

А. В. МОНАСТЫРЕВ,
А. В. АЛЕКСАНДРОВ

ПЕЧИ
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
ИЗВЕСТИ

Справочник

875732



Научная библиотека ПГТУ



2000367072

Москва «Металлургия» 1979

666.9
172
УДК 666.92.02(031)

Р е ц е н з е н т докт. техн. наук В. М. Дементьев
УДК 666.92.02(031)

Печи для производства извести. Справочник. Монастырев А. В., Александров А. В. М., «Металлургия», 1979. 232 с.

В справочнике приведены конструкции отечественных и зарубежных шахтных и вращающихся печей, печей кипящего слоя, обжиговых машин, загрузочных и разгрузочных механизмов печей, устройств для ввода и сжигания жидкого и газообразного топлива, тяго-дутьевых машин, устройств для очистки пепельных газов. Рассмотрены вопросы механизации и автоматизации процесса обжига в печах, технико-экономические характеристики печей и основные показатели их работы. Приведены основные требования, предъявляемые к свойствам извести, к сырью и технологическому топливу.

Справочник предназначен для инженерно-технических работников предприятий и цехов по производству извести заводов металлургической и химической промышленностей, промышленности строительных материалов и других отраслей народного хозяйства. Может быть полезен специалистам проектных, конструкторских и научно-исследовательских организаций, занимающихся вопросами производства извести. Ил. 77. Табл. 97. Список лит.: 46 назв.

ВВЕДЕНИЕ

Основными направлениями развития народного хозяйства СССР из 1976—1980 гг., утвержденными XXV съездом КПСС, предусматривается техническое перевооружение и реконструкция действующих предприятий, позволяющие увеличить выпуск продукции с меньшими затратами. Поставленная задача тесно связана с повышением эффективности и качества продукции во всех отраслях народного хозяйства, в том числе и на предприятиях по производству извести.

СССР по объему производства извести занимает первое место в мире. По данным ЦСУ, за годы девятой пятилетки выпуск извести в стране увеличился с 22,4 до 26,4 млн. т в год. Объем производства извести в технически развитых зарубежных странах ниже, чем в СССР. Например, в 1974 г. выпущено извести, млн. т: в США — 22, ФРГ — 11, Японии — 7,9. В 1980 г. в СССР намечается выпустить извести 30 млн. т, в США — около 27 млн. т.

Около 90% общего выпуска извести в нашей стране приходится на предприятия четырех министерств: черной металлургии (33%), строительных материалов (33%), химической промышленности (12,6%) и пищевой промышленности (12%).

Основным потребителем технологической извести является черная металлургия. В металлургических процессах на 1 т продукции расходуется извести, кг: при конверторном способе производства стали 80—100, мартеновском 15—50, электроплавильном 40—60, агломерации шихты 20—60. Использование высококачественной извести ускоряет дефосфорацию и десульфурацию металла в кислородном конвертере, увеличивает его производительность и повышает срок службы футеровки. Добавка извести в шихту агломерационной машины повышает ее производительность на 10—12% и снижает удельный расход топлива на 2—5%. Значительный рост потребления извести предприятиями МЧМ в десятой пятилетке объясняется развитием эффективного кислородно-конверторного производства стали и интенсификацией спекания железорудных концентратов [1, 2].

Наиболее крупные известковые производства нашей страны сосредоточены на предприятиях МЧМ (Новолипецкий — 1040, Криворожский — 720, Западно-Сибирский — 725, Челябинский — 530, Карагандинский — 520, Азовсталь — 500 тыс. т в год) и Минхимпрома (Стерлитамакский содово-цементный — 1576, Березниковский содовый — 1300, Лисичанский содовый — 310 тыс. т в год).

В черной металлургии СССР, где технический уровень производства извести наиболее высокий, 27% от общего объема производства извести выпускается на предприятиях, имеющих среднюю годовую мощность 140 тыс. т. В ФРГ около 30% всей производимой извести выпускается на двух заводах. В США на семи заводах производительностью более 400 тыс. т в год выпускается около 23% всего объема производства извести.

В США, ФРГ, Японии известь, выпускаемая крупными предприятиями, используется для различных целей: 30—40% — в металлургии, 28—30% — в химии, 8—10% — для очистки сточных вод, 4—7% — в строительстве.

Для производства извести в Советском Союзе применяются главным образом шахтные и вращающиеся трубчатые печи. Печи кипящего слоя эксплуатируются на двух предприятиях. На долю шахтных печей приходится около 80% выпускаемой в стране извести.

На предприятиях черной металлургии работают короткие вращающиеся печи с запечными теплообменными устройствами производительностью 300—450 т/сут, эксплуатируется печь кипящего слоя производительностью 200—250 т/сут и осваивается печь кипящего слоя производительностью 1000 т/сут. В химической промышленности эксплуатируются шахтные печи производительностью 300—400 т/сут и проектируется печь, работающая на коксе, производительностью 700 т/сут. В промышленности строительных материалов работают длинные вращающиеся печи размером 4×150 м производительностью 500 т/сут и разработан проект завода с вращающимися печами размером 4,5×170 м производительностью 760 т/сут комовой извести каждая.

За рубежом для производства извести высокого качества применяют печи различных типов производительностью 140—1000 т/сут. В США на 53 из 160 заводов установлены только вращающиеся печи (короткие и длинные) производительностью 300—600 т/сут, на 48 заводах — шахтные печи производительностью 160—800 т/сут, на 5 заводах — шахтные и вращающиеся, на 9 заводах — печи других типов. В ФРГ эксплуатируются обычные шахтные печи производительностью 140—300 т/сут, шахтные регенеративные производительностью 500 т/сут, вращающиеся (короткие и длинные) производительностью 600—1000 т/сут и кольцевые конструкции К. Беккенбаха производительностью 300 т/сут.

Повышение эффективности производства и улучшение качества извести в десятой пятилетке на предприятиях черной металлургии предусматривается укрупнением существующих известковых цехов и отделений, строительством агрегатов с вращающимися печами производительностью 500—600 т/сут, модернизацией действующих шахтных и вращающихся печей, внедрением печей кипящего слоя производительностью 400—1000 т/сут.

При составлении справочника использованы материалы научно-исследовательских и проектных организаций: Гипромеза, Союзгипростройма, ДонНИИчермета, ВНИПИЧерметэнергоочистки, ВНИИстрома, ВНИИЦеммаша, нормативные материалы, данные отечественных стандартов по состоянию на 1 января 1978 г., материалы зарубежных и отечественных журналов, опыт передовых предприятий.

Авторы приносят благодарность докт. техн. наук В. М. Дементьеву за ряд полезных советов и замечаний при рецензировании справочника.

ГЛАВА I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗВЕСТИ, СЫРЬЕ И ТОПЛИВЕ ДЛЯ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ОСНОВАХ ПРОЦЕССА ОБЖИГА

1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ИЗВЕСТИ И СПОСОБЫ ЕЕ ПОЛУЧЕНИЯ

Известь получают путем обжига до удаления углекислоты кальциевомагниевых горных пород в печных агрегатах [3—5].

Химический состав. Известь состоит из следующих основных соединений: CaO, MgO, 2CaO·SiO₂, 4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃, 12CaO·7Al₂O₃ (табл. 1).

По количеству содержания в извести силикатов и алюмоферритов кальция, придающих ей гидравлические свойства, различают известь воздушную (менее 40%) и известь гидравлическую (более 40%).

По виду основного окисла (CaO, MgO) воздушная известь по ГОСТ 9179—77 подразделяется на кальциевую ($MgO \leq 5\%$), магнезиальную ($MgO \leq 20\%$) и доломитовую ($MgO \leq 40\%$).

В СССР производится в основном известь воздушная кальциевая. Известь воздушная негашеная кальциевая, магнезиальная или доломитовая производится в печных установках в виде кусков (комьев), зерен или порошка.

Физические свойства негашеной извести. Негашеная известь может иметь цвет от белого до черного. Известь является кристаллическим телом. Чистые CaO и MgO обладают кристаллической решеткой кубической сингонии. Длина ребра куба CaO равна $4,797 \times 10^{-4}$ мм, MgO — $4,203 \cdot 10^{-4}$ мм, чем объясняется более высокая средняя плотность доломитовой извести по сравнению с кальциевой.

Плотность извести зависит от свойства исходной карбонатной породы и условий ее обжига и изменяется в пределах 3000—3600 кг/м³.

Объемная масса извести (кажущаяся плотность) зависит от объема пор, который обычно составляет 20—35% общего объема извести (табл. 2).

Твердость извести по шкале Мооса колеблется в пределах 2—3. Предел прочности при сжатии извести изменяется от 3 до 7 МПа и зависит от свойств карбонатного сырья, вида примесей, режима обжига.

Угол естественного откоса для извести с размером кусков 50—15 мм составляет 50—55°.

Коэффициент теплопроводности λ_{ii} [Вт/(м·К)] и теплоемкость c_{ii} [Дж/(кг·К)], кальциевой извести [4]: из известняка

$$\lambda_{ii} = 1,163 (-1,011 - 0,66 \cdot 10^{-3} t + 1,513 \cdot 10^{-3} \rho_0); \quad (1)$$

из мела

$$\lambda_{ii} = 1,163 (0,79 - 0,49 \cdot 10^{-3} t); \quad (2)$$

$$c_{ii} = \frac{4,19 \cdot 10^3}{56} (11,86 + 1,08 \cdot 10^{-3} T - 1,66 \cdot 10^5 T^{-2}). \quad (3)$$

Таблица 1
Характеристика соединений негашеной извести

Соединение	Формула	Плотность, кг/м ³	Температура плавления, °C	Кристаллическая система
Окись кальция .	CaO	3320—3340	2570	Кубическая
Окись магния .	MgO	3000—3400	2800	»
Периклаз .	MgO	3580	2800	»
Двухкальциевый силикат .	2CaO·SiO ₂ (β-форма)	3400	1438	Моноклинная
Четырехкальциевый алюмомагнетит .	4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃	3770	1415	Ромбическая
Алюминат кальция .	12CaO·7Al ₂ O ₃	2690	1455	Кубическая

Таблица 2
Физико-механические свойства негашеной комовой извести [4]

Вид извести и исходной карбонатной породы	Плотность ρ, кг/м ³	Объемная масса ρ _o , кг/м ³	Насыпная масса ρ _{II} , кг/м ³	Истираемость, %	Предел прочности при сжатии, МПа
Известь кальциевая	3325	1380	1100	51,6	5,6
Известняк	2940	2553	1462	1,9	42
Известь гидравлическая	3300	1450	945	50	4,5
Известняк	2900	2650	1430	1,3	75
Известь кальциевая	3260	1010	731	22,5	5,1
Мел	2670	1462	975	14	4,6
Известь доломитовая	3550	1720	1060	—	6,1
Доломит	2880	2640	1480	1,5	6,2

Таблица 3
Технические условия на известь для кислородных конверторов

Сорт	Химический состав, %						CO ₂ (п. п. п.), не более	Время гашения, мин, не более
	CaO+MgO, не менее	MgO	SiO ₂ , не более	S, не более	P, не более	R ₂ O ₃ , не более		
1-й	92	8	2	0,06	0,1	2,8	5	5
2-й	91	8	3	0,09	0,1	2,8	5	5

Таблица 4
Технические требования к воздушной негашеной комовой извести (ГОСТ 9179—77)

Показатели	Нормы для извести					
	кальциевой сортов			магнезиальной и доломитовой сортов		
	1-го	2-го	3-го	1-го	2-го	3-го
Содержание активных CaO+MgO в пересчете на сухое вещество, %, не менее	90	80	70	85	75	65
Содержание активной MgO, %, не более, в извести:						
кальциевой	5	5	5	—	—	—
магнезиальной	—	—	—	20	20	20
доломитовой	—	—	—	40	40	40
Содержание углекислоты (CO ₂), %, не более	3	5	7	5	8	11
Содержание непогасившихся зерен, %, не более	7	11	14	10	15	20

Таблица 5
Технические требования к гидравлической извести (ГОСТ 9179—77)

Показатели	Нормы для извести	
	слабогидравлической	сильногидравлической
Содержание активных CaO+MgO в пересчете на сухое вещество, %:		
не менее	40	5
не более	65	40
Содержание активной MgO, %, не более	6	6
Содержание углекислоты (CO ₂), %, не более	6	5

Требования к свойствам извести. Крупнейшими потребителями извести являются металлургическая, химическая, пищевая промышленность и промышленность строительных материалов.

Известь для кислородных конверторов должна отвечать техническим условиям ТУ 14-1-123-71 (табл. 3).

Размер кусков извести должен быть в пределах 10—30 мм, при этом содержание мелочи размером менее 10 мм не должно превышать 10% (по массе).

В мартеновском производстве стали используется известь с большим содержанием «недожога» (CaCO_3), и специальные требования к такой извести не предъявляются.

Известь, используемая для производства ферросплавов, должна содержать не менее 92—93% $\text{CaO} + \text{MgO}$ и 1—2% CO_2 , что необходимо для снижения расхода электроэнергии на выпуск продукции в электродуговых печах.

Известь, применяемая в агломерации для интенсификации спекания тонких железорудных концентратов, должна содержать не менее 80% $\text{CaO} + \text{MgO}$, размер зерен 3—0 мм.

В химической промышленности к извести предъявляется ряд специфических требований. В производстве гипохлорита кальция и карбida кальция требуется кальциевая известь с содержанием CaO не менее 95%. При выпуске сорбента ХП-И используется известь с высокой реакционной способностью, имеющая сложную кристаллическую структуру (сочетание CaO размером 1—4 мкм с кристаллитами CaO размером 150—200 мкм), что достигается организацией «мягкого» режима обжига чистого кальцитового известняка. В производстве соды стремятся получить отходящие из печи газы с максимальным содержанием CO_2 (39—41%), а известь — с умеренным содержанием остаточной CO_2 (6—8%). В результате кальциевая известь содержит обычно 82—85% $\text{CaO} + \text{MgO}$.

При производстве сахара используется известь с содержанием 90—92% CaO , 2—5% остаточной CO_2 и минимальным содержанием примесей. Отходящие из печи газы содержат 32—34% CO_2 , которая используется в технологическом процессе.

В промышленности строительных материалов и строительстве известь воздушную и гидравлическую применяют для производства силикатного кирпича, изделий из силикатного бетона, для кладочных и штукатурных растворов. Известь строительная негашеная кремовая должна отвечать требованиям ГОСТ 9179—77, указанным в табл. 4 и 5.

По времени гашения воздушная негашеная известь всех сортов подразделяется на быстрогасящуюся (до 8 мин), среднегасящуюся (до 25 мин) и медленногасящуюся (более 25 мин).

2. ХАРАКТЕРИСТИКА КАРБОНАТНЫХ ПОРОД

К карбонатным породам относятся осадочные образования, состоящие из минералов карбонатной группы (кальцит, арагонит, доломит, магнезит) и примесей (табл. 6).

Структура карбонатных пород определяется особенностями слагающих их минеральных зерен и зависит от размера, формы и характера поверхности последних. По структуре различают зернистокристаллические, плотные, пористые и землистые карбонатные породы.

Таблица 6
Характеристика карбонатов кальция и магния

Минерал	Формула	Плотность, кг/м ³	Твердость по шкале Мооса	Кристаллическая система
Кальцит	CaCO_3	2710	3	Тригональная сингония
Арагонит	CaCO_3	2800—2900	3,5—4	Ромбическая сингония
Доломит	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ (54% CaCO_3 и 46% MgCO_3)	2800—2900	3,5—4	Тригональная сингония
Магнезит	MgCO_3	3000—3300	3,5—4,5	То же

Таблица 7
Технические требования к известняку для производства конверторной извести (ТУ 14-1-124-71)

Сорт	Химический состав, %					
	CaO	MgO	SiO_2	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	S	P
1-й	≥53,5	≤1,2	≤1	≤1,5	≤0,03	≤0,06
2-й	≥53	≤1,2	≤1,5	≤1,5	≤0,05	≤0,06

Таблица 8

Классы карбонатных пород для производства строительной извести в зависимости от химического состава

Показатели	Классы карбонатных пород						
	A	B	V	G	D	E	Ж
Содержание углекислого кальция (CaCO_3), %, не менее	92	86	77	72	52	47	72
Содержание углекислого магния (MgCO_3), %, не более	5	6	20	20	45	45	8
Содержание глинистых примесей ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), %, не более	3	8	3	8	3	8	20

Теплопроводность [Вт/(м·К)] известняка и мела [4]:

$$\lambda_M = (1.71 - 0.0013t) \cdot 1.163; \quad (4)$$

med

$$\lambda_{\nu} \equiv (0.473 - 0.00011 t) 1,163. \quad (5)$$

Теплоемкость CaCO_3 [Дж/(кг·К)]:

$$c_t = \frac{4,19 \cdot 10^3}{100} (24,98 + 5,24 \cdot 10^{-3} T - 6,2 \cdot 10^5 T^{-2}) . \quad (6)$$

Требования к карбонатным породам. Для производства конверторной извести используют фракционированный известняк. По техническим условиям (ТУ 14-1-124—71) фракционированный известняк по химическому составу подразделяется на два сорта — 1-й и 2-й (табл. 7), по гранулометрическому составу на два класса — 1-й и 2-й (табл. 8). Качество извести допускается в зависимости от сорта и класса.

В известняке для производства конверторной извести допускается содержание MgO до 4,5% при условии, если сумма $CaO + MgO$ будет не менее: для 1-го сорта 54,7%, для 2-го 54,2%.

К 1-му классу относится известняк с размером кусков 25—40 мм, ко 2-му 40—80 мм. При этом содержание кусков с размерами менее нижнего размера фракции — до 7%. Количество пыли в каждой фракции допускается до 1% (по массе). Влажность известняка для обоих классов не должна превышать 5%. Предел прочности при сжатии известняка фракции 40—80 мм должен быть не менее 30 МПа.

В химической промышленности для выпуска извести обычно используются известняк и мел следующего химического состава, %: CaCO_3 96—98; MgCO_3 0,2—2; SiO_2 +нерасторимый остаток 0,2—1; Fe_2O_3 0,1—0,8; CaSO_4 0,1—0,2.

Сахарная промышленность предъявляет высокие требования в качестве карбонатного сырья. Для обжига применяют фракционированный известняк (мел) следующего химического состава, %: CaCO_3 не менее 96; MgCO_3 не более 1,8 (1,0); $\text{SiO}_2 + \text{нерасторвимые примеси}$ не более 0,75 (2); R_2O_3 не более 1,2 (1); CaSO_4 не более 0,25 (0,05); щелочи не более (0,25).

По ОСТ 21-27-76 «Породы карбонатные для производственной извести» предусмотрено семь классов сырья, отличающихся химическим составом (табл. 8).

3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО

Для производства извести применяют следующие виды промышленного топлива: естественное — твердое (антрацит, каменные угли), газообразное (природный газ) и искусственное — твердое (кокс), газообразное (смешанный, попутный, коксовый, генераторный газы) и жидкое (мазут).

Кокс металлургический (табл. 9). Кокс фракции 25—50 мм и 30—80 мм является наилучшим видом твердого топлива для производства извести в шахтных пересыпных печах. Кокс отличается высокой теплотой горения (26—30 МДж/кг), минимальным содержанием летучих веществ (1,1—1,8%), умеренной зольностью (9—10%) и влажностью (2—5%).

В шахтных пересыпных печах применяют также коксовый брикет (10—25 мм). Коксовая мелочь (0—10 мм) имеет повышенную

Таблица 9
Характеристика твердых видов топлива,
применяемых для выпуска извести

Топливо	Влага <i>W_P</i> , %	Зола <i>A^c</i>	Состав горючей массы, %		
			S ^r	C ^r	H ^r
Кокс металлургический (более 25 мм)	2—5	9—10	1	95—97	0,2—0,4
Коксовый орешек	15	13	1	95,5	0,5
Коксовая мелочь	18	20	1,6	92	2
Антрацит сортов АП, АК, АО	4	6	1,9	94	1,8
Антрацит сортов АМ, АС	5	14	2	93,5	1,8
Каменный уголь сортов TK, TO	6—10	8—20	0,4—0,7	85—90	4—4,2

Продолжение табл. 9

Топливо	Состав горючей массы, %			¹ Низшая теплота сгорания в рабочей массе Q_H^P , МДж/кг
	N ^Г	O ^Г	летучие V ^Г	
Кокс металлургический (более 25 мм)	1—1,2	1	1,1—1,8	26—30
Коксовый орешек	1,2	1,8	4	23,49
Коксовая мелочь	1,5	2,9	8	21,1
Антрацит сортов АП, АК, АО	1	1,3	4	31,24
Антрацит сортов АМ, АС	1,0	1,7	4	27,11
Каменный уголь сортов ТК, ТО	1,8—2	3,5—4	10—17	23—25

Таблица 10
Элементарный состав мазута

Марка мазута	Горючая масса				A^P	W^P
	C^F	H^F	S^F	$N^F + O^F$		
40	87,4	11,2	0,5	0,9	0,2	3
100	87,6	10,5	0,7—1	1	0,3	4
Малосернистый (в среднем)	87,8	10,7	0,7	0,8	0,2	3
Многосернистый* (в среднем)	84	11,5	3,5	0,5	0,3	3

* Многосернистый мазут может быть использован в печах для производства извести только после десульфурации.

зольность и может использоваться только как добавка к качественному топливу, например в обжиговых машинах с вращающейся колосниковой решеткой. Характеристика твердых видов топлива приведена в табл. 9.

Антрацит (см. табл. 9). В составе антрацита преобладает углерод (93—94%), водорода мало (1,8%). Антрацит содержит мало летучих веществ и поэтому имеет высокую температуру начала воспламенения. Влажность антрацита 3—6%, зольность 4—14%. Теплота сгорания $Q_{\text{H}}^{\text{p}} = 26 \div 31,2 \text{ МДж/кг}$. Антрацит горит коротким пламенем без дыма и не спекается. Антрацит наиболее эффективное (после кокса) твердое топливо для производства извести в шахтных пересыпных печах.

