлении газа 2,8 кПа и воздуха 2,3 кПа.

Характеристики горелок ГМГм

Характеристика	ГМГ-1,5м		ГМГ-2м	ГМГ-4м	ГМГ-5м
Номинальная тепловая мощность горелки, Гкал/ч	1,35	1,5	2,0	4,0	5,0
Номинальное давление, кПа:					
газа	3,80	5,00	3,60	3,80	
воздуха первичного	1,25	1,20	1,20		
воздуха вторичного	0,75	0,90	0,90	0,80	0,75
Число газовыходных отверстий диаметром $d_1/d, n$	9/12	9/12	12/12		
Диаметры, мм:					
$D_1$	232		255	362	
$D_2$	142		165	272	
$d$	6,8		8,0	11,5	14,0
$d_1$	6,5		6,5	8,8	10,0

Характеристики горелок РГМГ

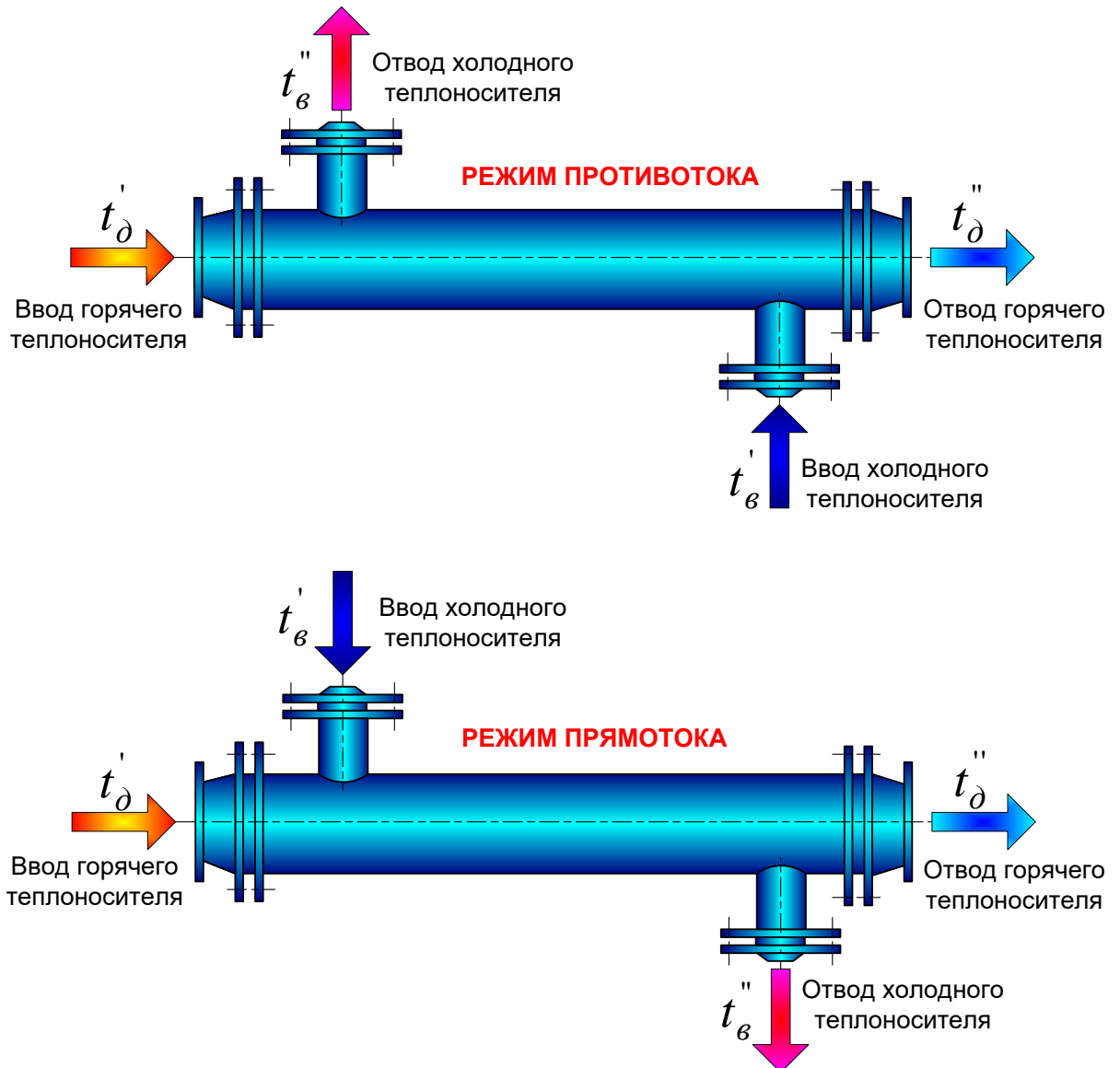
Характеристика	РГМГ-10	РГМГ-20	РГМГ-30
Номинальная тепловая мощность горелки, Гкал/ч	11,09	22,27	33,45
Номинальное давление топлива, кПа	19,50	34,00	41,20
Давление воздуха, кПа:			
первичного	7,00	7,30	9,00
вторичного	1,00	1,50	2,56
Коэффициент избытка воздуха	1,05	1,06	1,06
Число газовыходных отверстий, $n$	16	20	21
Диаметры, мм:			
$d$	14	16	18
$D_1$	542	632	717
$D_2$	192	282	367



## САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА № 5

Тема: Вторичные энергоресурсы (ВЭР) металлургических технологий и их использование

### «РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ»



Определить площадь поверхности нагрева  $F$ ,  $\text{м}^2$  и расход  $m_x$ ,  $\text{кг/с}$  холодного теплоносителя для противоточного водоводяного теплообменника. При расчете необходимо учесть, чтобы температура нагреваемой воды на выходе составила бы  $t''_\epsilon$ . Известен расход  $m_\partial$ ,  $\text{кг/с}$  горячего теплоносителя и его температуры на входе  $t'_\partial$  и выходе  $t''_\partial$ . Температура холодного теплоносителя на входе равна  $t'_\epsilon$ . Коэффициент теплопередачи в теплообменнике  $k$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , а коэффициент сохранения теплоты составит  $\zeta$ . При расчетах принять теплоемкость воды не зависящей от температуры и равной  $c=4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

Как изменится температура холодного теплоносителя на выходе из теплообменника, если будет применена прямоточная схема движения теплоносителей, а расходы обоих теплоносителей, коэффициенты теплопередачи и сохранения теплоты, а также

температуры горячего теплоносителя на входе и выходе и температура холодного теплоносителя на входе останутся неизменными?

Варианты заданий

		Номер варианта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент сохранения теплоты, д.ед	$\zeta$	0,98	0,985	0,965	0,987	0,954	0,966	0,948	0,978	0,981	0,986
Расход горячего теплоносителя, кг/с	$m_2$	15	13	18	17	13,5	14,2	13,5	19	17,5	16,8
Температура горячего теплоносителя на входе, °С	$t'_d$	120	115	122	113	125	114	118	125	127	110
Температура горячего теплоносителя на выходе, °С	$t''_d$	80	82	84	75	77	74	78	86	89	73
Температура холодного теплоносителя на входе, °С	$t'_e$	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Температура холодного теплоносителя на выходе, °С	$t''_e$	60	56	62	63	66	59	62	67	71	59
Коэффициент теплопередачи, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	$k$	1900	1700	2100	2000	1870	1850	1740	2200	2030	1940



## САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА № 6

**Тема: Конструкция и тепловая работа обжиговых и плавильных агрегатов, нагревательных печей и сушильных установок в металлургии**

*Задание 1 (пример решения)*

Как уменьшится время нагрева изделия в электрической печи сопротивления, если  $\eta_{кпм}$  увеличится с 60 % до 80 %?