Каменные угли. Из-за повышенного содержания летучих и золы каменные угли не используются для выпуска извести в металлургической, химической и пищевой промышленностих. Применение фракционированных тощих углей сортов ТК и ТО для шахтных пересыпных печей сопровождается снижением качества извести и расходом топлива на 15—20%.

Мазут. Горючая масса мазута содержит незначительное количество балласта (золы 0,1—0,3%, влаги 1,4%) и почти целиком состоит из углерода (86—87%) и водорода (11,7—12,8%). Термия сгорания мазута 40,4—42,4 МДж/кг. Коэффициент теплопроводности мазута при 30°C $\lambda_{30} = 0,135 \text{ Вт/(м·К)}$, при 70°C $\lambda_{70} = 0,13 \text{ Вт/(м·К)}$. Теплоемкость мазута в интервале 20—100°C составляет $c_{20-100} = 1,884 \div 2,052 \text{ кДж/(кг·К)}$. Скрытая теплота плавления мазута равна 170—250 кДж/кг. Химический состав мазута приведен в табл. 10, а характеристика в табл. 11.

Таблица 11

Характеристика мазута (ГОСТ 10585—75)

Показатели	Нормы по маркам мазута			
	40 В*	40	100 В*	100
Вязкость при 80°C, не более:				
условная, град.	6	8	10	16
соответствующая ей кинематическая, Ст	43,8	59	73,9	118
Зольность, %, не более	0,04	0,12	0,05	0,14
Содержание механических примесей, %, не более	0,07	0,8	0,2	1,5
Содержание воды, %, не более	0,3	1,5	0,3	1,5
Содержание серы, %, не более, для мазута:				
малосернистого	0,5	0,5	0,5	0,5
сернистого	2	2	2	2
высокосернистого	—	3,5	—	3,5
Температура вспышки при определении в открытом тигле, °C, не ниже	90	90	110	110
Температура застывания, °C, не выше	10	10	25	25
То же, для мазута из высоконапарифицированных нефтей	25	25	42	42

Продолжение табл. 11

Показатели	Нормы по маркам мазута			
	40 В*	40	100 В*	100
Теплота сгорания низшая в пересчете на сухое топливо, МДж/кг, не менее, для мазута:				
малосернистого и сернистого	40,74	40,74	40,53	40,53
для высокосернистого	—	39,9	39,9	39,9
Плотность при 20°C, кг/м³, не более	—	—	1015	1015

* С государственным Знаком качества.

Газообразное топливо. Газообразное топливо применяют в виде природных и искусственных газов, а также их смесей. Природные газы состоят главным образом из метана CH_4 (43—98%) и тяжелых углеводородов: их плотность при нормальных условиях составляет 0,73—1,41 кг/м³, температура самовоспламенения в воздухе при атмосферном давлении 530—650°C, теплота сгорания $Q_{\text{H}}^{\text{p}} = 34 \div 64 \text{ МДж/м³}$. При смешивании с воздухом в пределах 4,5—13,5% природные газы воспламеняются. Из искусственных газов наиболее распространены коксовый ($Q_{\text{H}}^{\text{p}} = 15 \div 17 \text{ МДж/м³}$) и доменный ($Q_{\text{H}}^{\text{p}} = 3,8 \div 4 \text{ МДж/м³}$).

Сжигание топлива. При расчете горения топлива определяют потребное количество воздуха, количество и состав образующихся продуктов сгорания. Эти расчеты выполняются по данным таблиц или по элементарному составу топлива с использованием формул, приведенных в специальной литературе [6—9].

4. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА ОБЖИГА КАРБОНАТНЫХ ПОРОД НА ИЗВЕСТЬ

Нагрев известняков в интервале температур 200—800°C и доломитов 200—600°C сопровождается их значительным растрескиванием, увеличением объема на 2—4% и снижением предела прочности на сжатие на 40—70%. Нагрев мела, наоборот, сопровождается повышением предела прочности на раздавливание (табл. 12).

При дальнейшем нагревании происходит термическая диссоциация карбонатов кальция и магния, рекристаллизация и спекание образующихся окислов кальция и магния, образование силикатов и алюмоферритов кальция (табл. 13).

Термическая диссоциация CaCO_3 — обратимая гетерогенная реакция, ее направление зависит от температуры и упругости диссоциации карбоната P_{CO_2} и не зависит от количества реагирующего вещества [10].

Таблица 12

Предел прочности на раздавливание мелового сырья при нагревании образцов со скоростью $200^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ [4].

Температура нагревания, $^{\circ}\text{C}$	Мел комовый	Предел прочности (МПа) для брикетов из мела месторождений		
		Райгородского	Белогоровского	Голосниковского
100—110	3,4—6,5	0,96	0,88	0,86
300	6,4	1,08	0,81	0,62
500	7,9	1,44	3	1,3
700	15	10,08	8,25	3,74
900	20,7	12,6	17,08	4,8

Таблица 13

Важнейшие реакции, протекающие при обжиге карбонатных пород на известь

Реакция	Формула с учетом молекулярных масс	Тепловой эффект при 20°C , кДж	
		на 1 кг исходного минерала	на 1 кг продукта
Диссоциация: CaCO_3	$\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$ 100 56 44	—1780	+3185
MgCO_3	$\text{MgCO}_3 = \text{MgO} + \text{CO}_2$ 84 40 44	—1800	+2715
$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3 =$ 184 $= \text{CaO} + \text{MgO} + 2\text{CO}_2$ 56 40 88	—1560	+2965
Образование белита	$2\text{CaO} + \text{SiO}_2 =$ 112 60 $= 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 172	Нет св.	+716

Зависимость упругости диссоциации чистого CaCO_3 от температуры

P_{CO_2} , кПа	0,53	3,07	8	24,4	31,3	34,1
Температура, $^{\circ}\text{C}$	630	700	743	800	820	830
P_{CO_2} , кПа	41,5	50,8	71	101,3	117	189
Температура, $^{\circ}\text{C}$	840	852	870	898	904	937

Температура диссоциации карбонатов кальция и магния. Для чистого CaCO_3 упругость диссоциации равна атмосферному давлению (101,3 кПа) при 898°C . Для природных карбонатных пород эта величина изменяется в значительных пределах.

Температура диссоциации карбоната при атмосферном давлении [4]

Сырье	Температура диссоциации, $^{\circ}\text{C}$
Мел Райгородского месторождения	892
Мел Голосниковского месторождения	895
Известняк Голубовского месторождения	900
Известняк Усть-Ангинского месторождения	916
Мрамор	921

При обжиге известняка в шахтных и вращающихся печах температура диссоциации на поверхности кусков снижается до 810 — 850°C . Углекислый магний разлагается при температуре 710°C . Диссоциация доломита в шахтной печи наблюдается при 600°C , во вращающейся печи при 700°C [11].

Скорость диссоциации карбонатов. Скорость диссоциации известняка зависит от температуры обжига (рис. 1), коэффициента теплопередачи от газов к материалу, теплопроводности и микроструктуры материала.

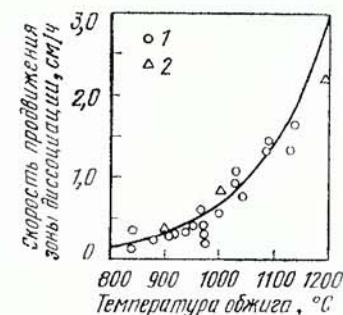


Рис. 1. Влияние температуры обжига на скорость продвижения зоны диссоциации в куске известняка по данным:

1 — С. Фурнаса; 2 — Б. И. Китасва

Время полной диссоциации куска известняка [4], ч:

$$\tau_{\text{д}} = \frac{q_{\text{дис}} R}{f(t_{\text{п}} - t_{\text{р}})} \left(\frac{R}{2\lambda_{\text{п}}} + \frac{1}{a} \right), \quad (7)$$

где R — начальный радиус куска, м; $q_{\text{дис}}$ — расход тепла на диссоциацию 1 m^3 CaCO_3 и на нагрев CaO от температуры ядра до температуры среды (данные, см. ниже); $t_{\text{п}}, t_{\text{р}}$ — температура поверхности куска и температура реакционной зоны, $^{\circ}\text{C}$; $\lambda_{\text{п}}$ — коэффициент теплопроводности CaO , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{К})$; f — коэффициент формы (табл. 14).

Таблица 14
Геометрический коэффициент формы f [4].

Форма куска	По экспериментальным данным			По расчету
	известняк массивный	известняк рыхлый	мел	
Шар	2,07	2,62	2,78	3
Куб	2,04	2,08	2,18	2,2
Цилиндр	1,78	1,86	1,82	2
Пластина	1	1	1	1

Зависимость температуры ядра CaCO_3 реакционной зоны в куске мела от температуры среды (скорость азота 0,055 м/с), по данным [4]

Температура ядра $\text{CaCO}_3 t_p$, °C	786	800	830	841	855	880	900
Температура среды, °C	820	850	900	950	1000	1100	1200

Таблица 15

Время τ_0 (ч) полной диссоциации кусков известняка ($\rho_0=2553 \text{ кг}/\text{м}^3$) сферической формы $d=100 \text{ мм}$ в зависимости от температуры обжига и коэффициента теплопередачи от газов материалу [4].

Коэффициент теплопередачи, $\text{Bt}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$	Температура обжига, °C					
	950	1000	1050	1100	1200	1300
20	11,2	7,2	5	3,6	2,7	1,9
40	7,1	4,2	3,1	2,3	1,7	1,1
60	5,2	3,2	2,2	1,7	1,15	0,7
80	5	3	2,05	1,5	1	0,6
100	4,2	2,7	2	1,3	0,85	0,55
120	3,9	2,5	1,9	1,1	0,7	0,5
140	3,7	2,3	1,7	1,05	0,6	0,45
160	3,2	2,2	1,5	1	0,6	0,4

В табл. 15 приведены расчетные данные времени полной диссоциации кусков известняка сферической формы в зависимости от $t_{d,0}$ и с учетом изменения коэффициента теплопроводности известки в зависимости от температуры [по формуле (1)]. Для учета формы кусков материала полученные значения времени следует пересчитать по формуле

$$\tau_d = 3 \tau_0 / f, \quad (8)$$

где τ_0 — берется из табл. 15; f — из табл. 14.

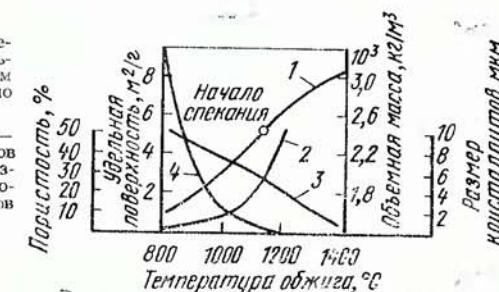
Степень диссоциации карбонатного сырья. Величина степени диссоциации (декарбонизации) исходного материала $\eta_{\text{с.д}}$ при его обжиге в шахтных печах обычно составляет 90—95%, при обжиге во

вращающихся печах и печах кипящего слоя 96—99%. Величину $\eta_{\text{с.д}}$ можно определить по приближенной формуле [5]:

$$\eta_{\text{с.д}} = \frac{(\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{акт}}}{(\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{акт}} + 1,27 (\text{CO}_2)_{\text{ост}}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где $(\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{акт}}$ — содержание активных окислов в извести, определенных по методике, приведенной в ГОСТ 22688—77 «Известь строительная», %; $(\text{CO}_2)_{\text{ост}}$ — содержание остаточной углекислоты в извести, %.

Рекристаллизация и спекание CaO и MgO . Объемная масса, пористость, химическая активность и другие свойства извести определяются ее микроструктурой (рис. 2) [12].



При постепенном нагревании чистого известняка или мела при температуре 850—1000°C образуется CaO с пористой структурой и высокой химической активностью. Размер кристаллов CaO составляет 0,3—1 мкм, удельная поверхность 10^4 — $10^3 \text{ м}^2/\text{кг}$. Материал пронизывают крупные поры, поэтому его объемная масса низкая (1600—2000 $\text{кг}/\text{м}^3$). Увеличение температуры обжига сопровождается рекристаллизацией (ростом первичных кристаллов) CaO с образованием кристаллитов CaO , а затем и их конгломератов с удельной поверхностью 300—100 $\text{м}^2/\text{кг}$, уплотнением извести до 2200—2500 $\text{кг}/\text{м}^3$, резким снижением ее активности и началом спекания извести. При спекании одновременно с укрупнением кристаллов идет процесс их «заживления», заключающийся в исправлении дефектов в кристаллической решетке первичных кристаллов CaO . Процесс спекания сопровождается дальнейшим уплотнением извести и снижением ее химической активности.

При скоростном нагревании известняка за время 0,25—15 мин наблюдается следующая последовательность формирования структуры CaO : появление новой фазы окисла в виде субмикроскопических округлых зерен, быстрый агрегативный рост кристаллов CaO до размеров 1—2 мкм, образование на поверхности укрупненных кристаллов концентрически овальных или полигональных выступов с последующим формированием их в виде кристаллитов, собирающейся рекристаллизации кристаллов CaO , т. е. преимущественный рост одних кристаллов за счет других (при температурах выше 1200°C).

Реакционная способность CaO и MgO . Реакционная способность извести характеризуется химической активностью CaO и MgO при взаимодействии с водой в обычных условиях. Основными пока-

зателями при этом являются время и температура гидратации (гашения) извести, определяемые по методике, приведенной в ГОСТ 22688—77 «Известь строительная».

Данные табл. 16 и рис. 3 показывают влияние условий обжига на свойства извести [3].

Таблица 16

Характеристика извести, полученной при обжиге известняка Веневского месторождения
($\text{CaCO}_3 = 97,3\%$; $\text{MgCO}_3 = 0,9\%$; $\text{SiO}_2 + \text{R}_2\text{O}_3 = 1,8\%$)

Параметры	Условия обжига		
	шахтная печь, топливо—природный газ, $t_{\text{об}} = 1230^\circ\text{C}$	шахтная печь, топливо—антрацит АМ ($A_p = 20\%$), $t_{\text{об}} = 1400^\circ\text{C}$	печь кипящего слоя, фракция 3—12 мм, $t_{\text{об}} = 1000^\circ\text{C}$, $t_{\text{об}} = 12—15 \text{ мин}$
Содержание CaO , % . . .	86	83	87—89
Размер кристаллов CaO , мкм	0,5—3	5—12, мкм	1—2
Время гидратации, мин	6	25	1,5—12,5
Температура гашения, $^\circ\text{C}$	77	50	80



Рис. 3. Кривые гидратации кальциевой извести при различных условиях обжига:
1 — шахтная печь на природном газе; 2 — лабораторная электрическая печь; 3 — шахтная печь на твердом топливе

На основании опубликованных в литературе данных можно заключить следующее: при обжиге чистых кальциевых карбонатных пород в шахтных и вращающихся печах на малозольном топливе температуру обжига рекомендуется поддерживать в пределах 1200—1300°C. При использовании топлива с зольностью выше 12% или при содержании глинистых примесей в сырье выше 4% максимальная температура в зоне обжига печи не должна превышать 1100°C. В печах кипящего слоя достаточно поддерживать температуру обжига в пределах 900—1000°C.

Термическая диссоциация доломита протекает в две стадии: вначале разлагается MgCO_3 с образованием MgO , затем CaCO_3 с образованием CaO . Образующаяся при 600—700°C окись магния при температуре 1000—1200°C уплотняется, и ее химическая активность резко снижается.

При обжиге доломита в печи кипящего слоя при температуре 930—980°C в течение 12—15 мин получают доломитовую известь, в которой MgO находится в активной форме. На рис. 4 показаны

кривые гидратации доломитовой извести, полученной в печи кипящего слоя.

Реакции образования клинкерных минералов. В процессе обжига карбонатных пород образующаяся CaO взаимодействует с глинистыми примесями, содержащимися в сырье или в золе топлива. При этом появляются новые соединения: силикаты и аллюмоферриты кальция.

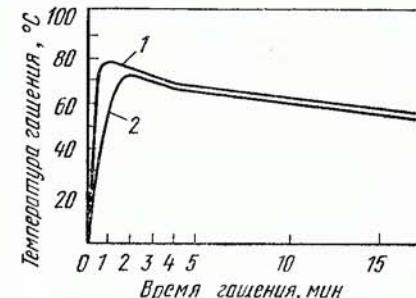


Рис. 4. Кривые гидратации доломитовой извести, полученной в печи кипящего слоя из доломита Мелеховского месторождения:

1, 2 — соответственно при температуре 930 и 980°C

Количество CaO , связанное в новые соединения [3]:

$$\text{CaO}_{\text{связ}} = k_1 \cdot 1,87 \text{SiO}_2 + 1,1 \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,7 \text{Fe}_2\text{O}_3, \quad (10)$$

где k_1 — коэффициент, учитывающий полноту реакции CaO с SiO_2 (для тонкодисперсного кремнезема $k_1=1$, для кварцевого песка $k_1=0,8 \div 0,9$); SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 — расчетное содержание исходных минералов в извести, %.

Содержание CaO в неразложившемся CaCO_3 , т. е. в «недожоге», составляет:

$$\text{CaO}_{\text{нед}} = 1,27 (\text{CO}_2)_{\text{ост}}. \quad (11)$$

Количество неразложившегося CaCO_3 в извести составляет:

$$\text{CaCO}_3 = 2,27 (\text{CO}_2)_{\text{ост}}. \quad (12)$$

ГЛАВА II

ШАХТНЫЕ ПЕЧИ

Более 80% общего количества извести в нашей стране производится в шахтных печах. Широкое распространение шахтных печей объясняется простотой их конструкции и эксплуатации, низкими капитальными затратами на строительство, высокой тепловой эффективностью. По способу обжига различают шахтные печи пересыпные, полугазовые, на газообразном и жидким топливе.

1. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ ШАХТНЫХ ПЕЧЕЙ

Основными элементами конструкции шахтной печи являются: шахта; загрузочное, выгрузочное и горелочное устройства.

Шахта печи. Состоит из огнеупорной кладки и стального кожуха толщиной 8—16 мм. Полезная высота шахты, представляющая сумму высот зон подогрева, обжига и охлаждения, составляет 16—28 м.

Кладка шахты выполняется из огнеупоров, основными свойствами которых являются: огнеупорность, температура деформации под нагрузкой, термическая стойкость, прочность (табл. 17).

Футеровка шахты работающей печи подвергается термическому, химическому и механическому воздействию со стороны обжигаемого материала и газовой среды, в связи с чем к огнеупорам различных зон печи предъявляются разные требования (табл. 18).

Следующий за футеровкой слой огнеупоров служит для теплоизоляции корпуса. Основными требованиями, предъявляемыми к теплоизоляционным огнеупорным материалам, являются огнеупорность и теплопроводность. Для отдельных участков кладки шахты применяют жаропрочный бетон. Жаропрочный бетон применяют для футеровки зон подогрева и охлаждения печи, а жаростойкий теплоизоляционный бетон — взамен шамотной кладки из легковесных огнеупоров марок ШЛБ-1,3 и ШЛБ-0,4 (табл. 19). При кладке футеровки из штучных огнеупоров применяют огнеупорные растворы (табл. 20). Пространство между кладкой и кожухом засыпают теплоизоляционным материалом (табл. 21). Толщина слоя засыпки составляет 50—60 мм.

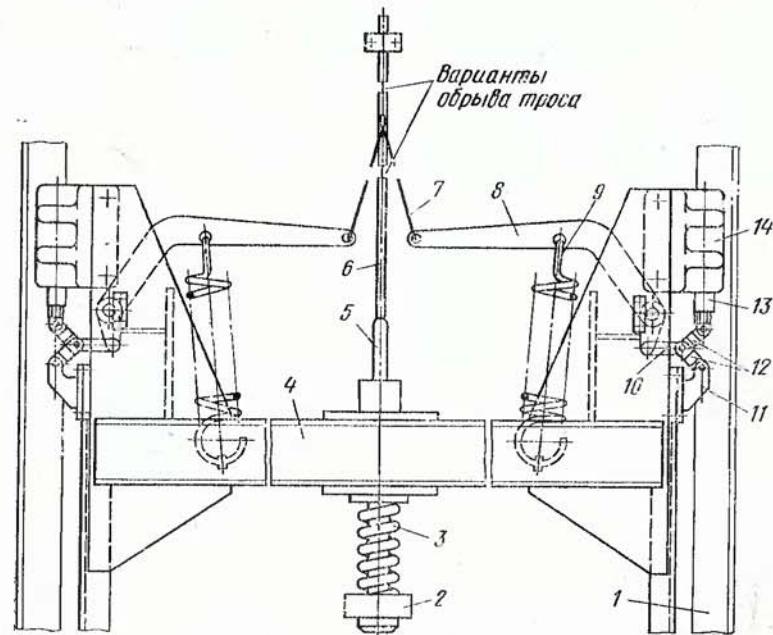


Рис. 5. Механизм улавливания ковша конструкции Союзгипростроя:
1 — направляющие балки подъемника; 2 — гайка; 3 — пружина ковша; 4 — рама ковша; 5 — крюк; 6 — основной канат; 7 — вспомогательный канат; 8 — рычаг; 9 — пружина; 10 — серьга; 11 — опора жесткая ломающего рычага; 12 — ломающий рычаг; 13 — клин; 14 — колодка

Физико-механические свойства огнеупорных изделий, применяемых в шахтных печах

Наименование изделия	Марка	Содержание главных окислов, %	Огнепрочность, °С, не ниже	Температура начала деформации под нагрузкой 0,2 МПа, °С, не ниже	Горючесть в трехмерах	Горючесть, %, не выше	Теплопрочность, кВт/м³	Коэффициент теплопроводности при 600°C, Вт/(м·К), не более	Тип и количество кокса на кубе, Мт/а.
Шамотные легковесные (ГОСТ 5040—68)	ШЛБ-0,4 ШЛБ-1,3	—	1670 1670	— —	— —	— —	400 1300	0,23 0,7	1,0 3,5
Шамотные общего назначения (ГОСТ 390—69)	ШВ ШВ ША	Al ₂ O ₃ +TiO ₂ , не менее 30	1580 1670 1730	— 10—15 10—15	— 24 24	— 1900 1900	0,7—1,3 0,7—1,3 0,7—1,3	— 20 20	—
Шамотные доменные (ГОСТ 1598—75)	ШПД-37 ШПД-39 ВГ	то же, не менее 37 то же, не менее 39 Al ₂ O ₃ -62	1730 1750 1800	15—25 15—25 —	17 16 19	2200 2260 —	1—1,3 1—1,3 —	40 50 25	40 25 25
Высокоглиноземистые	—	Al ₂ O ₃ -90	1770	1530	15—25	26	2500	—	40
Корундовые	МХ	Al ₂ O ₃ -8÷15; Cr ₂ O ₃ -65÷72	2000	1450	4—8	24	2700	1,1—1,3	25
Магнезитохромитовые	ХМ	MgO-15÷20; Cr ₂ O ₃ -42	2000	1450—1500	2—5	25	3000	1—1,3	20
Хромомагнезитовые (ГОСТ 5381—72)							2950		

Таблица 18
Виды воздействий на футеровку шахтной печи и рекомендуемые к применению огнеупоры

Зона печи	Вид топлива	Термическое воздействие		Химическое воздействие	Механическое воздействие	Рекомендуемые огнеупоры для печей производительностью, т/сут
		температура, °С	характер воздействия			
Подогрева	Все виды	1000—1100	Колебания температуры при загрузке	Коррозия под влиянием газов CO_2 , CO , O_2	Удары кусков сырья и топлива, истирание пичхой и газами	Шамотные марки ШУД-37
Обжига	Твердое	1200—1350	Линейное расширение огнеупора, появление усадки	Взаимодействие огнеупора с CaO , зоной топлива, газами CO_2 , SO_2	Истирание шихтой и газами	Шамотные марки ШПД-39, корундовые марки МХ
	Жидкое, газообразное	До 1400	Линейное расширение и усадка огнеупора. Линейное расширение и усадка огнеупора	Коррозия под влиянием CaO , SO_2 . Ускоренная коррозия огнеупора	Повышение огнеупора, образование каверн из-за вспышки	Марки МХ
	Жидкое, газообразное	1450—1500			Истирание известию	Шамотные марки ШУД-37
Охлаждение	Все виды	1100—1200		Взаимодействие с CaO		

Таблица 19
Характеристика термостойких огнеупорных бетонов для шахтных печей

Бетон	Предел прочности при сжатии, %			
	после сушки, кПа	после нагревания, %	предельная температура службы, °С	формации под нагрузкой 180 кПа, °С
Шамотный на жидким стекле (шамот тонкомолотый 28—33%; шамот 0,3—20 мм 65—70%; жидкое стекло 20—22%)	1200	1040		
Высокоглиноземистый (высокоглиноземистый цемент 30—50%, высокоглиноземистый шамот 50—70%)	1600	1350	5000	45
На основе алюмотермических шлаков (на 1 м ³ тонкомолотого шлака безуглеродистого феррохрома 500 кг, сульфит-спиртовой барды 25 кг, шлака металлического хрома фракции 0—5 мм 2060 кг, воды 230 л)	1700	1600	2500	55

Таблица 20
Состав и применение огнеупорных растворов при выполнении кладки в шахтных печах

Раствор	Объемные соотношения сухой массы	Крупность помола компонентов, мм	Количество воды на 1 м ³ сухой массы, л	Вид огнеупорных изделий
Шамотный на жидком стекле	Шамотный порошок 7—9 Огнеупорная глина 1—3 Жидкое стекло плотностью 1390 кг/м ³ 350—400 л на 1 т сухой массы	0—1 0—0,5	300—400	Шамотные
Магнезитовый	Магнезитовый порошок 8,5—9, обезвоженная каменноугольная смола 1—1,5 Глиняный раствор, магнезитовая мука, жидкое стекло плотностью 1360 кг/м ³	0—1	—	Марок МХ, ХМ
Высоко-огнеупорный	—	0—1	—	Высокоглиноземистые и корундовые

Г а б л и ц а 21
Основные свойства теплоизоляционных материалов и изделий

Материал, изделие	Объемная масса, кг/м ³		Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)	Максимальная температура применения, °C	Назначение
	в порошке	в изделиях			
Асбестовая мелочь . . .	650—850	—	0,0233+0,000186 t	500	Для изоляции горячих поверхностей мастичными материалами
Асбозурит	450	—	0,16224+0,0001686 t	300	То же
Диатомит в порошке . . .	300—500	—	0,0907+0,00028 t	800—900	В качестве засыпной изоляции в печах
Зонолит (вермикулит) . . .	0,15—0,25	—	0,0721+0,000262 t	900—1000	То же
Трепел в порошке . . .	500	—	0,1046 при 50°С	900	"
Шлаковая вата . . .	200—250	—	0,058+0,000162 t	750	"
Асбестоцементные плиты . .	400	—	0,0988 при 100°С	—	Для изоляции сводов
Вермикулитовые плиты . .	—	300—380	0,0198+0,000151 t	660—750	Для изоляции сводов печей
Вулканические плиты . .	—	400	0,0802+0,000209 t	700—750	То же
Диатомовый кирпич (ГОСТ 2694—67) . . .	550—750	—	0,1128+0,00023 t	800—900	Для кладки изоляционного слоя сводов и стен печей
Кирпич пенопамятный . .	—	600—800	0,128—0,186 при 100°С	1000—1100	Для изоляции сводов

Загрузочное устройство шахтной печи. Для загрузки печей сырьем и твердым топливом применяют склоновое, кибельное и конвейерное загрузочные устройства.

Склоновое загрузочное устройство (см. табл. 24). Склоновое загрузочное устройство включает стационарный склоновой подъемник и механизм загрузки. Склоновой подъемник состоит из ствола, ковша на катках и электрической реверсивной лебедки. Ствол устанавливают под углом 60—80° к горизонту и опорами при-

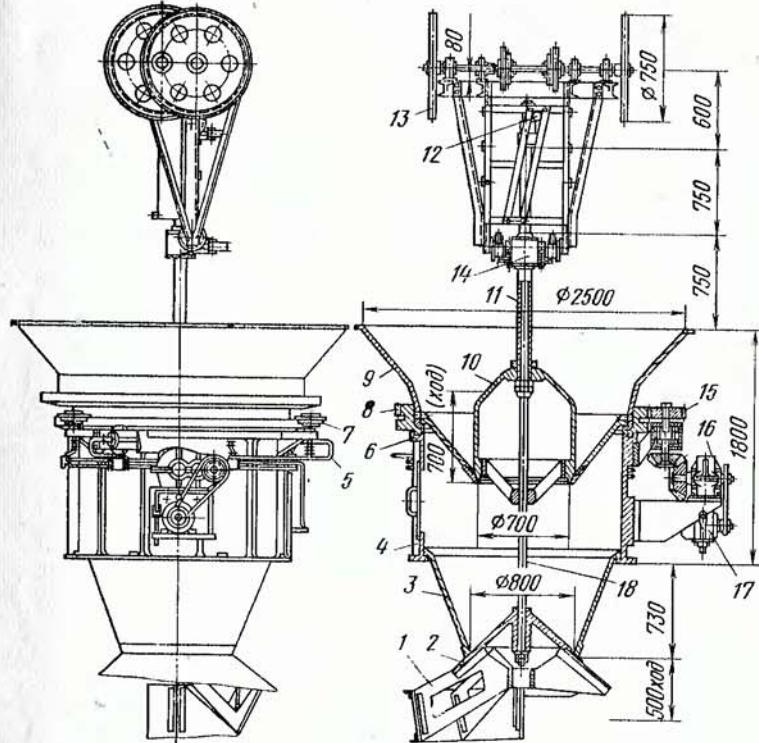


Рис. 6. Двухклапанный механизм загрузки конструкции Союзгипростроя:
1 — отбойная пластина; 2 — нижний рассекающий клапан; 3 — конус; 4 — цилиндрический корпус; 5 — центрированная система смазки; 6 — лабиринт; 7 — боковой ролик; 8 — венцовая шестерня; 9 — приемная воронка; 10 — верхний клапан; 11 — полая тяга; 12 — выступ; 13 — дифференциальный блок; 14 — роликовая муфта; 15 — подвенцовая шестерня; 16 — редуктор; 17 — электродвигатель; 18 — шток

крепляют к корпусу печи. Подъемник оборудуют концевыми выключателями подъема и опускания ковша, ловителем ковша при обрыве каната; лебедку снабжают блокировочным устройством для отключения электродвигателя при ослаблении или обрыве каната.

Механизм улавливания ковша конструкции Союзгипростроя (рис. 5). В рабочем положении основной канат натянут, вспомогательный поворачивает рычаг 8, ко-

торый растягивает пружину 9 и коротким плечом отводит сергу назад. Ломающий рычаг 12 оттягивает клин из колодки настолько, чтобы направляющая ствola подъемника свободно проходила в прорез колодки. При обрыве основного каната вспомогательный (диаметр 3 мм) ослабевает (рвется) и пружины сжимаются за доли секунды. Рычаг 8 при помощи серги и ломающего рычага вгоняет клин в колодку, направляющая ствola подъемника зажимается между колодкой и клином, ковш останавливается.

Механизм загрузки шахтной печи. Механизм загрузки служит для равномерного распределения крупных и мелких фракций сырья и твердого топлива по поперечному сечению шахты и ее герметизации при загрузке.

Двухклапанный механизм загрузки с поворотной чашей конструкции Союзгипрострома (рис. 6) состоит из корпуса, поворотной приемной воронки (чаши) с приводом и двухклапанного затвора, оборудованного поворотным и подъемным устройствами (см. табл. 24). Подъем и опускание клапанов осуществляются канатами, пропущенными через дифференциальные блоки. Роликовая муфта служит для предотвращения поворота нижнего клапана при вращении воронки с верхним клапаном. Нижний клапан снабжен спиралеобраз-

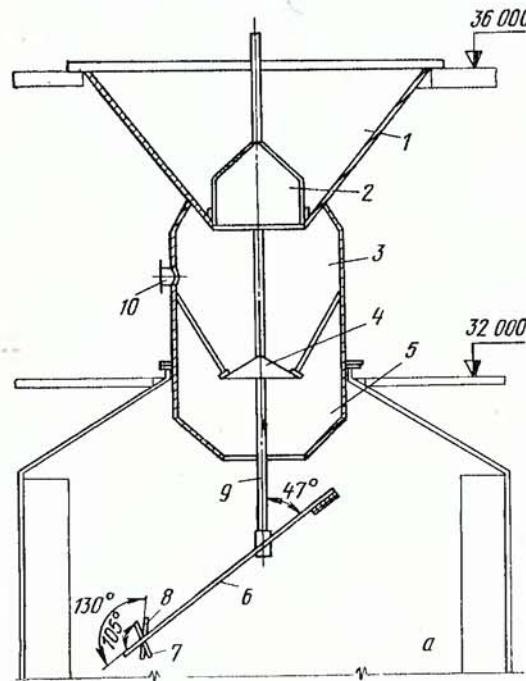
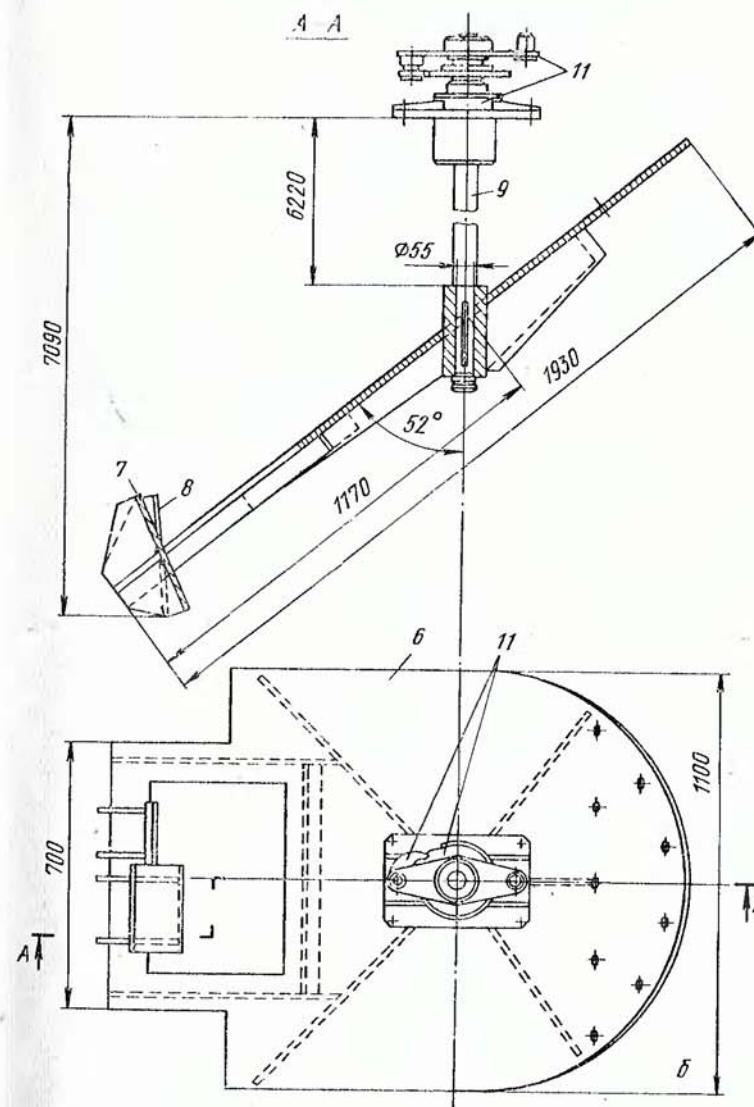


Рис. 7. Механизм загрузки с распределительным поворотным лотком конструкции ПИЮхима для печей 50–100 т/сут (б):

1 — приемная воронка; 2, 4 — клапаны; 3 — промежуточная емкость; 5 — нижние стены; 9 — вал; 10 — патрубок; 11 — храповой механизм поворота лотка



рукции ПИЮхима для печей 200–300 т/сут (а) и лоток конструкции Союзгипния воронка; 6 — распределительный поворотный лоток; 7, 8 — отбойные пла-

ным рассекающим конусом с двумя отбойными пластинами и при подъеме поворачивается на угол 34°. При движении штока вверх имеющийся на нем выступ скользит в спиральной прорези и поворачивает шток с рассекающим конусом. Поворот штока фиксируется храповым механизмом.

Недостатками механизма являются недостаточно равномерное распределение топлива по поперечному сечению шахты, высокая удельная металлоемкость, сложность изготовления и эксплуатации.

Механизм загрузки с распределительным поворотным лотком (рис. 7) состоит из приемной воронки, двухклапанного затвора, промежуточной емкости, нижней воронки и распределительного лотка, укрепленного на поворотном валу (табл. 22). Патрубок 10 служит

Таблица 22

Техническая характеристика механизма загрузки с распределительным поворотным лотком конструкции Союзгипростроя

Показатели	Производительность печи, т/сут		
	50	100	370
Вместимость приемной воронки, м ³	0,5	0,75	3
Длина хода клапана, мм:			
верхнего	700	700	800
нижнего	500	500	800
Конструкция лотка	Одинарный	Двойной	
Угол поворота лотка, град.	42	42	42
Угол наклона лотка к оси печи, град.	52	52	47
Габариты лотка, мм:			
большого:			
длина	1930	1930	2100
ширина	1100	1100	1800
малого:			
длина	—	—	1470
ширина	—	—	1800
Материал лотка	Сталь X18H9T (или Ст3 с наплавленным слоем износостойкого сплава)		
Привод клапанов	Ковшом склонового подъемника	Лебедкой	ЛОК-
			3,5
Масса механизма, т	4,32	5,2	14,4
В том числе:			
блоки	0,47	0,47	0,47
корпус	2,2	2,91	10,57
лоток	0,529	0,53	1,252
верхний клапан (колодка)	0,405	0,63	0,8
нижний клапан (конус)	0,52	0,56	0,62
Завод-изготовитель	Никопольский завод строительных машин им. В. И. Ленина, Красиловский машиностроительный	Первомайский завод химического машиностроения	

для отвода газов из промежуточной емкости с целью предотвращения подсосов воздуха к печным газам при утилизации углекислоты.

В механизме конструкции Союзгипростроя для печей производительностью 50 и 100 т/сут подъем верхнего клапана производится через дифференциальные блоки с помощью ковша при его движении вниз. Опускание нижнего клапана осуществляется через дифференциальные блоки при движении ковша вверх. Распределительный лоток поворачивается храповым механизмом, соединенным с валом дифференциальных блоков, при подъеме нижнего клапана противовесом. Серийный выпуск механизма начат с 1980 г. В механизме загрузки печей производительностью 370 т/сут и более применен двойной распределительный поворотный лоток. Подъем колокола и опускание конуса производятся отдельной лебедкой. Лоток поворачивается от кулачка дифференциальных блоков привода конуса. Разработан вариант подъема колокола и опускания конуса пневматическими цилиндрами типа 2412—320×360 (ГОСТ 15608—70) и поворота лотка пневматическим цилиндром типа 2412—050×125. Расход сжатого воздуха 0,6 м³/мин, давление не менее 0,5 МПа. Масса механизма с пневмоприводом 16,6 т.

В механизмах загрузки конструкции Гипрохима привод клапанов и поворот лотка осуществляются при помощи индивидуальных пневматических цилиндров.

При движении кусков твердого топлива и сырья по поверхности лотка происходит их перемешивание, что способствует равномерному распределению топлива по сечению шахты и позволяет отказаться от вращения приемной воронки. Схема распределения шихты с помощью лотка приведена на рис. 8 [4].

Механизм загрузки с распределительным лотком используется на шахтных печах Стерлитамакского содовоцементного комбината, объединения «Донсода», на ряде заводов сахарной промышленности Украины. Внедрение устройства позволило снизить удельный расход тепла в печах на 9—12% и увеличить содержание CO₂ в отходящих газах на 1—2%.

За рубежом (ФРГ, ЧССР, ПНР) применяют кубельное загрузочное устройство (рис. 9, а). Кубель представляет собой цилиндрический ковш с многостворчатым дном, вмещающий 3—5 т кусковых материалов. Диаметр ковша несколько меньше диаметра шахты. Створки дна открываются практически мгновенно и одновременно, благодаря чему шихта поступает в печь в таком же порядке, в каком она находилась в кубеле, и явление сегрегации кусков шихты при загрузке печи практически исключено. Недостатком устройства является его высокая стоимость, в связи с чем оно устанавливается для загрузки группы печей [13].

Загрузочное устройство с вращающимся бункером (рис. 9, б) включает склоновой подъемник и механизм загрузки с вращающимся бункером. Механизм загрузки состоит из приемной чаши, снабженной поворотной крышкой с блокировкой, вращающегося бункера с распределительным лотком, перегородки и приводов. Герметизация механизма загрузки осуществляется крышкой и слоем материала в бункере. При движении вверх ковш поднимает крышку и ссыпает шихту в бункер 18. При движении ковша вниз крышка опускается, и привод 20 начинает вращать бункер. Одновременно включается электровибрационный привод распределительного лотка, и шихта через профилированный вырез в перегородке равномерно поступает в шахту. Остановка бункера и привода лотка производится уровнемером при достижении материалом уровня 17.

Механизм загрузки с вращающимся бункером обеспечивает равномерное распределение топлива и сырья по сечению шахты, проще и дешевле кюбельного, в связи с чем широко внедряется на шахтных печах в ФРГ [13].

Выгрузочное устройство шахтной печи. Выгрузочное устройство печи состоит из механизма выгрузки, промежуточной емкости, герметизирующего и дозирующего механизмов. Механизм выгрузки служит для равномерной выгрузки материала по поперечному сечению шахты и регулирования производительности печи. Широко применяются механизмы выгрузки типа движущейся колосниковой решетки, вращающегося пода и вращающихся валков.

Выгрузочное устройство с вращающимся подом (рис. 10) включает в себя механизм выгрузки, течки и два барабанных затвора. Механизм выгрузки состоит из вращающегося пода, круглого неподвижного стола и кольцевого конвейера. Вращающийся под представляет собой выполненную из чугуна СЧ-16-36 спиралеобразную ступенчатую круглую плиту (улитку) со съемным колпаком, укрепленным на опорном валу. Под опирается на плиту, которая вращается по круговому рельсовому пути при помощи восьми опорных роликов. Электродвигатель с фазовым ротором и реостатом в силовой сети обеспечивает плавное изменение частоты вращения улитки в пределах 0,96—2,42 об/ч. Улитка равномерно выгружает известь по

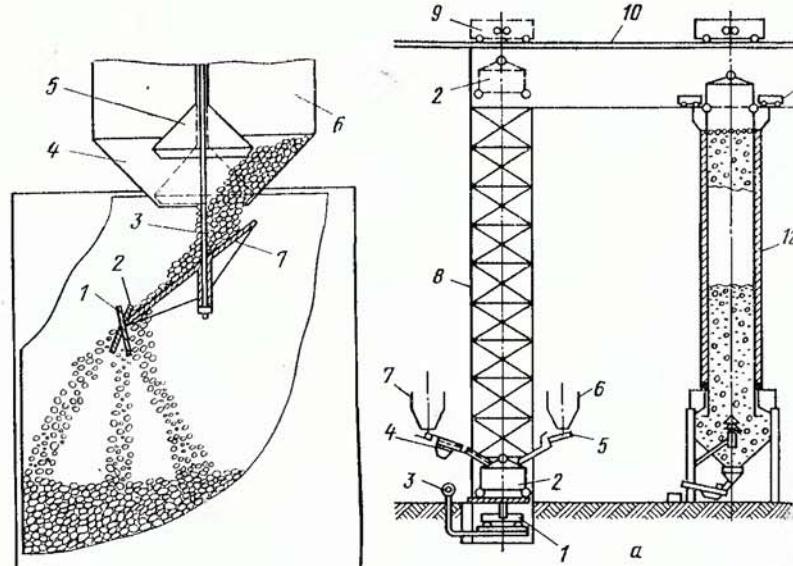


Рис. 8. Схема распределения шихты с помощью лотка:

1, 2 — отбойные пластины; 3 — поворотный стол; 4 — нижняя воронка; 5 — нижний клапан; 6 — промежуточная емкость; 7 — распределительный лоток

сечению шахты в том случае, если она смонтирована соосно с шахтой. Опорный вал, приводные механизмы и вращающаяся плита охлаждаются воздухом, нагнетаемым под давлением 4,9 кПа через трубопроводы 21 и 22 [5].