Решение:

За период нагрева полезное тепло составит:

$$Q_{пол} = M \cdot C(T_M^к - T_M^н) \cdot t$$

Определим приход тепла:

$$Q_{прих} = N \cdot t$$

где  $N$  – мощность электронагревателей

По условиям задачи все переменные, входящие в уравнения, кроме аргумента задачи времени нагрева ( $t$ ) являются постоянными величинами поэтому получаем:

$$t_2 = t_1 \frac{\eta_{кпм2}}{\eta_{кпм1}} = \frac{0,6}{0,8} \cdot t_1 \quad \text{или} \quad \frac{t_2}{t_1} = 0,75$$

Таким образом, время уменьшится на четверть.

*Задание 2(пример решения)*

Производительность топливной печи ( $P$ ) непрерывного действия составляет 360 т/ч.

Определить расход природного газа ( $B$ , м<sup>3</sup>/ч) с  $Q_n^p = 36 \text{ МДж/м}^3$ , если коэффициент полезного теплоиспользования составляет  $\eta_{кпм} = 40 \%$ . Средняя по массе температура металла изменится от 0<sup>0</sup>С до 1000<sup>0</sup>С, удельная теплоемкость металла составляет при этом  $c = 0,6 \text{ КДж/кгК}$ . Воздух и топливо не подогреваются.

Решение:

Из уравнений (5) и (10) следует, что

$$P \cdot C \cdot \Delta T_k = \eta_{кпм} \cdot Q_{прих}$$

По условиям задачи приход тепла составляет

$$Q_{прих} = B \cdot Q_n^p$$

Поэтому

$$B = \frac{P \cdot C \cdot \Delta T_k}{\eta_{кпм} \cdot Q_n^p} = \frac{360 \cdot 0,6 \cdot 1000}{0,4 \cdot 36000} = 15 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Таким образом, при указанной эффективности использования тепла расход топлива составит 15 м<sup>3</sup>/ч

*Задание 1(решить самостоятельно)*

Медная пластина (плотность - 8800 кг/м<sup>3</sup>, теплота плавления - 205 кДж/кг) с исходной толщиной 0,1 м помещена в среду с температурой 1183<sup>0</sup>С и равномерно обогрывается с

двух сторон. К моменту достижения на поверхности пластины температуры  $1083^{\circ}\text{C}$  (точка плавления меди) пластина оказывается равномерно прогретой по всей толщине. Начинается ее плавление, сопровождающееся мгновенным удалением образующегося расплава. Но прошествии 30 минут толщина твердого остатка составляет 0,05 м. Сколько еще времени потребуется для окончательного расплавления пластины?

*Задание 2(решить самостоятельно)*

Алюминиевая пластина (плотность  $2700 \text{ кг/м}^3$ , теплота плавления -  $400 \text{ кДж/кг}$ ) с исходной толщиной 0,1 м помещена горизонтально на идеально теплоизолированную поверхность и тепло подводится к пластине от *греющей* среды только сверху. К моменту достижения на свободной поверхности пластины температуры  $660^{\circ}\text{C}$  (точка плавления алюминия) пластина оказывается равномерно прогретой по всей толщине. Начинается ее плавление, сопровождающееся накоплением образующегося расплава, коэффициент теплопроводности которого равен  $200 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . При этом условия теплоотдачи от греющей среды таковы, что свободная поверхность расплава мгновенно нагревается до температуры среды. По прошествии 30 минут толщина твердого остатка составляет 0,05 м. Сколько еще времени потребуется для окончательного расплавления пластины?

*Задание 3(решить самостоятельно)*

В печи непрерывного действия с прямоточным режимом взаимного движения газов и металла нагревают термически тонкие заготовки от начальной температуры  $0^{\circ}\text{C}$  до конечной  $300^{\circ}\text{C}$ . При этом происходит снижение температуры газов по длине рабочей камеры с  $1000^{\circ}\text{C}$  до  $400^{\circ}\text{C}$ .

Изменится ли время нагрева этих заготовок, если режим движения газов и металла будет заменен на взаимно противоточные при сохранении тех же начальных и конечных температур газов и металла (при допущении о неизменности среднего коэффициента теплоотдачи)? Если время нагрева изменится, то на сколько?