Недостатками выгрузочного устройства с вращающимся подом являются высокая удельная металлоемкость и сложность обслуживания при образовании в печи сваров материала.

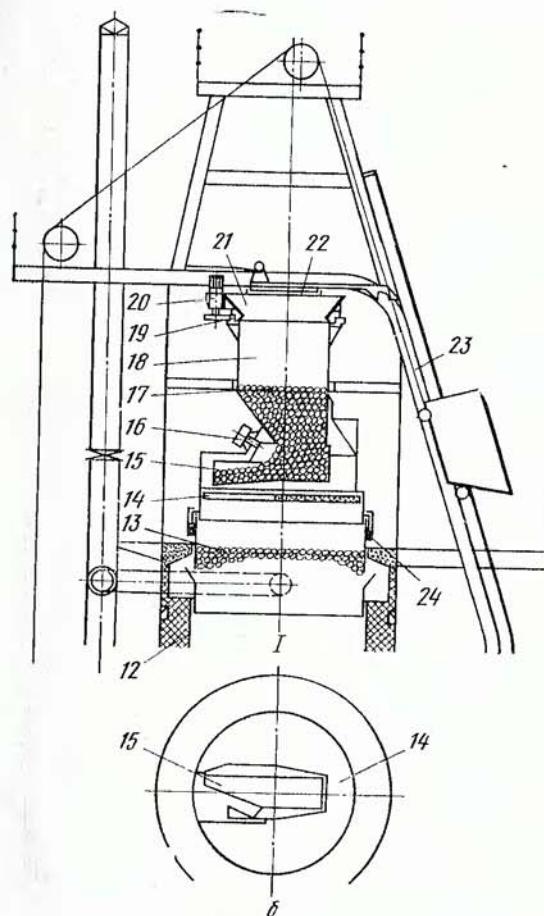


Рис. 9. Загрузочные устройства для шахтных печей фирмы «Kosik» (ФРГ):

11 — вид лотка сверху;
10 — лоток; 4, 5 — электровибрационные питатели; 6, 7 — монорельс; 11 — толкатели; 12 — шахтная печь; 13 — фиксирующий уровень установки; 14 — перегородка с электровибрационным приводом лотка; 15 — вращающийся под бункера; 19 — шарнирное соединение; 20 — воротная крышка с блокировкой; 23 —

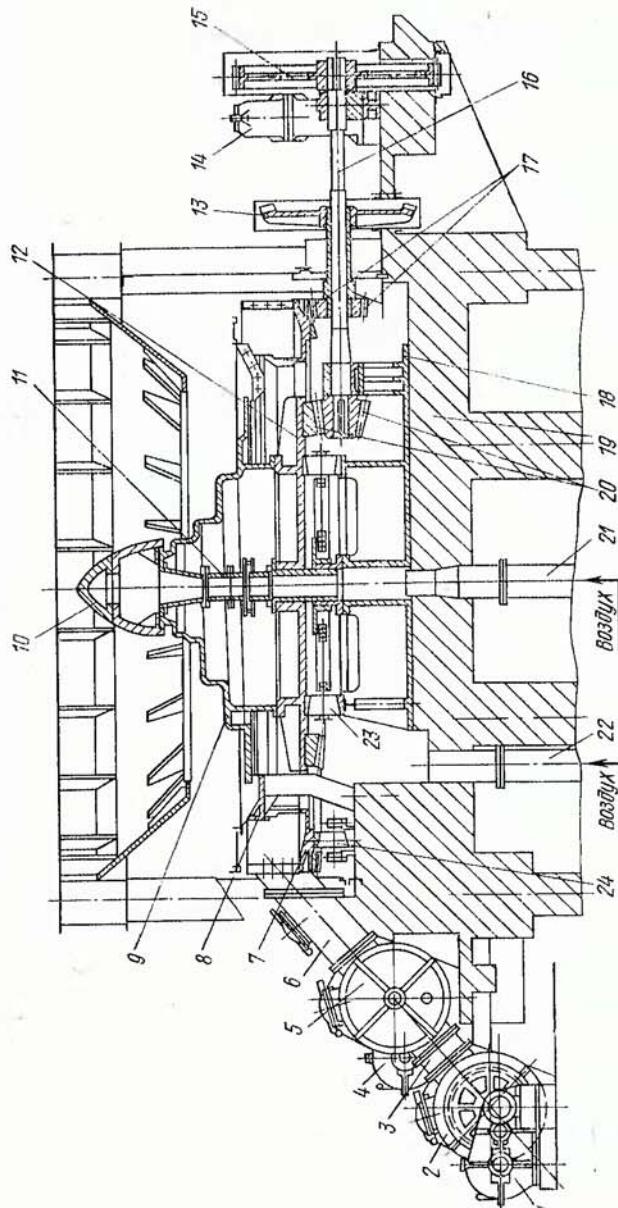


Рис. 10. Выгрузочное устройство с вращающимся подом:
1, 4 — редуктор; 2, 5 — барабанный затвор; 6 — течка; 7 — кольцевой конвейер; 8 — круглый неподвижный стол; 9 — подставка; 10 — колпак; 11 — опорный вал; 12 — опорный вал улиты; 13, 17 — шестерни привода улиты; 15, 20 — шестерни привода кольцевого конвейера; 16 — основание механизма выгрузки; 19 — опорная плита печи; 21, 22 — опорные ролики улиты; 23 — приводной ролик улиты; 24 — опорный ролик улиты.

Техническая характеристика механизма выгрузки с вращающимся подом для печей производительностью 200—300 т/сут

(поставка ГДР)

Диаметр улиты, м	4,4
Частота вращения улиты, об/ч	0,96—2,42
Электродвигатель привода улиты:	
тип	SPM 8,5/6
мощность, кВт	3—8,5
частота вращения, об/мин	500—1250 10LAZO 900×1000 TGL4198
типа редуктора привода улиты	9,73—24,3
Частота вращения кольцевого конвейера, об/ч	
Электродвигатель привода кольцевого конвейера:	
тип	SPM 8,5/6
мощность, кВт	3—8,5
частота вращения, об/мин	500—1250 10LAZO 608×355 TGL 3190

Недостатками механизма являются большая удельная металлоемкость, громоздкость конструкции, сложность обслуживания.

Выгрузочное устройство конструкции фирмы «Eberhardt» (рис. 11, а) включает механизм выгрузки, бункер и дутьевой конус. Гидропривод через систему тяг и рычагов перемещает вверх — вниз кольцевую решетку, изменяя количество поступающей в бункер извести, которая вибрационным лотком выгружается на конвейер. Механизм обеспечивает равномерную выгрузку материала по сечению шахты, прост по конструкции, надежен в работе, используется в ФРГ на печах с диаметром шахты до 3 м [4].

Выгрузочное устройство конструкции фирмы «Vibra-Technik» (рис. 11, б) состоит из механизма выгрузки, бункера извести и двухкамерного шлюзового затвора [13]. Известь под воздействием вибраторовсыпается в бункер 9, из которого электровибрационными питателями через шлюзовой затвор подается на вибрационный конвейер или в бункер 19. Производительность механизма выгрузки изменяют в широком диапазоне регулированием силы тока возбуждения вибраторов. Преимущества устройства: простота конструкции, надежность работы, легкость обслуживания. Недостатки: зависимость производительности механизма выгрузки от размера кусков извести и ухудшение работы при образовании сваров материала в печи.

Выгрузочное устройство с движущейся колосниковой решеткой конструкции Союзгипрострома (рис. 12) включает механизм выгрузки с движущейся колосниковой решеткой, бункер извести и шлюзовой затвор [5]. Механизм выгрузки представляет собой сварную платформу (каретку) с колосниковой решеткой, установленную на четырех спаренных опорных катках, которые перемещаются по рельсовым балкам. Механизм обеспечивает равномерную выгрузку извести из печи с диаметром шахты до 4,5 м, прост по конструкции, надежен в работе, имеет сравнительно низкую удельную металлоемкость. Техническая характеристика механизма дана в табл. 24.

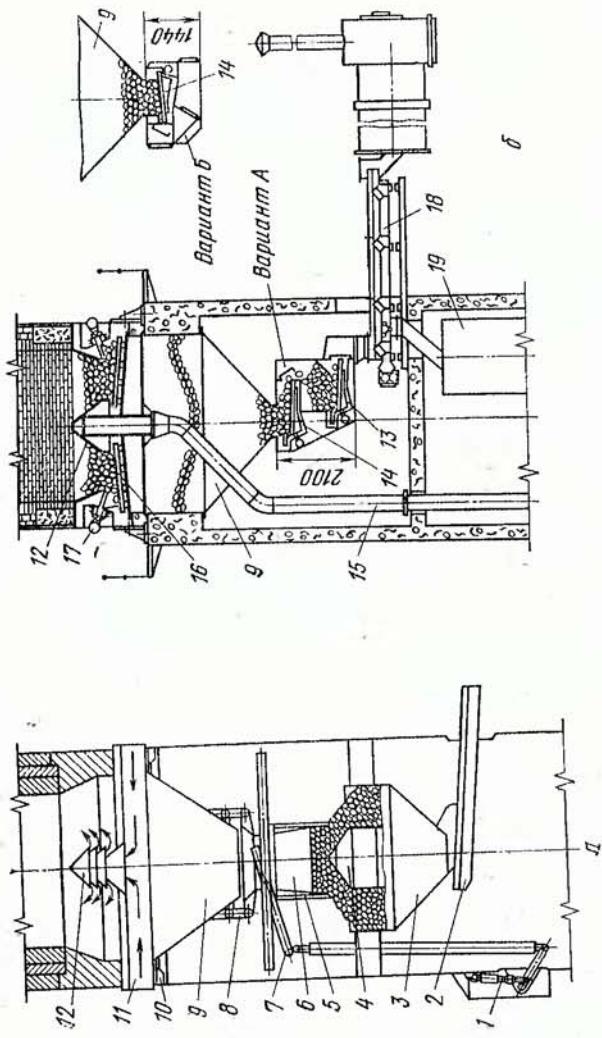
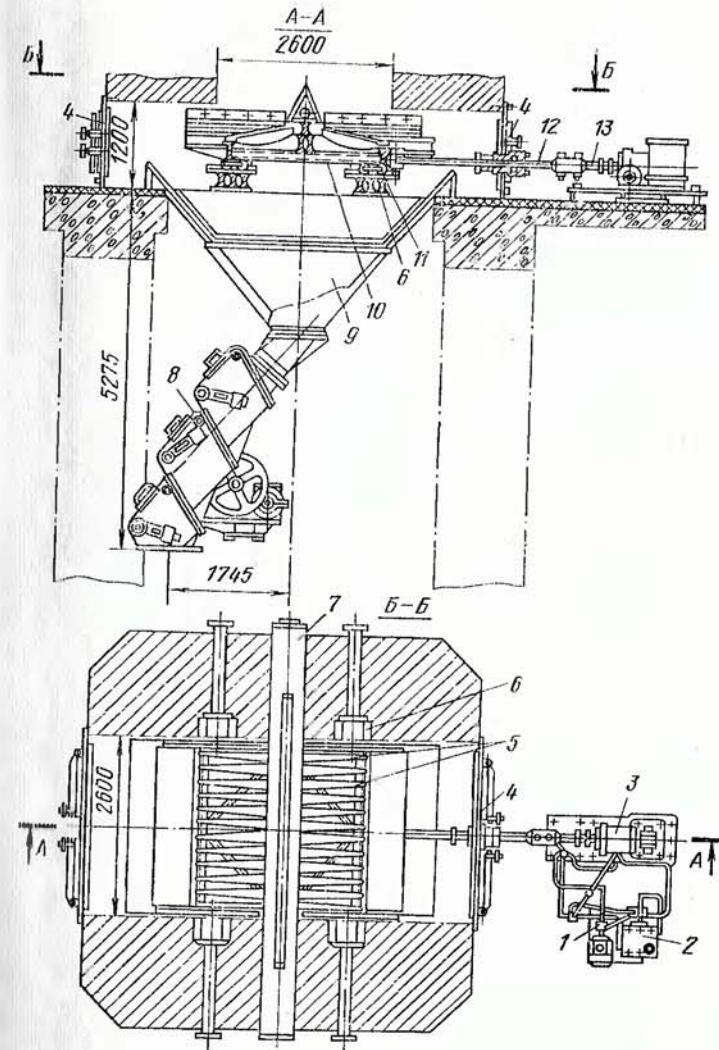


Рис. 11. Современные выгрузочные устройства шахтных печей (ФГР): а — конструкции фильтров «Егерhardt»; б — системы «Uibra — Technik»: 1 — гидропривод; 2 — вибрационный лоток; 3 — бункер; 4 — подпорный конус; 5 — кольцевая решетка; 6 — направляющий цилиндр; 7 — рыхлитель; 8 — подвески; 9 — опорное колесо; 10 — балка-раскос; 11 — вибрационный волзунок; 12 — дутьевый конус; 13, 14 — эластиконбактериальный питатель; 15 — кольцевая решетка; 16 — вибраторы; 17 — вибрационный волзунок; 18 — вибрационный питатель



19. Выгрузочное устройство с движущейся колосниковой решеткой кон-
ции Союзгипростроя:

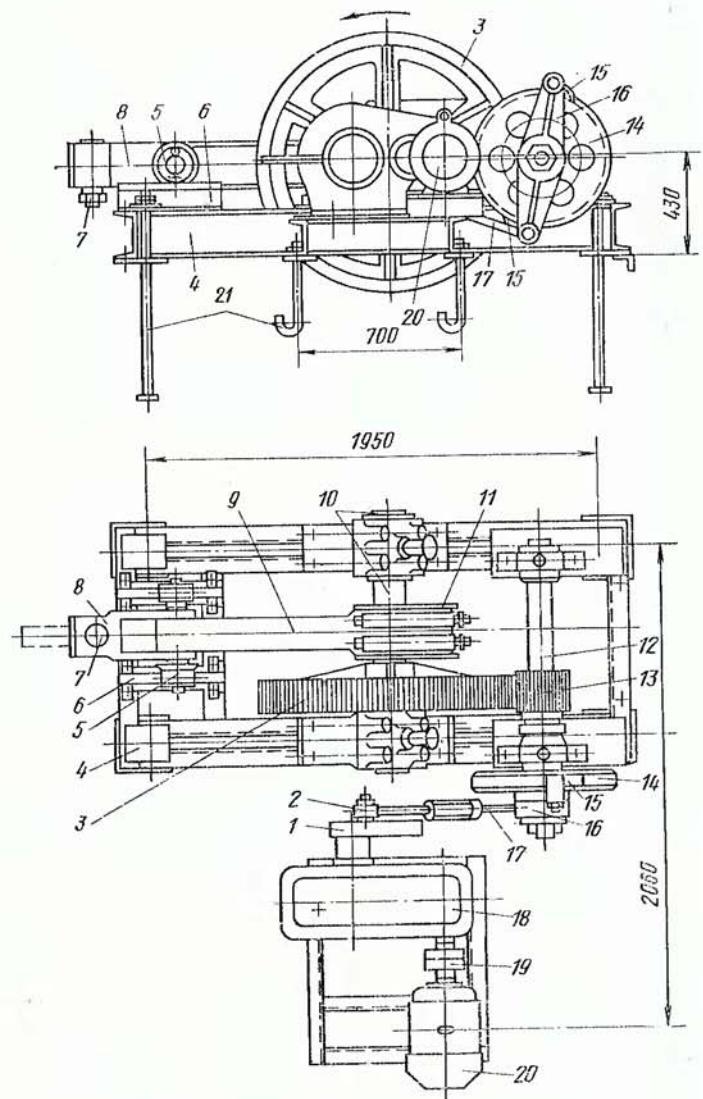


Рис. 13. Электромеханический привод:
1 — эксцентриковая шайба; 2 — палец; 3, 13 — шестерни; 4 — рама; 5 — опорные ролики; 6 — направляющие; 7 — клин; 8 — соединительная вилка; 9 — шатун; 10, 12 — валы; 11 — дебаланс; 14 — храповое колесо; 15 — собачья шайба; 16 — коромысло; 17 — тяга; 18 — редуктор; 19 — муфта; 20 — электродвигатель; 21 — фундаментные болты

Для привода каретки применяют электромеханический привод с храповым вариатором и гидравлический. Электромеханический привод (рис. 13) включает храповой вариатор, редуктор с эксцентриковой шайбой и электродвигатель. Вариатор посредством регулируемой по длине тяги, пальца и эксцентриковой шайбы соединен с выходным валом редуктора 18. Угол поворота храпового колеса через ведущий вал, шестерни, эксцентриковый вал и дебаланс преобразуется в линейное перемещение шатуна. Средняя скорость движения шатуна пропорциональна эксцентризитету шайбы. Требуемый эксцентризитет шайбы устанавливаются вращением винта, который перемещает палец в пазах шайбы. Эксцентризитет дебаланса изменяют вращением винта червячной передачи дебаланса. При этом ход шатуна изменяется в пределах 0—150 мм.

Гидравлический привод (рис. 14) включает гидроцилиндр со штоком, соединительную втулку, гидросистему и электродвигатель. Гидросистема состоит из лопастного насоса, бака с маслом, предохра-

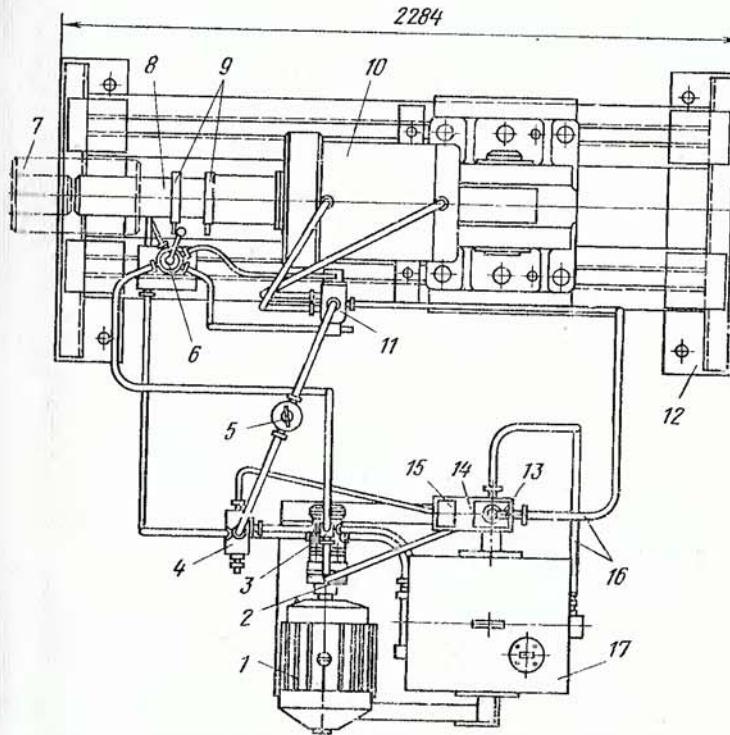


Рис. 14. Гидравлический привод:
1 — электродвигатель; 2 — муфта; 3 — насос; 4 — предохранительно-сливной клапан; 5 — фильтр; 6 — кран управления; 7 — соединительная втулка; 8 — шток; 9 — хомуты-ограничители; 10 — гидроцилиндр; 11 — направляющий гидроцилиндр; 12 — рама; 13 — рычаг регулятора потока; 14 — регулятор потока; 15 — манометр; 16 — трубы; 17 — бак

нительно-сливного клапана, пластинчатого фильтра, крана управления, двухходового реверсивного направляющего гидрораспределителя, регулятора потока и трубопроводов. Работа гидропривода основана на принципе жесткой схемы с регулированием расхода масла на сливе при помощи регулятора потока. Предохранительный клапан поддерживает постоянное заданное давление масла, подаваемого в цилиндр. Распределителем масла служит двухходовой реверсивный направляющий гидрораспределитель, переключение которого осуществляется краном управления. Кран управления переключается штоком в его крайних положениях при помощи хомутов-ограничителей.

Средняя скорость движения штока пропорциональна перепаду давлений масла на поршне гидроцилиндра, который изменяют положением рычага 13. Ход штока в пределах 0—150 мм регулируют изменением расстояния между хомутами-ограничителями. Эксцентрикитет хода каретки механизма выгрузки, т. е. разное по величине отклонение колосниковой решетки от рассекателя при прямом и обратном ходе, устанавливают смещением хомутов-ограничителей вдоль штока.

Оборудование гидравлического привода механизма выгрузки с движущейся колосниковой решеткой конструкции Союзгипростроя для печей производительностью 50—200 т/сут

Наименование	Тип
Лопастной насос	Г12-13
Гидроцилиндр	1072-12-040
Клапан предохранительный	Г52-13
Фильтр пластинчатый	Г41-44
Кран управления	БГ71-21
Регулятор потока	Г77-14
Направляющий гидрораспределитель, ре- версивный	Г72-13

В зависимости от температуры помещения, в котором смонтирован гидропривод, следует выбирать вид масла для заправки гидросистемы.

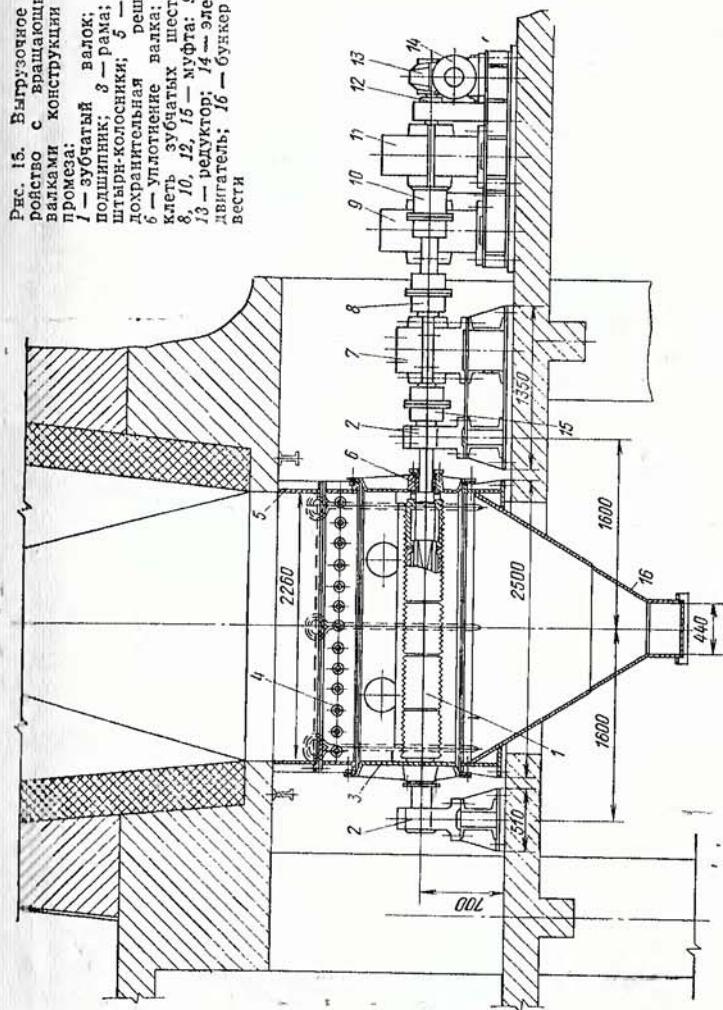
Виды масел, применяемых для заправки гидросистемы гидропривода

Температура помещения, °С	Вид заправочного масла
Ниже (−15)	Приборное МВП, вязкость условная 1,51—1,72°ВУ
(−15) ÷ (−15)	«Индустриальное ИС-12» («веретенное 2»)
Выше (+15)	«Индустриальное ИС-20» («веретенное 3»), ГОСТ 8675—62, вязкость условная 2,6—3,31°ВУ

Выгрузочное устройство с вращающимися валками конструкции Гипромеза (рис. 15) включает механизм выгрузки с приводом, предохранительную решетку и бункер извести.

Механизм выгрузки состоит из стальной рамы с приливами, на которых расположены уплотнения валков, и шести зубчатых валков, вращающихся попарно навстречу друг другу в опорных подшипниках. Расстояние между поверхностями валков 30 мм. Каждая пара валков имеет самостоятельный привод.

Рис. 15. Вытруженное устройство с вращающимися вакуумными констракциями Ги-прокеца:
 1 — зубчатый валок; 2 — подшипник; 3 — рама; 4 — пропашный колосник; 5 — предохранительное устройство; 6 — пресс-шестерни; 7 — уплотнение; 8 — вакуумная решетка; 9 — калель; 10 — зубчатых шестерен; 11, 12, 13 — муфты; 14 — редуктор; 15 — электродвигатель; 16 — бункер из-под винограда.



Предохранительная решетка представляет собой металлическую раму с отверстиями, в которые вставляются штыри-колосники диаметром 40 мм, служащие для подвешивания материала во время ремонта печи без ее разгрузки.

Выгрузочное устройство с врачающимися валками конструкции Союзгипростроя (рис. 16) включает механизм выгрузки с при-водом, бункера извести и шлюзовой затвор.

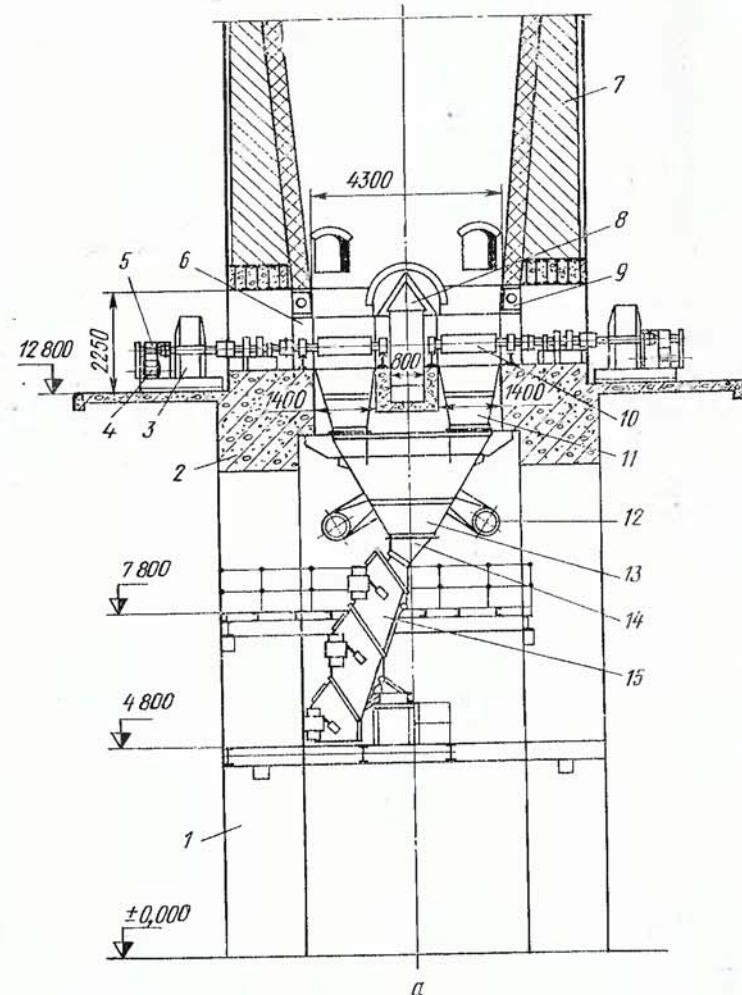


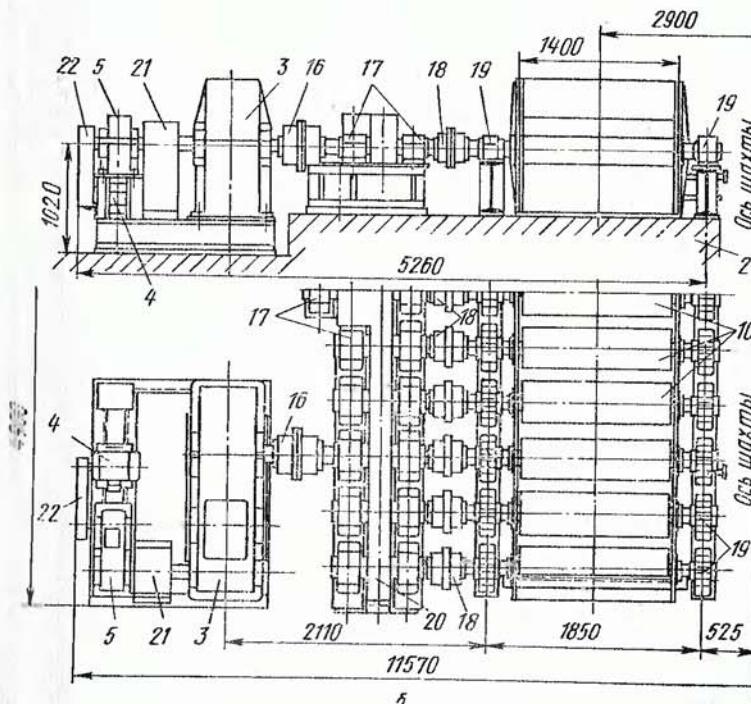
Рис. 16. Выгрузочное устройство с вращающимися валками конструкции С. а — выгрузочное устройство; б — расположение валков и привода; 1 — колесо механизма выгрузки; 7 — печь; 8 — балка-рассекатель; 9 — опорная балка; 13 — бункер известки; 14 — течка; 15 — шлюзовой затвор; 16, 18, 21 — муфта;

Механизм выгрузки состоит из двух секций, в каждой из которых установлено десять зубчатых валков. Расстояние между поверхностями валков равно 60 мм. Зубцы изготовлены из марганцовистой стали. Подшипники осей валков снабжены водяным охлаждением.

На каждом из валков со стороны привода насажены приводные зубчатые шестерни. Каждые пять валков имеют самостоятельный привод, состоящий из электродвигателя, клиноременной передачи и двух последовательно соединенных редукторов. Каждая пара валков вращается навстречу друг другу с частотой, которая плавно регулируется в пределах 0—0,135 об/мин. Максимальной частоте вращения валков соответствует производительность механизма выгрузки, равная 675 т/сут.

Механизм выгрузки оборудован системой централизованной смазки всех вращающихся частей.

Преимущество механизма: равномерная выгрузка материала из печей большого диаметра, равномерное распределение воздуха на входе в шахту, измельчение и выгрузка спекшихся кусков извести. Недостаток — повышенная удельная металлоемкость (табл. 23).



и пристройка:
1 — плита; 3, 5 — редуктор; 4 — электродвигатель; 6 — уплотнение вала
валок; 11 — промежуточный бункер; 12 — коллектор дутьевого воздуха;
19 — подшипник; 20 — шестерни; 22 — клиновременная передача

Таблица 23

Техническая характеристика механизмов выгрузки с вращающимися валками

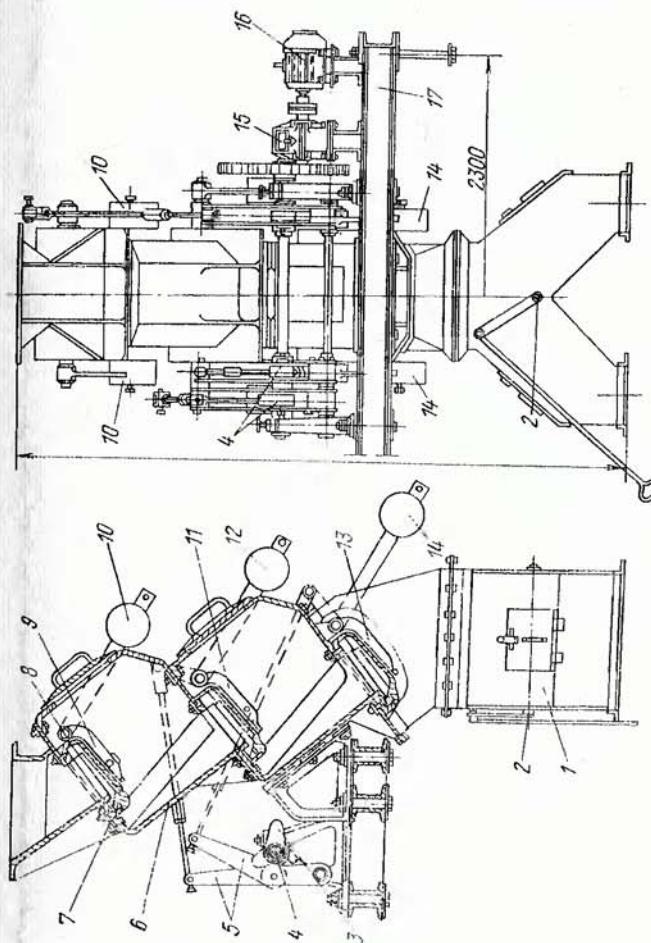
Показатели	Конструкция	
	Гипромеза	Союзгипропространа
Производительность, т/ч	10	28
Средний диаметр валков, мм	300	400
Длина валков, мм	2200	1500
Число валков, шт.	6	10
Частота вращения валков, об/мин	0—0,063	0—0,135
Электродвигатель привода:		
тип	ПБ-62	ПМУ5М12
мощность, кВт	4	1
частота вращения, об/мин	1500	1000
Число электродвигателей, шт.	3	4
Редуктор:		
тип	РЧП-180-1-2	ЦДН-40-50-2
передаточное отношение	51	50
Количество редукторов, шт.	3	4
Редуктор:		
тип	ЦДН-6-11-	ЦД2-100М-
	46,86	63-2
передаточное отношение	46,86	63
Число редукторов, шт.	3	4
Масса механизма выгрузки, т	20,3	49,21

В качестве механических устройств, применяемых для герметизации механизма выгрузки печи, распространены шлюзовой и барабанный затворы, качающиеся и электровибрационные питатели.

Барабанный затвор состоит из корпуса диаметром 1,09 м, внутри которого на валу насажен шестисекционный трефель, вращающийся с частотой 3,05 об/мин, зубчатой передачи, редуктора типа РМ-350-73-Ц и электродвигателя мощностью 5,5 кВт. Барабанный затвор обеспечивает герметизацию механизма выгрузки при давлении воздуха до 2,5 кПа и работает без заклинивания при температуре известия до +90°C. Масса затвора 3,71 т. Завод-изготовитель — Никопольский завод строительных машин им. В. И. Ленина. Ввиду низкой надежности при эксплуатации барабанные затворы на большинстве печей заменяют на лотковые или электровибрационные питатели и шлюзовые затворы.

Шлюзовой затвор (рис. 17) состоит из трех последовательно открывающихся камер, имеющих клапаны с принудительными захватами. Противовесы прижимают клапаны к горловинам камер не пропуская известку и воздух в другие камеры. Открытие камер осуществляется тягами, соединенными с эксцентриковыми кулачками механизма привода. Цикл открывания клапанов составляет 20—40 с и регулируется частотой вращения кулачкового вала. Шлюзовой затвор обеспечивает герметизацию механизма выгрузки при давлении воздуха до 5 кПа. В шлюзовом затворе для пересыпки известки производительностью 370 т/сут открывание клапанов осуществляется пневматически.

Рис. 17. Шлюзовой затвор:
1 — тяга; 2 — поворотный либер; 3 — эксцентриковые кулачки; 4 — ось; 5 — тяги; 6 — камера; 7 — горловина камеры; 8 — ось клапана; 9, 11, 13 — противовесы; 10, 12, 14 — противовесы; 15 — редуктор; 16 — электродвигатель; 17 — рама



ществляется исполнительными механизмами типа МЭО-160/40К-49. В шлюзовом затворе конструкции Союзгипростроя, выпуск которого для печей производительностью до 200 т/сут начнется с 1980 г., для привода клапанов используются гидравлические цилиндры. Давление масла в гидросистеме 2,5 МПа. Установленная мощность электродвигателя насоса 4 кВт. Масса шлюзового затвора с гидроприводами 5,3 т.

2. УСТРОЙСТВО И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕСЫПНЫХ ПЕЧЕЙ

В пересыпных печах, работающих на короткопламенном твердом топливе, производится более половины всей выпускаемой в СССР извести. В содовой и пищевой промышленности эксплуатируются только шахтные пересыпные печи, выпуск извести в шахтных пересыпных печах промышленности строительных материалов превышает 49%, в черной металлургии 25%. Шахтные пересыпные печи являются наиболее экономичными в теплотехническом отношении агрегатами.

В пересыпных печах образуется минимальный объем газообразных продуктов обжига на единицу продолжительности, благодаря чему концентрация углекислого газа в сухих отходящих газах достигает 38–42% (по объему), и его утилизация становится экономически целесообразной. На предприятиях содовой и сахарной промышленности, использующих содержащуюся в печных газах углекислоту, отходящие газы охлаждают, очищают от взвешенных примесей и при помощи компрессоров транспортируют в технологические цехи.

За последнее десятилетие на предприятиях содовой промышленности введены в эксплуатацию шахтные пересыпные печи производительностью 300—400 т известки в сутки, в 1980 г. на Крымском содовом заводе планируется ввести в строй пересыпную печь производительностью 700 т/сут.

В сахарной промышленности с 1974 г. внедряются печи ИПШ-100 и ИПШ-200, представляющие собой модернизированные печи конструкции СоюзгипроПрома производительностью 100 и 200 т/сут. Печи ИПШ-100 и ИПШ-220 выпускаются Красиловским машиностроительным заводом.

Печи конструкции Союзгипростроя. В 1963—1964 гг. институт разработал типовые проекты шахтных печей на твердом топливе производительностью от 50 до 200 т/сут. Проектные характеристики печей приведены в табл. 25.

Общий вид шахтной пересыпной печи производительностью 200 т известняка в сутки показан на рис. 18. Пересыпная печь состоит из шахты, загрузочного и выгрузочного устройства, установки для очистки отходящих печных газов, дымососной установки и дутьевого вентилятора [5].

При корректировке типовых проектов в 1973—1975 гг. в конструкцию отдельных элементов и оборудования шахтных пересыпных печей Союзпристрома внесены следующие изменения: барабанные затворы заменены на шлюзовые, футеровка в зоне обжига из шамотного кирпича заменена на хромомагнезитовую, в конце зоны подогрева печи к внутренней поверхности кожуха прикреплено стальное кольцо для подвеса футеровки, что позволяет заменять футеровку зоны обжига, не нарушая футеровку зоны подогрева; от

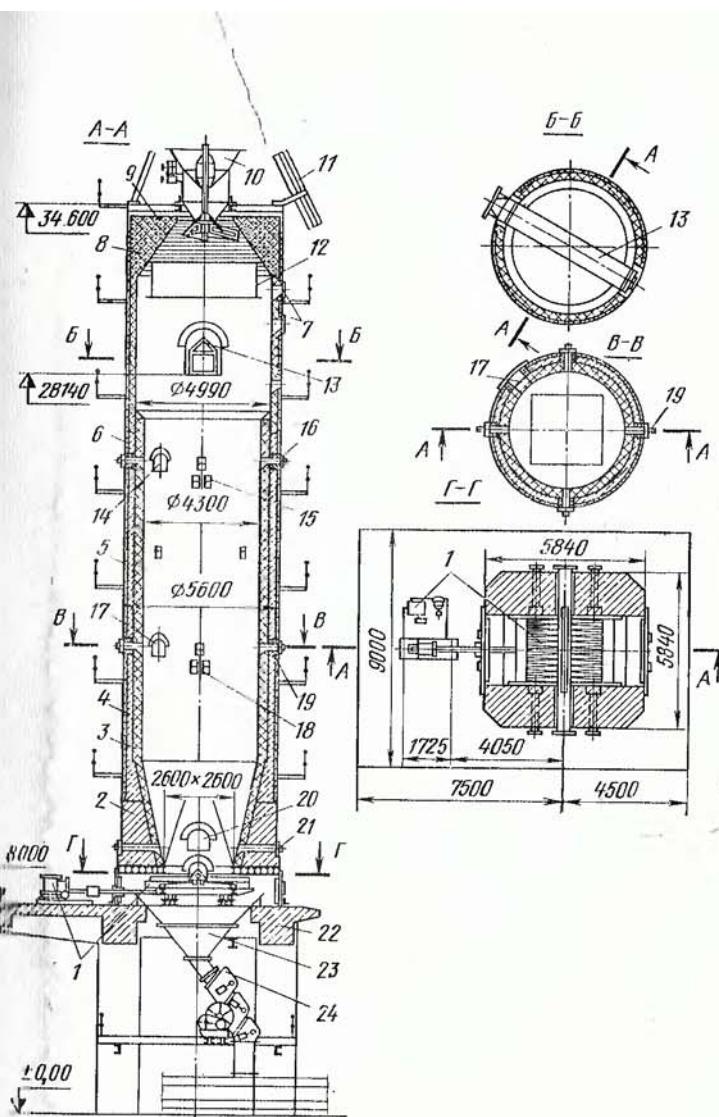


Рис. 18. Шахтная пересыпная печь конструкции Союзгипростроя производительностью 200 т/сут:

1 — механизм выгрузки; 2 — кладка из красного кирпича; 3 — футеровка; 4 — плиты из легкесстенного кирпича; 5 — слой теплоизоляционной шашки; 6 — печи; 7 — отверстия для датчиков уровня мера шахты; 8 — кладка из шамотного кирпича; 9 — опорные балки механизма загрузки; 10 — механизм загрузки; 11 — склонный подъемник; 12 — отбойная обечайка; 13 — короб для газов; 15, 18 — отверстия для установки датчиков КИП; 14, 17, 20 — рамы; 16, 19, 21 — глянделики; 22 — железобетонная плита; 23 — бункер извести; 24 — зазор в затворе

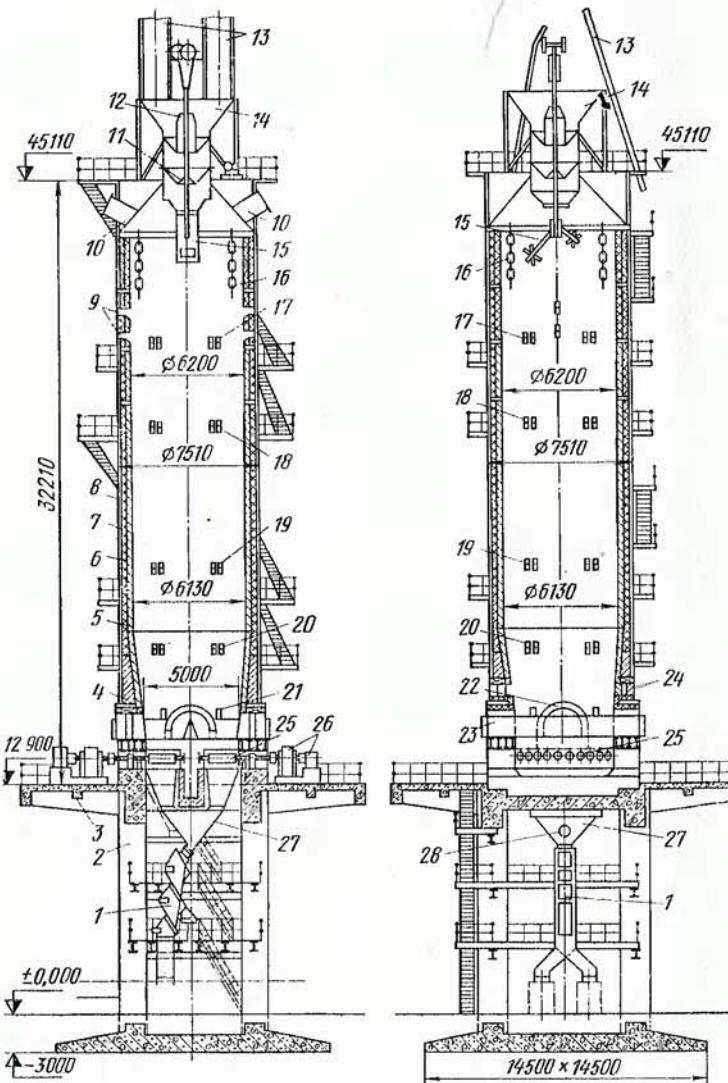


Рис. 19. Шахтная пересыпная печь конструкции Союзгипростроя производительностью 370 т/сут:

1 — шлюзовой затвор; 2 — колонна; 3 — плита; 4 — кирпич шамотный общего назначения; 5 — футеровка; 6 — легковесный кирпич; 7 — слой теплоизоляционной засыпки; 8 — кожух печи; 9 — отверстия для датчиков уронномера шихты; 10 — патрубок для отсоса газов; 11 — конус; 12 — колокол; 13 — склонный подъемник; 14 — поворотная чаша; 15 — распределительный лоток; 16 — цепная завеса; 17, 18, 20, 21 — отверстия для установки датчиков КИП; 19 — глядка; 22, 24 — лазы; 23 — балка-рассекатель; 25 — валки; 26 — привод валков; 27 — бункер; 28 — патрубок для ввода дутьевого воздуха

бойная обечайка 12 из листовой стали заменена на цепную завесу (см. рис. 20).

Шахтная пересыпная печь Союзгипростроя производительностью 370 т извести в сутки приведена на рис. 19. В 1973 г. институт переработал проект опытной шахтной пересыпной печи производительностью 450 т/сут с учетом достижений отечественного и зарубеж-

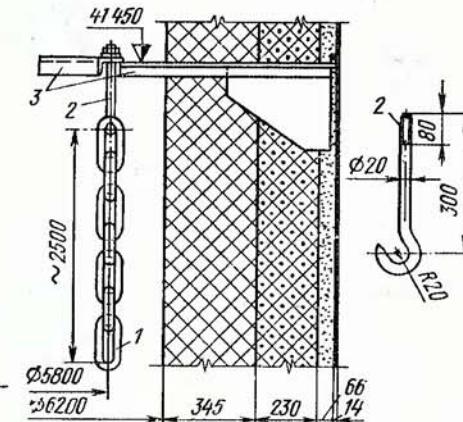


Рис. 20 Цепная завеса:
1 — цепь; 2 — крюк; 3 — опорная конструкция

шного опыта. Первая печь этого типа введена в эксплуатацию в 1975 г. в Крымском содовом заводе [14].

Загрузка печи известняком и коксом осуществляется при помощи автоматического ленточного дозатора и загрузочного устройства. Скиповым подъемник оборудован двумя ковшами. Движение и разгрузка ковшей синхронизированы: подъем загруженного ковша производится одновременно с опусканием порожнего, выгрузка одного ковша происходит одновременно с запуском другого. Такое решение позволило снизить скорость движения ковша, массу металлоконструкций подъемника, расход электроэнергии на привод лебедки. Новым в работе механизма загрузки является использование отдельной лебедки типа ЛОК-3,5 для подъема колокола и опускания конуса. Для защиты футеровки при загрузке материалов предусмотрена цепная завеса (рис. 20) из свободно висящих цепей ЦОН-20Х120.

На печи применен механизм выгрузки с врачающимися валками. Оборудование печи выбрано с учетом повышения ее производительности на 20% по сравнению с проектной.

Воздух для горения топлива и охлаждения извести подается двумя вентиляторами в промежуточный бункер через два отверстия 24. Газы отбираются из печи через два штатрубка и после очистки в мокром электрофильтре направляются компрессором в технологический цех для утилизации CO₂.

Для ведения процесса обжига в оптимальном режиме на печи монтираны приборы автоматического контроля и регулирования основных параметров.

Шахтная пересыпная печь конструкции Гипрохима производительностью 300 т/сут. Шахта печи (рис. 21), смонтированная на же-

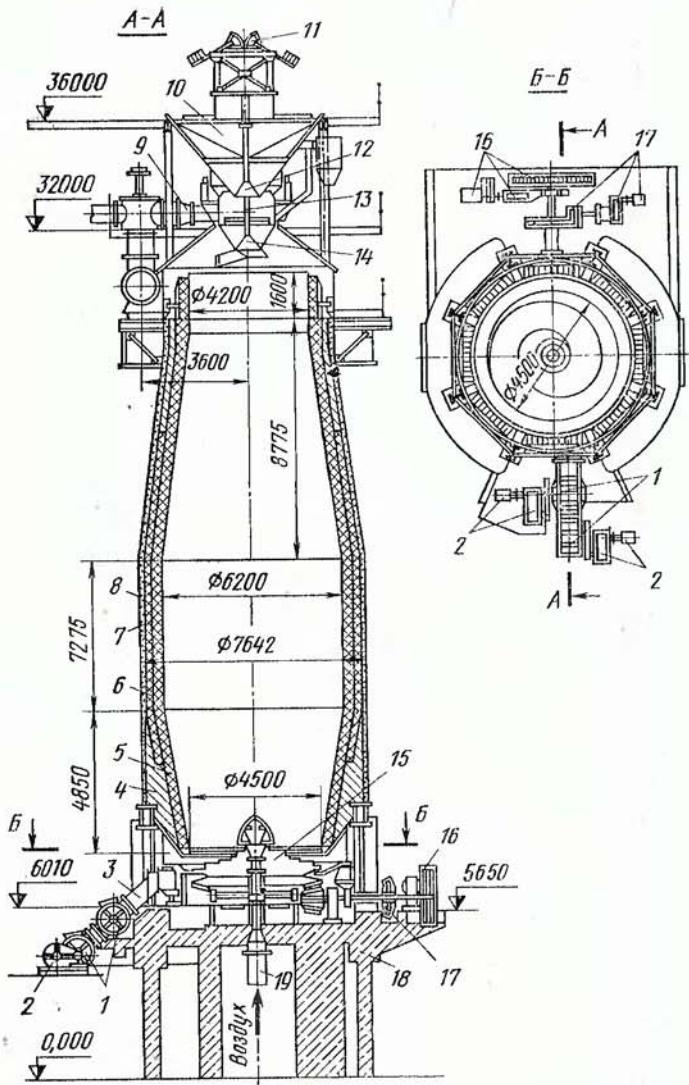


Рис. 21. Шахтная пересыпная печь конструкции Гипрохима производительностью 300 т/сут:

1 — барабанный затвор; 2 — привод затвора; 3 — течка; 4 — цокольная часть; 5 — футеровка; 6 — кладка из доменного кирпича; 7 — слой теплоизоляции; 8 — кожух; 9 — трубопровод отходящих газов; 10 — приемная воронка; 11 — привод клапанов; 12, 14 — клапаны; 13 — шток; 15 — узлы; 16 — привод узлов; 17 — привод кольцевого конвейера; 18 — опорная плита; 19 — трубопровод

**Техническая характеристика механического оборудования
шахтных печей конструкции института «СоюзгипроПрострой»**

Показатели	Производительность печи, т/сут						
	50	100	150	200	370	500	7
1. Загрузочное устройство: типа Масса (ориентировоч- но), т	2	3	4	5	6	7	
Скиповое							
13	113,7	133,2	133,2	33,2	63,2	63,2	57,5
2. Скиповый подъемник							
Грузоподъемность лебедки, т	2	2	4	4	8	8	
Скорость подъема ковша, м/с	0,63	0,63	0,45	0,45	0,4	0,4	
Канатоемкость барабана, м	40	40	45	45	67	67	
Диаметр каната, мм	15,5	15,5	19,5	19,5	28	28	
Мощность привода лебедки, кВт	14	14	20	20	40	40	
Масса лебедки, т	1,26	1,26	2	2	4,22	4,22	
Емкость ковша, м ³	0,5	0,75	1,5	1,5	3	3	
Число ковшей, шт.	1	1	1	1	2	2	
Масса подъемника, т	6,4	7,6	9,8	9,8	44,6	44,6	
2. Механизм загрузки							
Двухклапанный с поворотной чашей							
Двухклапанный с поворот- ным лотком							
Двухклапанный с поворот- ной чашей с поворот- альным лотком							

50 Продолжение табл. 24

1	2	3	4	5	6	7
Диаметр чаши, м	1,8	1,8	2,5	2,5	4,8	4,5
Частота вращения чаши, об./мин	1,83	2,1	1,3	1,3	—	1,35
Мощность привода чаши, кВт	1,7	1,7	1,7	1,7	—	3
Ход колокола, мм	780	700	700	700	700	700
Ход конуса, мм	600	500	500	500	500	500
Масса, т	4,98	8,4	9,1	9,1	14,41	8,37
Завод-изготовитель	Никопольский завод им. В. И. Ленина	—	—	—	Первомайский завод химического машиностроения	—
2. Выгрузочное устройство:						
Масса (ориентировочно), т.	7,6	17,2	17,9	17,9	60	26,3
Механизм выгрузки	—	—	—	—	—	—
Тип	—	—	—	—	—	—
Производительность, т/ч	3,2	4,2	8,3	16	23	29,2
Максимальное усилие на штоке, т	4	11	18	18	—	50
Масса механизма (без привода), т	2,3	3,5	4,5	4,5	49,21	Нет сб.
Завод-изготовитель	Никопольский завод им. В. И. Ленина	—	—	—	Первомайский завод химического машиностроения	—
Электромеханический привод	—	—	—	—	—	—
Максимальное усилие, тс	25	25	25	25	—	—
Мощность электродвигателя, кВт	7,5	7,5	7,5	7,5	—	—
1	2	3	4	5	6	7
Тип редуктора	—	—	—	—	—	—
Масса, т	2,05	2,05	2,66	2,66	—	—
Завод-изготовитель	Никопольский завод им. В. И. Ленина	—	—	—	—	—
Гидравлический привод	—	—	—	—	—	—
Максимальное усилие, тс	11	18	40	40	—	—
Число гидроцилиндров, шт.	2	2	1	1	—	—
Заправочная емкость, л	125	125	135	135	—	—
Мощность привода, кВт	2,8	4,5	5,5	5,5	—	—
Масса гидропривода, т	0,91	0,93	1,45	1,45	—	—
Завод-изготовитель	Никопольский завод строительных машин им. В. И. Ленина	—	—	—	—	—
Шлюзовой затвор	—	—	—	—	—	—
Тип	—	—	—	—	—	—
Число, шт.	1	1	1	1	—	—
Мощность привода, кВт	1,1	1,1	1,1	1,1	—	—
Завод-изготовитель	Никопольский завод им. В. И. Ленина	—	—	—	—	—
Электровибрационный питатель (устанавливается вместо барабанного питателя)	—	—	—	—	—	—
Тип	—	—	—	—	—	—
Число, шт.	C-915A-11-100	—	—	—	—	—
Завод-изготовитель	1	1	—	—	—	—
«Электровибромашин» (г. Цхинвали)	—	—	—	—	—	—
С-915A-1-100	—	—	—	—	—	—
	2	—	—	—	—	—

Таблица 25

Проектные характеристики шахтных пересыпных печей

Показатели	Производительность, т/сут					
	50 2	100 3	200 4	370 5	300 6	
Проектная организация						
Год выпуска	1963	1963	Союзипростром	1973	Гипрохим /1965	
Высота печи, м:	18,2	18	19	24	22,5	
рабочая	27,2	27,8	34,6	45	36	
внешний диаметр (сечение)						
Строительная						
внутренний диаметр (сечение)	2,73	3,2	4,99	6,2	4,2	
В зоне подогрева	2,5	3,2	4,3	6,13	6,2	
В зоне обжига						
на уровне механизма выгрузки	(1,6×1,6)	(2,2×2,2)	(2,6×2,6)	(4,3×4,3)	4,5	
Средняя площадь полированного сечения в зонах обжига и подогрева, м ²	4,9	8	14,5	29,5	22	
Полезный объем шахты (приблизительно), м ³	89	143	265	666	520	
Удельный съем извести: т/(м ² ·сут)	10,2	12,5	13,8	12,5	13,65	
Расход условного топлива, кг/т извести	0,56	0,7	0,75	0,56	0,58	
Топливо	133	133	133	129	127	
Сырец						
Известняк класса А (ОСТ 21-27-76) средней прочности и прочный						
Приложение 2						
1	2	3	4	5	6	
Дозирующее устройство	Весовой дозатор шихты ДШ-100/1000					
Загрузочное устройство: типа		Скиповое				
Механизм загрузки	Двухклапанный с поворотной чашей		Двухклапанный конструкции НПОХима			
Масса	13	13,7	23,63	63,2	20,7	
Механизм выгрузки	Движущаяся колосниковая ре- шетка		Балковый двухсекционный			
Герметизирующий механизм	Барабанный затвор		Трехшлюзовой затвор			
Масса, т	10	12,8	18,7	60	12,3	
Дымосос:						
типа	Д-10	Д-10	Д-12	—	—	
объемный расход, м ³ /с	2,78	5,14	8,93	—	—	
напор, кПа	1,37	1,57	1,97	—	—	
мощность электродвигателя, кВт	14	28	55	—	—	
Дутьевой вентилятор:						
типа	ВВД-8У	ВВД-8У	ВД-10	Два вентилятора СРГ 500/830 типа (ГДР)	Два вентилятора СРГ 500/830 типа (ГДР)	
Объемный расход, м ³ /с	0,973	2	3,34	4,59	4,45; 1,39	

Продолжение табл. 25

1	2	3	4	5	6
Напор, кПа	2,46	2,46	2,56	6,375	4,9
Мощность электродвигателя, кВт	10	14	28	Нет сб.	34; 20
Установка для очистки отходящих газов	Четыре пиклона НИИОгаз на типа ЦН-15	Шесть пиклонов НИИОгаз на типа ЦН-15	Шесть пиклонов НИИОгаз на типа ЦН-15	Трубчатый электрофильтр-скруббер типа СМС-6,2	
Установленная мощность электродвигателей, кВт	46	65	110,2	136	88,5
Кладка печи; футеровка в зоне подогрева:					
кирпич марки ШУД-37 толщиной, мм	230—345	345	230—345	345	345
футеровка в зоне обжига	Шамотный доменный кирпич марки ШУД-37 толщиной 345 мм				

Продолжение табл. 25

1	2	3	4	5	6
теплоизоляция в зоне обжига	Шамотный легковесный кирпич марки ШЛБ-1,3 толщиной 230 мм				
футеровка в зоне охлаждения:					
кирпич марки ШУД-37 толщиной, мм	345	345	230	345	345
Толщина кожуха, мм	8	10	10	16	12
Расход огнеупорного кирпича, т	200	304	359	861	558
В том числе:					
магнезитохромитового шамотного доменного	—	—	—	320	—
шамотного общего назначения	115	170	223	169	438
шамотного легковесного	34	74	62	199	120
Расход стали разной, т	51	60	74	173	Нет сб.
	58	79,7	104,9	Нет сб.	То же

лебобетонной плите, выполнена в виде двух усеченных конусов, со-пряженных по большим основаниям цилиндром. Подача известняка на загрузочную площадку печи осуществляется подвесными ковшами (люльками) канатной дороги со склада сырья. При загрузке ковшей известняком фракция менее 40 мм отсыпается на валковом грохоте. Установленный на загрузочной площадке печи автоматический весовой дозатор загружает кокс в ковш поверх слоя известняка. Точность дозирования кокса $\pm 2\%$. Фракция кокса менее 10 мм перед подачей в дозатор отсыпается виброгрохотом. За один цикл в приемную воронку механизма загрузки опрокидывается четыре ковша (8 т известняка).

Печь оснащена двухклапанным механизмом загрузки конструкции Гипрохима. Газы из промежуточного бункера механизма отсыпаются вентилятором. Уровень шихты в печи измеряется при помощи штангового уровнемера. Известь выдается из печи выгрузочным устройством с врачающимся подом (улиткой).

Печь работает под давлением. Воздух для горения топлива нагнетается в шахту двумя вентиляторами: в количестве 2500—3000 м³/ч через патрубок 19 в приосевую зону печи, в количестве 13000 м³/ч — под кольцевой конвейер в пристенную и промежуточную зоны печи.

Газы удаляются из печи через два вертикальных патрубка, соединенных с трубопроводом 9, по которому поступают в вертикальный трубчатый электрофильтр-скруббер типа СМС-6,2. После очистки газы направляются в технологический цех для утилизации углекислоты.

Печь оснащена контрольно-измерительной и регулирующей аппаратурой (см. табл. 51). Проектные характеристики печи и оборудования приведены в табл. 24 и 25. Печи Гипрохима производительностью 300 т/сут эксплуатируются на Стерлитамакском содово-цементном комбинате и заводах объединения «Донсад».

3. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПЕРЕСЫПНЫХ ПЕЧЕЙ

Особенности сжигания твердого топлива в пересыпной печи. Физико-химические превращения твердого топлива происходят в определенных температурных зонах шахтной печи (рис. 22). Сжигание топлива осуществляется в несколько стадий по мере его опускания в шахте. Основными стадиями являются: стадия подготовки топлива, стадия восстановления CO₂ и стадия окисления (горения) углерода топлива (кокса).

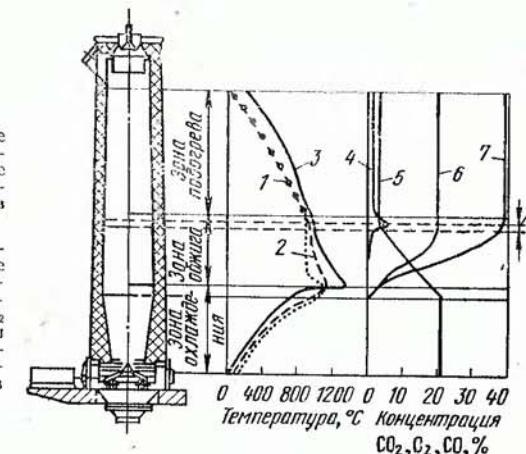
На стадии подготовки топлива из него вначале выделяется влага (при 100—150°C), затем летучие вещества. Разложение антрацита начинается при низких температурах: водород выделяется при 200°C, затем метан, летучая сера и продукты термического разложения. Интенсивное выделение летучих веществ происходит при 500—700°C, т. е. в зоне подогрева печи, где кислорода недостаточно для их полного сгорания.

Ввиду высокой теплоты сгорания метана и водорода потери тепла с летучими (химический недожог топлива) для антрацита до стигают 8,5% его теплоты сгорания, а для тощего каменного угля 20% и более. Меньше всего летучих содержится в коксе, поэтому химический недожог для кокса не превышает 2% его теплоты сгорания [4].

Потери тепла твердого топлива с летучими веществами учитывают пересчетом его теплоты сгорания по следующей формуле [4]:

$$Q_{\text{факт}}^{\text{p}} = Q_{\text{h}}^{\text{p}} - (336 \cdot 4,19 \cdot H^{\text{p}}), \quad (13)$$

где Q_{h}^{p} — теплота сгорания топлива, кДж/кг; H^{p} — содержание водорода в топливе, %; $Q_{\text{факт}}^{\text{p}}$ — фактическая теплота сгорания твердого топлива при его сжигании в шахтных пересыпных печах, кДж/кг.



На стадии восстановления CO₂ протекает реакция восстановления двуокиси углерода на поверхности кусков начинаяющего гореть топлива по уравнению 3 (см. табл. 27).

Стадия восстановления CO₂ в CO происходит в зоне восстановления 8 (см. рис. 22) — на границе зоны обжига и подогрева сырья (непосредственно над зоной окисления кокса или несколько отстает от нее). В зоне восстановления кислород практически отсутствует, но температура топлива при определенных условиях может превышать 1000°C, поэтому содержащаяся в печных газах O₂ взаимодействует с углеродом топлива.

Реакция восстановления CO₂ в CO сопровождается потерей тепла в размере 50·4,19 кДж/кг CaO на 1% CO в отходящих газах.

Содержание CO в печных газах уменьшается в следующих случаях:

при использовании в качестве топлива кокса с пониженной рециркуляционной способностью (табл. 26). Поэтому лучшим топливом является литейный кокс;

при равномерном распределении кусков топлива среди кусков сырья. Содержание окиси углерода в шахтных печах с послойной загрузкой топлива значительно выше, чем при смешанной загрузке;

при снижении максимальной температуры в зоне обжига. Установка выполняется при минимальном удельном расходе топлива. В этом случае зона окисления распространяется вверх настолько,

Таблица 26

Влияние реакционной способности кокса на содержание CO в отходящих газах шахтной пересыпной печи

Реакционная способность кокса	Константа скорости реакции $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$, см ³ /г·с	Содержание CO, %
Инертный	0,2	1,0
Средняя	0,4	2,0
Повышенная	0,6	3,0
Высокая	0,65	3,2

Таблица 27

Реакции горения твердого топлива в шахтной пересыпной печи

Наименование реакции	Уравнение реакции	Выделение тепла, кДж/моль	Поглощение тепла, кДж/моль
1. Полное окисление углерода	$\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$	+94,25 × 4,19	—
2. Неполное окисление углерода	$2\text{C} + \text{O}_2 = 2\text{CO}$	+52,3 × 4,19	—
3. Восстановление CO_2	$\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$	—	-41,95 × 4,19
4. Полное окисление окси углерода	$2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$	+136,2 × 4,19	—

Таблица 28

Протяженность зоны окисления кокса и зоны декарбонизации в шахтной печи в зависимости от размера кусков топлива
(при температуре горения выше 1100°C и $K_{\text{сл}}^T = 6$)

Зона	Протяженность зоны, м, при фракционном составе кокса, мм					
	0—20 (29%) 20—40 (71%)	20—40	40	40—60	60—80	80
Окисления кокса	0,5—0,65	0,8—0,95	1,25	1,5—1,75	2—2,5	3—3,5
Декарбонизация сырья	0,6—0,7	0,85—1	1,25	1,6—1,8	1,9—2,4	3—3,4

что зона восстановления смещается в область температур ниже 1000°C, и процесс восстановления CO_2 замедляется.

Эффективным приемом снижения потери тепла с CO является дожигание воздухом, вводимым в печь через форны, расположенные на границе зон обжига и подогрева. При проверке этого

способа на печах производительностью 200 т/сут концентрация CO в отходящих газах снизилась с 2—3 до 1—1,5%.

На стадии окисления углерода топлива протекают реакции по уравнениям 1—4 (табл. 27). Многообразие одновременно идущих химических реакций, осложненных влиянием структуры твердого топлива и состава его минеральной части, затрудняет описание горения топлива.

Основной характеристикой стадии окисления служит скорость окисления кокса. Скорость окисления каменноугольного кокса зависит главным образом от температуры процесса и размеров кусков кокса.

При температуре до 1100°C скорость окисления кокса определяется скоростью химической реакции и количеством подводимого кислорода (скоростью движения воздуха в слое). Например, при 900°C скорость окисления в два раза меньше, чем при температуре 1100°C. В результате зона окисления при 900°C вдвое длиннее, чем при 1100°C. Однако практически поддерживать температуру в печи выше 1000°C затруднительно из-за нестабильности положения зоны окисления. В этом случае даже небольшие различия в аэродинамическом сопротивлении потока воздуха со стороны отдельных участков слоя шихты вызывают разную скорость окисления кокса.

При температуре выше 1100°C скорость окисления кокса обратно пропорциональна размеру кусков кокса, а высота зоны окисления $H_{\text{з.ок}}$ пропорциональна диаметру кусков топлива d_t и коэффициенту слойности $K_{\text{сл}}^T$ (табл. 28).

Высоту зоны окисления (м) при температуре горения топлива выше 1100°C можно определить по приближенной формуле [15, 16]:

$$H_{\text{з.ок}} = 5 K_{\text{сл}}^T d_t, \quad (14)$$

где $K_{\text{сл}}^T$ — отношение объема шихты (сырья и топлива) к объему топлива.

Высоту зоны окисления топлива при различных условиях обжига определяют по формуле [4]:

$$H_{\text{з.ок}} = 2,16 K_{\text{сл}}^T d_t \log (C_{\text{O}_2}^{\text{н}} / C_{\text{O}_2}^{\text{к}}) Re^{0,17}, \quad (15)$$

где $C_{\text{O}_2}^{\text{н}}, C_{\text{O}_2}^{\text{к}}$ — начальная и конечная концентрации кислорода в зоне окисления, %; Re — число Рейнольдса для зоны окисления.

Особенности передачи тепла в шахтной пересыпной печи. В зоне обжига шахтной печи температура газов равна среднему значению между температурой горящего топлива и температурой поверхности кусков материала. Температура поверхности материала различна в зависимости от того, соприкасается материал с газами или с горящим топливом.

Температура поверхности материала тем выше, чем больше коэффициент теплопередачи $K_{\text{пер}} = a_{\text{конв}} + \alpha_{\text{изл}}$ и температура теплоносителя. В табл. 29 приведены значения $\alpha_{\text{изл}}$ в зоне обжига печи [16]. Ниже приведены значения $a_{\text{конв}}$:

Диаметр кусков сырья, мм	20	40	60	80	100	120
$\alpha_{\text{конв}}, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	62	44	37	33	29	27

Таблица 29

Величина коэффициента теплоотдачи излучением $\alpha_{изл}$
в зоне обжига шахтной пересыпной печи

Температура поверхности материала, °C	Величина $\alpha_{изл}$, Вт/(м·К), при температуре поверхности топлива, °C			
	1200	1300	1400	1500
900	541	610	686	768
1000	600	673	752	838
1100	666	741	824	913
1200	734	817	902	955
1300	—	895	988	1083
1400	—	—	1075	1182

Большие величины $\alpha_{изл}$ вызывают быстрый нагрев поверхности кусков материала, соприкасающихся с горячим топливом, до температуры топлива, в результате чего часть материала «пережигается». Наиболее высокая температура развивается при послойной загрузке топлива.

Зоны подогрева и охлаждения являются рекуперативными, в них осуществляется в основном утилизация тепла выходящих потоков. Величина конечной температуры выходящих из печи потоков газов и материалов зависит от соотношения их водяных эквивалентов (табл. 30).

Таблица 30

Температура отходящих из зоны подогрева печи газов t_g' при различных W_m/W_r

Завершенный теплообмен	Значения t_g' (°C) при W_m/W_r						
	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
$t_m' = t_r'$	340	250	160	120	80	40	0
$t_m' = 0,95 t_r'$	390	300	210	160	120	80	40

Водяной эквивалент потока материалов, кДж:

$$W_m = K_c^{cp} c_m^{\text{как}} g_t c_t, \quad (16)$$

где K_c^{cp} — средний в зоне коэффициент расхода сырья, кг; $c_m^{\text{как}}$ — кажущаяся теплоемкость материалов, кДж/(кг·К); g_t — расход топлива на 1 кг извести, кг; c_t — теплоемкость топлива, кДж/(кг·К).

Водяной эквивалент потока газов, кДж:

$$W_r = 0,5 (v_r^{bx} c_r^{bx} + v_r^{vых} c_r^{vых}), \quad (17)$$

где v_r^{bx} , $v_r^{vых}$ — объемный расход газов на 1 кг извести на входе и выходе из зоны, м³; c_r^{bx} , $c_r^{vых}$ — теплоемкость газов на входе и выходе из зоны, кДж/(м³·К).

При $t_m' \geq 0,95 t_r'$ (t_m' , t_r' — температура потоков материала и газов на выходе из зоны и входе в зону) теплообмен считается завершенным [17].

В зоне подогрева шахтной пересыпной печи отношение $W_m/W_r = 0,85 \div 0,95$, в зоне охлаждения $W_m/W_r = 0,65 \div 0,7$.

В зонах подогрева и охлаждения теплообмен между потоками газов и материалов осуществляется по законам конвекции. Расчет ведут с использованием суммарного коэффициента теплоотдачи α_{Σ} , Вт/(м²·К), учитывающего внешнее и внутреннее тепловое сопротивление кускового материала [17]:

$$\alpha_{\Sigma} = \frac{\alpha^u}{1 + 0,112 \alpha^u d_m / \lambda_m}, \quad (18)$$

где α^u — коэффициент теплоотдачи от газа к поверхности материала (и наоборот) для неподвижного слоя, определяемый по формулам В. Н. Тимофеева [18]:

$$\text{при } Re \text{ от 20 до 200 } \alpha^u = 0,106 Re; \quad (19)$$

$$\text{при } Re > 200 \quad \alpha^u = 0,61 \cdot Re^{0,67} \lambda_r / d_m; \quad (20)$$

λ_r , λ_m — коэффициенты теплопроводности газов, материала, Вт/(м·К).

Теплотехнические расчеты шахтных пересыпных печей подробно изложены в книге Н. П. Табунщикова [4].

Особенности аэродинамики шахтной печи. Заполненная материалами шахтная печь представляет собой аппарат с продуваемым гравитационным слоем. Аэродинамическое сопротивление слоя зависит от характера движения газового потока (ламинарный, переходный, турбулентный). В современных печах движение потока газов (воздуха) характеризуется переходной областью (рис. 23).

Если при расчете потерь давления в слое ΔP (Па) исходить из величины и формы пространства между кусками, то рекомендуется пользоваться следующей формулой [19]:

$$\Delta P = \frac{16}{150} \frac{(1-\varphi)}{\xi_{сл}} \frac{\rho_r v_r^2}{\varphi^2} k_{\Phi} \frac{h_{сл}}{d_{ср}}, \quad (21)$$

где v_r — средняя скорость газа, отнесенная к пустому поперечному сечению, $v_r = V_r/F_{сл}$. Здесь $F_{сл}$ — поперечное сечение слоя, м²; V_r — объем проходящего газа, м³/с; ρ_r — плотность газа, кг/м³; $h_{сл}$ — высота слоя, м; k_{Φ} — коэффициент формы (для шара $k_{\Phi}=1$, для угля, руды и коксовой насыпи $k_{\Phi}=1,3$); $d_{ср}$ — средний диаметр кусков, м; φ — порозность слоя; $\xi_{сл}$ — коэффициент сопротивления, определяется из зависимости $\xi_{сл}=f(Re_{сл})$, рис. 24, в которой число Рейнольдса определяется по выражению

$$Re_{сл} = 0,6 \frac{d_{ср} v_r}{(1-\varphi) \rho_r k_{\Phi}}. \quad (22)$$

Таблица 31

Показатели эксплуатации шахтных пересыпных печей в различных

всех народного хозяйства СССР в 1974—1976 гг.

Характеристика печей			Характер		Характеристика сырья	Коэффициент расхода сырья, т/т	Топливо	Расход условного топлива на 1 т физической извести, кг
диаметр шахты в зоне обжига, м	полезная высота шахты, м	производительность, т/сут	вид	фракция, мм				
Химическая промышленность								
6,13	24	400	Известняк	30—120	97,6	1,82	Кокс доменный 80—25 мм КД-2,	135
6,2	22,5	300	»	40—120	97,5	1,75	Кокс доменный 80—15 мм КД-IV,	127
6,2	16	228	»	40—120	97,4	1,74	Кокс доменный 80—25 мм КД-2,	124,3
4,7	16	180	Мел	40—120	97,8	1,75	То же	155
4,5	21	110	Известняк	80—200	97,5	2,0	» »	204
4,5	18	200	»	40—120	97,5	1,74	Кокс доменный 80—15 мм КД-IV	128
3,7	11,5	116	Мел	40—120	98,5	1,85	Антрацит АК, 100—50 мм	186
Металлургическая промышленность								
4,5	17,5	160	Известняк	40—100	97,6	1,65	Кокс, коксик, 40—25 мм	155'
3,7	23	100	»	40—100	98,2	1,8	Кокс доменный КД-2, 40—25 мм	176
2,63	12,9	70	»	25—150	98,2	1,5	То же	137
2	8,8	64	»	40—100	98,2	1,8	» »	148
Строительных материалов								
4,3	19	160	»	70—200	96,5	1,8	Антрацит АК, 100—50 мм	170
3,2	18	90	»	40—100	96,7	—	Антрацит АМ, АС, 25—6 мм	164
3,2	12	66	»	80—120	96,2	1,8	То же	188,5
Сахарная промышленность								
3,2	18	105	»	40—80	97,6	1,73	Кокс, 60—25 мм	130

Продолжение табл. 31

Расход электроэнергии на 1 т физической извести, кВт·ч/т	Удельный съем извести		Характеристика извести		Степень фоссонации шары, %	Концентрация газов в отходящих газах, %			Давление дутьевого воздуха, кПа	Вынос пыли из печи, кг/ч	Коэффициент использования рабочего времени, %
	t/(м ² ·сут)	t/(м ³ ·сут)	содержание активных CaO+MgO, %	содержание остаточной CO ₂ , %		CO ₂	CO	O ₂			
<i>Химическая промышленность</i>											
1,6	13,6	0,6	80—85	11—6	85—92	39,5	2,4	0,6	3,50	Нет св.	86
9,2	13,65	0,58	84,6	10—7	87—91	40	2	0,5	5,00	То же	85
9,2	7,6	0,53	76	12—10	82—86	39	3	0,8	6,00	16,8	93
8,8	11,2	0,7	82	9—8	83—89	40	3,5	0,6	6,00	16,8	75
12,4	6,9	0,33	92,5	1,8	97,5	Нет св.	Нет св.	Нет св.	1,20	80	95
9,2	12,6	0,7	76	11—9	84—87	40	2,7	0,8	3,5	Нет св.	90
7,3	10,8	1,0	96	1—2	98	40	3	0,7	5,0	То же	90
<i>Металлургическая промышленность</i>											
18,1	10	0,48	80	11—7	86—90	Нет св.	Нет св.	Нет св.	7,0	Нет св.	95
22,6	9,4	0,5	92	4,1	94	То же	То же	То же	6,5	То же	96
17,6	12,9	1,08	53	21	86	» »	» »	» »	4,5	» »	96
—	20,4	1,91	93,2	1,8	97,8	» »	» »	» »	Разрежение	42	93
<i>Промышленность строительных материалов</i>											
12	11,0	0,62	80	9—5	86—92	» »	» »	» »	3,5	—	86
8,9	8,9	0,64	82	8—5	89—93	» »	» »	» »	3,0	120	93
7,4	9,9	0,83	72	—	80—84	» »	» »	» »	2,0	140	99
<i>Сахарная промышленность</i>											
15	13,1	0,73	90—92	4—3	91—96	31	2,5	4,5	5	Нет св.	45

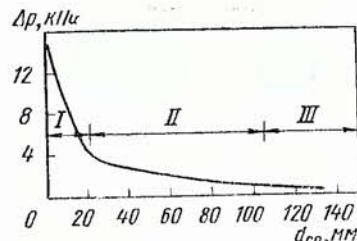


Рис. 23. Зависимость потери давления газов в шахтной печи ΔP от среднего размера кусков шихты $d_{ср}$:
I — область турбулентного потока;
II — переходная область; III — область ламинарного потока

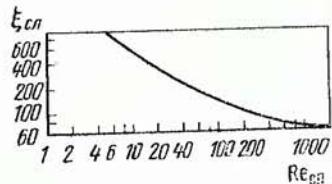


Рис. 24. Зависимость $\xi_{сл} = f(Re_{сл})$

Плотность ρ_g , динамическая вязкость η_g и кинематическая вязкость v_g рассчитываются по составу отходящих из зоны газов.

Плотный слой характеризуется неравномерным распределением скоростей газового потока по поперечному сечению шахты: скорость у стен шахты на 30–70% выше, чем в центре. При значениях Re до 110 и $D_{ш}/d_m \leq 30$ скорость вычисляют по следующему уравнению [4]:

$$v_r = v_R (0,7 + 0,3 r^2/R^2). \quad (23)$$

С увеличением числа Re (турбулизацией потока) неравномерность распределения скоростей уменьшается.

Улучшение равномерности движения газов в шахте достигается при центральном вводе воздуха в зону охлаждения печи через дутьевой конус.

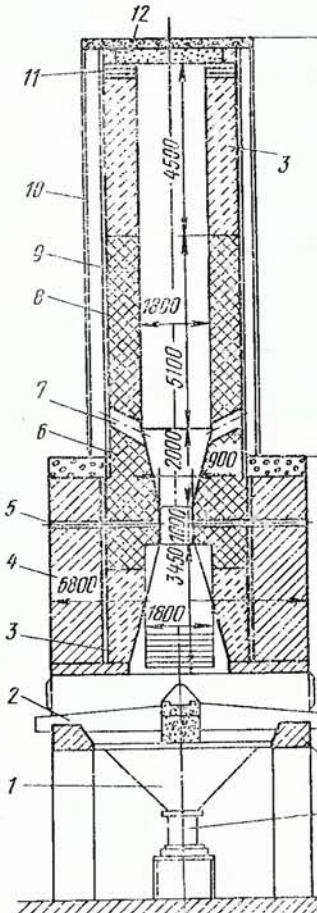


Рис. 25. Реконструированная шахтная печь Росстромпроекта, работающая на Криворожском металлургическом заводе им. В. И. Ленина:
1 — бункер извести; 2 — механизм выгрузки со ступенчатыми карманами; 3 — футеровка из шамотных кирпичей; 4 — кладка из красных кирпичей; 5 — отверстия для установки периферийных диффузионных горелок; 6 — хромомагнезиальный кирпич; 7 — глязедки; 8 — теплоизоляционная засыпка мокрым трепелом; 9 — кокс; 10 — двухтавровая балка; 11 — отверстие для отвода газов; 12 — плита длякрытия; 13 — опорная плиза; 14 — качающийся питатель

Технико-экономические показатели работы шахтных пересыпных печей

Технико-экономические показатели работы шахтных пересыпных печей в различных отраслях народного хозяйства СССР приведены в табл. 31.

4. УСТРОЙСТВО И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕЧЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА ГАЗООБРАЗНОМ ТОПЛИВЕ

Выпуск извести в шахтных печах, работающих на газообразном топливе, увеличивается во всех странах. В нашей стране в 1976 г. в печах этого типа обожжено в черной металлургии более 40%, в промышленности строительных материалов более 26% общего выпуска извести. Производство извести на газообразном топливе сопровождается улучшением ее качества, снижением себестоимости, улучшением условий труда обжигальщиков.

В промышленности широкое применение нашли печи конструкции Росстромпроекта, Союзгипростроя, Гипромеза, НИИстромпроекта [3–5]. В печах конструкции Росстромпроекта производительностью 150 т/сут ввод газообразного топлива в шахту щелевидной формы осуществляется при помощи периферийных диффузионных торелок (рис. 25).

Проектные показатели шахтной печи, работающей на природном газе, конструкции Росстромпроекта производительностью 150 т/сут

Высота печи, м:	
рабочая	18
строительная	26,6
Размер шахты (в свету), м:	
в зонах подогрева и обжига	1,6×8
на уровне механизма выгрузки	2,12×8
Площадь поперечного сечения в зоне обжига, m^2	12
Полезный объем шахты, m^3	230
Модельные съемы извести:	
$t/(m^2\cdot\text{сут})$	12,5
$t/(m^3\cdot\text{сут})$	0,65
Расход условного топлива на обжиг, кг/т извести	145
Тип дозирующего устройства	185-ПТ
Загрузочное устройство:	
тип	Скиповое (два)
механизм загрузки	Два трехбункерных затвора

Выгрузочное устройство:

механизм выгрузки

Ступенчатые каретки (8 шт.)

герметизирующий механизм

Качающийся питатель

Система ввода в печь топлива

Периферийные горелки (28 шт.)

Тип дымососа

Д-13,5

Характеристика футеровки:
в зоне подогрева и охлаждения

Кирпич марки ШУД-37
толщиной 230 мм

в зоне обжига

Кирпич хромомагнезито-
вой марки ХМ толщи-
ной 230 мм

Толщина кожуха, мм

10

Показатели печей конструкции Союзгипростроя производительностью 50, 100 и 200 т/сут приведены в табл. 32. В печах на газообразном топливе применены такие же загрузочные устройства, как и в пересыпных. В основу системы ввода в печь газообразного топлива принятые водоохлаждаемые балочные горелки и периферийные горелки.

С помощью балочных горелок, расположенных в один или два яруса, в приосевую область печи вводится топливо и часть воздуха для его полного сжигания, а при помощи периферийных горелок топливо подается в пристенную область печи (рис. 26).

В 1973 г. Союзгипрострой разработал технический проект печи производительностью 500 т/сут (см. табл. 32). Газообразное топливо вводится в шахту в два яруса: в приосевую область — через центральную (подовую) горелку и расположенные в зоне охлаждения восемь консольных фурменных горелок; в пристенную область — через 16 консольных фурменных горелок, расположенных в зоне обжига. В горелки нижнего яруса отдельным вентилятором могут подаваться рециркуляционные газы.

Шахтные печи конструкции НИИстромпроекта (г. Ташкент) производительностью 100 и 200 т/сут приведены в табл. 33. Принципиальное отличие печей НИИстромпроекта от печей Союзгипростроя состоит в конструкции горелочных устройств (рис. 27).

Шахтная печь конструкции ВНИИстрома производительностью 100 т/сут (рис. 28) отличается от соответствующей печи Союзгипростроя конструкцией и расположением горелочных устройств.

Топливо поступает в печь через два яруса консольных фурменных горелок (10 в зоне обжига и 4 в зоне охлаждения). Основным преимуществом использования консольных горелок является возможность их быстрой замены на ходу печи. Срок службы горелок из жаропрочной стали 2–3 года [20].

Шахтная печь конструкции Гипромеза производительностью 150 т/сут (рис. 29) включает шахту, механизмы загрузки и выгрузки материала и расположенные в два яруса водоохлаждаемые балочные горелки (см. табл. 33).

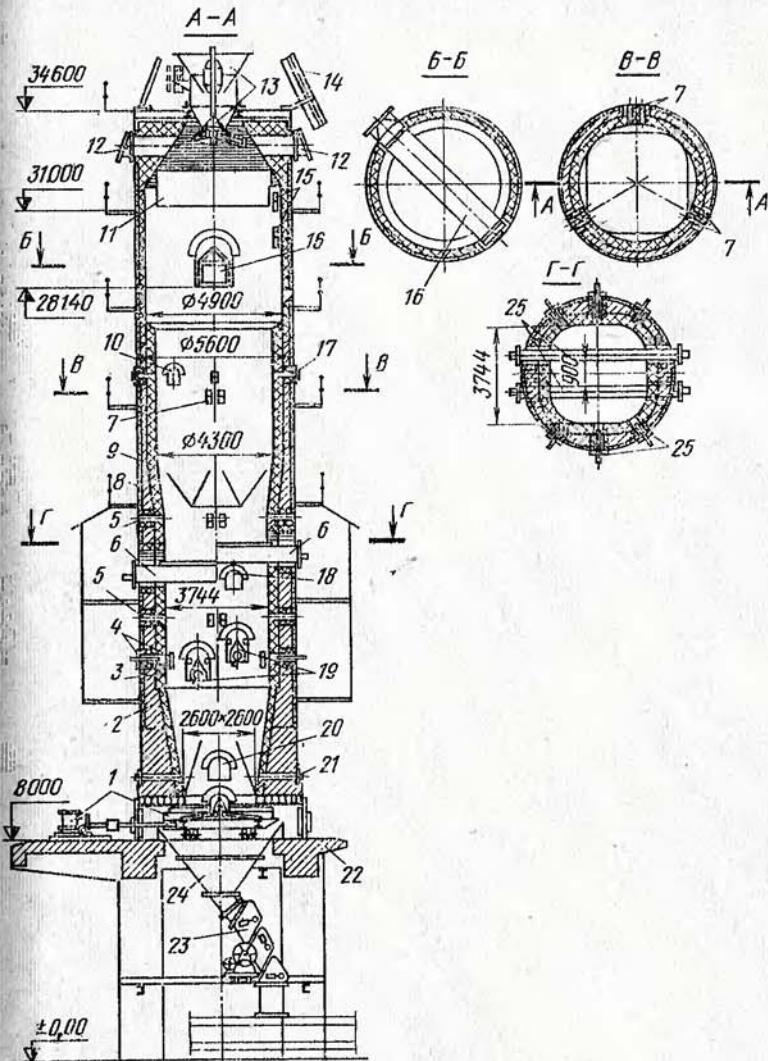


Рис. 26. Шахтная печь на газообразном топливе конструкции Союзгипростроя производительностью 200 т/сут:
1 — механизм выгрузки; 2 — кладка из легковесного кирпича; 3 — футеровка;
4, 25 — периферийные горелки; 5 — отверстия для подачи первичного воздуха;
6, 19 — балочные горелки; 7 — отверстия для датчиков КИП; 8 — слой теплоизоляционной засыпки; 9 — кожух; 10, 18, 20 — лазы; 11 — отбойная обечайка;
12 — взрывной клапан; 13 — двухклапанный механизм загрузки; 14 — склоновый подъемник; 15 — отверстия для датчиков уровня шихты; 16 — короб для отсоса газов; 7, 21 — гляделки; 22 — плита; 23 — шлюзовой затвор; 24 — бункер извести

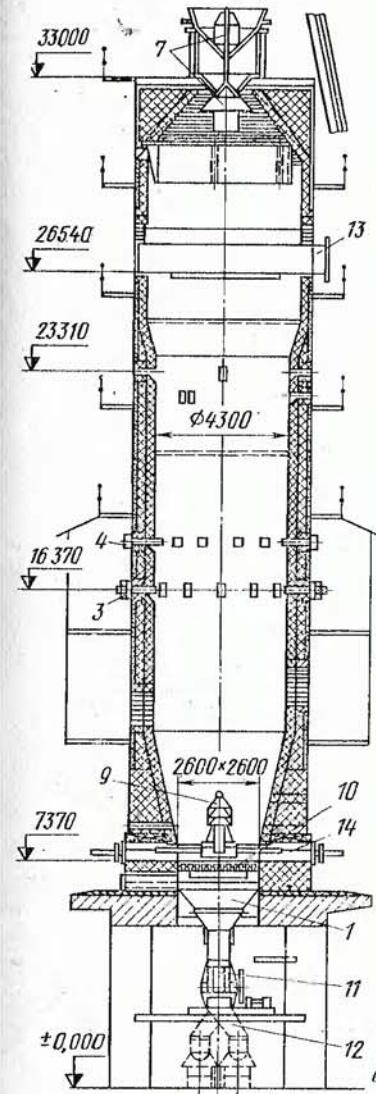
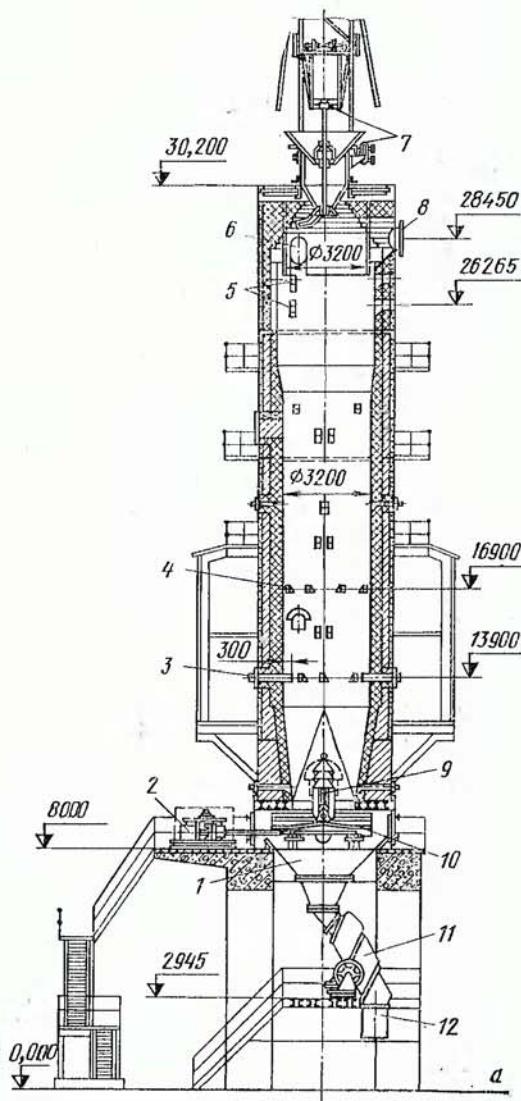


Рис. 27. Шахтные печи, работающие на газообразном
а — производительностью 100 т/сут; б — производи-
тельностью 200 т/сут; 1 — бункер извести;
2 — привод механизма выгрузки; 3 — консольные
датчики радиоактивного указателя уровня; 4 — пре-
изм загрузки; 5 — патрубок для отвода газов; 6 —
механизм выгрузки; 11 — шлюзовой затвор; 12 —
балка-рас-

топливе, конструкции НИИстремпроекта:
тельностью 200 т/сут; 1 — бункер извести;
фурменные горелки; 5 — отверстия для
дохранильно-взрывной клапан; 7 — меха-
конусная центральная (осевая) горелка;
тека; 13 — короб для отсоса газов; 14 —
секатель

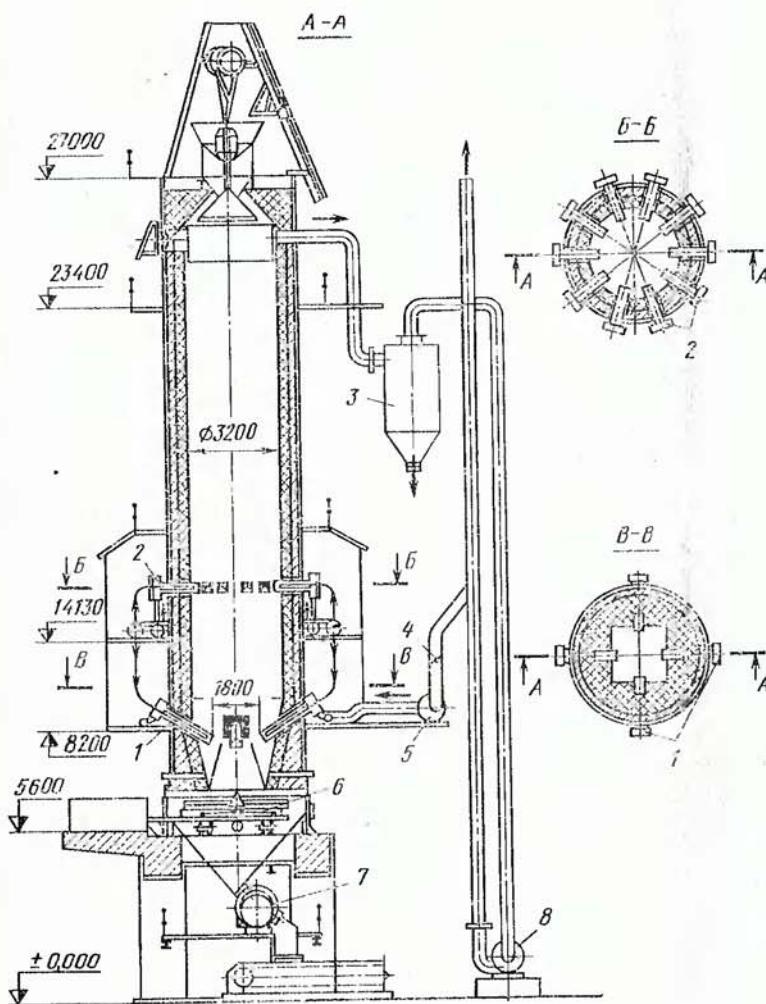


Рис. 28. Шахтная печь на газообразном топливе конструкции института ВНИИстром производительностью 100 т/сут:

1, 2 — консольные фирмсенные горелки; 3 — группа циклонов НИИгаз; 4 — поворотно-регулирующая заслонка (ПРЗ); 5 — вентилятор подачи рециркуляционных газов; 6 — механизм выгрузки; 7 — барабанный затвор; 8 — дымосос

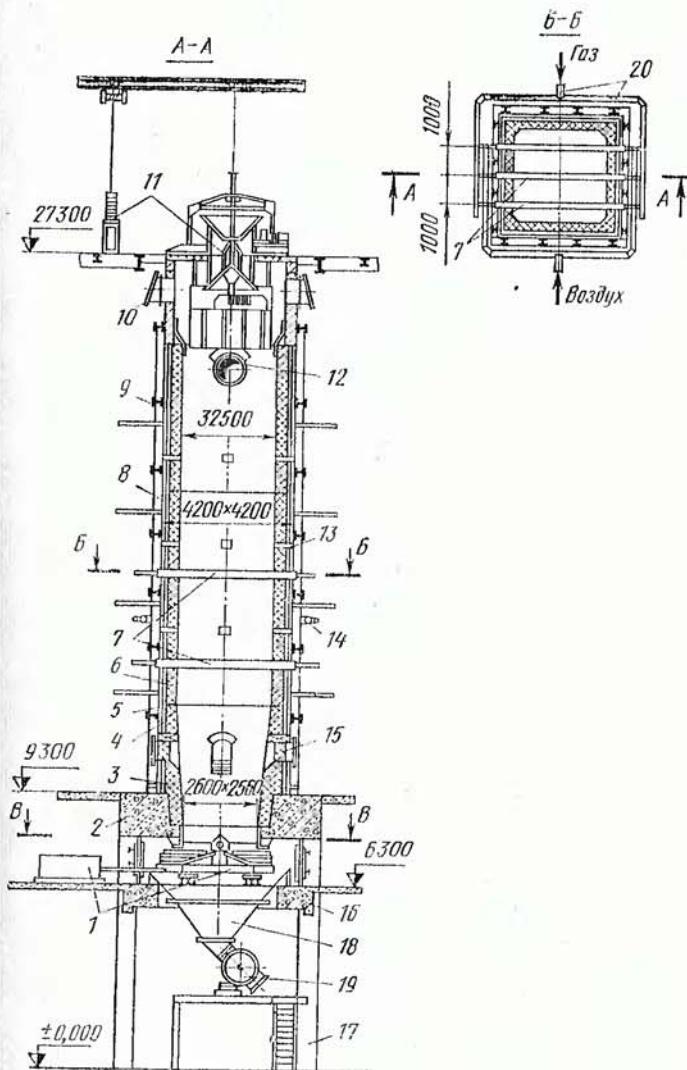


Рис. 29. Шахтная печь на газообразном топливе конструкции Гипромеза:

1 — механизм выгрузки; 2, 16 — плита; 3 — кирпич шамотный; 4 — кирпич шамотный легковесный; 5 — асбестовый картон; 6 — кирпич магнезиохромитовый; 7 — балочные горелки; 8 — кожух; 9 — балка; 10 — паровой клапан; 11 — механизм загрузки; 12 — отверстие для отходящих газов; 13 — ввод воздуха; 14 — коллектор воздуха; 15 — лаз; 17 — колонна; 18 — бункер; 19 — барабанный затвор; 20 — газопровод

74

Таблица 32
Проектные показатели шахтных печей, работающих на газообразном топливе,
конструкции института «Союзгипрострой»

Показатели	Производительность, т/сут				
	50	100	200	500	5
1	2	3	4	5	
Год выпуска	1963	1970	1964	1973	
Высота печи, м:					
рабочая	18,2	18	19	24	
строительная	27,2	30,2	34,6	45	
Внутренний диаметр шахты, м:					
в зоне подогрева	2,73/2,5	3,43/3,2	4,9/4,3	7,22	
в зоне обжига	2,5	3,2	3,74×3,74	7,15	
на уровне механизма выгрузки	1,6×1,6	2,2×2,2	2,6×2,6	5×5	
Удельный съем извести:					
т/(м ² ·сут)	10,2	12,5	14,7	12,5	
т/(м ³ ·сут)	0,56	0,7	0,8	0,57	
Расход условного топлива на 1 т извести, кг	156	156	155	158	
Сырье					
Известь					
Дозирующее устройство					
Загрузочное устройство:					
тип					
Механизм загрузки					
Механизм выгрузки					
Известняк класса А (ОСТ 21-27-76) средней прочности и прочный					
1-й и 2-й сорт (ОСТ 9179-77)					
Питатель электровибрационный 1855-ПТ					
Скиповое					
Двухклапанный с поворотной чашей					
Движущаяся колосниковая решетка					
Двойная движущаяся колосниковая решетка					

Продолжение табл. 32	Производительность, т/сут				
	1	2	3	4	5
Герметизирующий механизм	Барabanный затвор	Шлопзовой затвор			
Система звода газообразного топлива:					
горелочное устройство					
расположение горелок					
общее число горелок					
масса горелок, кг					
расход воды на охлаждение горелок, м ³ /с					
Дымосос:					
типа					
мощность привода, кВт	Д-12	Д-13,5	Д-13,5	Д-13,5	
дутьевой вентилятор:	55	55	75	75	
типа					
мощность электродвигателя, кВт	ВВД-8У	ВВД-8У	ВД-10	ВД-10	
Установка для очистки отходящих газов	Четыре циклона типа ЦН-15	Шесть циклонов типа ЦН-15 диаметром 550 мм со сборником	Восемь циклонов типа ЦН-15 диаметром 600 мм со сборником	28	—

1	2	3	4	5
Предохранительный варыбной клапан диаметром 0,8 м, шт.	1	1	2	2
Установленная мощность электродвигателей, кВт	91	98	130,2	295
Кладка печи:				
футеровка в зоне подогрева:				
кирпич марки ШУД-37 толщиной, мм	230	345	230—345	345
футеровка в зоне обжига				
кирпич марки ШУД-37 толщиной, мм	345			
шамотный доменный кирпич марки ШУД-37 толщиной 345 мм				
Теплонизоляция в зоне обжига:				
кирпич марки ШЛБ-1,3 толщиной, мм	230	230	230—500	460
засыпка трепелом с толщиной слоя, мм	67	65	65	65
Футеровка в зоне охлаждения:				
кирпич марки ШУД-37 толщиной, мм	345	345	230	345
Толщина кожуха, мм	8	10	10	16
Расход оgneупорного кирпича, т	200	295	368	1605
В том числе:				
магнезитохромитового шамотного доменного шамотного общего назначения	115	161	213	500
шамотного легковесного	34	74	60	410
расход стали разной, т	51	60	95	220
	62	89,7	110,8	475
				276

Таблица 33

Проектные показатели шахтных печей, работающих на газообразном топливе

Показатели	Производительность, т/сут				
	100	200	300	400	500
Разработчик проекта	НИИстремпроект 1971	ВНИИстригом 1972	Гипромез 1966	Гипромез 1970	НИИстремпроект 1970
Год выпуска					
Высота печи, м:					
рабочая	48	18	18	17	19
стопоральная	30,2	29	29	27,3	34,6
Внутренний диаметр (сечение) шахты, м:					
в зоне подогрева (верх/низ)	3,45/3,2 (2,2×2,2) 8	3,45/3,2 (2,2×2,2) 8	3,45/3,2 (2,2×2,2) 8	(3,25×3,25) (3,25×3,25) 10,35	4,99/4,3 4,3 (2,6×2,6) 15,1
в зоне обжига					
на уровне механизма выгрузки					
Средняя площадь попрерного сечения в зонах обжига и подогрева					
Полезный объем шахты (приближительно), м ³	143	143	143	177	265
Удельный объем известняка:					
т/(м ² .сут)	12,5	12,5	12,5	14,5	13,6
т/(м ³ .сут)	0,7	0,7	0,7	0,85	0,75
Расход условного топлива, кг/т извести	155	151	151	170	155
Вид топлива					
Природный газ	35,7				35,7

Продолжение табл. 33

Сырец	Известняк класса А (ОСТ 21-27-76)	Известняк класса (ГУ 124-71) 1	14-1-А (ОСТ 21-27-76)	5
Сорт кальциевой известки (ГОСТ 9179-77) Тип дозирующего устройства Механизм загрузки	Плитатель электробибрационный типа 185-ПТ Двухклапанный с поворотной чашей Поворотная чаша, Двухклапанный с прямой расстановкой конусов и конструкции Союз-вакуумной обечайки гипрострона конструкции Союзгипрострона	1—2	1	1—2
Механизм выгрузки Герметизирующий механизм Система звода топлива; горелочное устройство	Движущаяся колосниковая решетка с гидравлическим приводом. Щелевой затвор	Барабанный затвор	Щелевой затвор	
расположение горелок	Подовая горелка в консольные фурнитурные горелки с комбинированными фурнитурными горелками	Водоохраняющие балочные горелки	Подовая горелка в соединении с консольными фурнитурными горелками	
общее число горелок	В два яруса по восемь горелок и зоне обжига и четырьмя в зоне охлаждения	В два яруса (10 в три балочные горелки одна подовая	В два яруса по два яруса (10 в три балочные горелки одна подовая	
Масса воды на охлаждение горелочных устройств, м ³ /с:	17 2,46	14 1,9	6 .12	25 3,2

Продолжение табл. 33

1	2	3	4	5
В летнее время В зимнее время	—	—	—	—
Вентилятор подачи рециркуляционных газов: типы объемный расход, м ³ /с напор, Па температура газов, °С мощность электродвигателя, кВт	ВВД-8 0,7 3250 240 7,5	Ц9-57-3 0,56 2000 180 2,8	—	0,042 0,017
Дымосос: типы объемный расход, м ³ /с напор, Па мощность электродвигателя, кВт	Д-13,5 10,42 2900 55	Д-13,5 9,17 3000 55	Д-13,5 14,45 3100 75	Д-15,5 18,05 3950 100
Дутьевой вентилятор: типы объемный расход, м ³ /с напор, Па мощность электродвигателя, кВт	ВВД-8 2,46 3400 22	ВД-3 0,5 1400 4,5	ВД-10 3,73 2600 22	ВД-10 5 2650 22
Установка для очистки отходящих газов	Шесть циклонов типа ЦН-15 диаметром 650 мм со сборником	—	Восемь циклонов типа ЦН-15 диаметром 750 мм со сборником	Восемь циклонов типа ЦН-15 диаметром 800 мм со сборником

Продолжение табл. 33

1	2	3	4	5
Число предохранительных взрывных клапанов диаметром 800 мм, шт.	1	1	2	2
Установленная мощность электродвигателей, кВт	101	74,3	135	176,3
Кладка печи:				
футеровка в зоне подогрева: кирпич марки ШУД-37 толщиной, мм	230—345	345	345	230—345
футеровка в зоне обжига: кирпич марки ШЛБ-1,3 толщиной, мм	230	345	345	230
футеровка в зоне охлаждения: шамотный доменный кирпич марки ШУД-37 толщиной, мм	230	10	7	10
Толщина кожуха, мм	10	284	Нет сб.	365
Расход отечественного кирпича, т	275	152	То же	208
В том числе:		72	>	62
марки ШУД-37	143	60	>	95,5
шамотного общего назначения	72	88,7	>	112,2
марки ШЛБ-1,3	60			
Расход стали разной, т	89,7			

5. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПЕЧЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА ГАЗООБРАЗНОМ ТОПЛИВЕ

Физико-химические процессы при горении газообразного топлива. Горение газообразного топлива представляет собой совокупность сложных аэродинамических, тепловых и химических процессов. Первым из них является смесеобразование, которое предшествует горению газообразного топлива [6].

Различают кинетическое и диффузионное горение горючей газо-воздушной смеси. При организации кинетического горения смесь с минимально необходимым или избыточным количеством воздуха образуется до ввода в рабочее пространство (шахту, топку); в рабочем пространстве происходит нагревание и воспламенение смеси, а также стабилизация фронта пламени. При диффузионном горении газ и воздух подводятся в рабочее пространство раздельно; образование горючей смеси, ее нагревание и воспламенение происходят в шахте или топке. Промежуточный вид горения наблюдается при предварительном смешении газа с недостаточным количеством воздуха; в этом случае полное сгорание газа будет происходить при подводе вторичного воздуха.

Горение газообразного топлива — цепная реакция, поэтому превращение исходных веществ топлива в конечные происходит не сразу, а с образованием промежуточных продуктов, содержащих химически активные атомы водорода, кислорода, гидроксильные радикалы, которые легко вступают в дальнейшие реакции с образованием как конечных продуктов (CO_2 , H_2O и т. п.), так и новых активных центров (CO , H и т. п.).

Реакция горения газа может начаться в результате самовоспламенения смеси или под влиянием раскаленного куска материала (устойчивого микроФакела). Предельная температура, при которой происходит самоускорение реакции взаимодействия молекул газа и воздуха до воспламенения смеси, называется температурой самовоспламенения (табл. 34). Эта температура зависит от состава смеси, свойств горючего газа, интенсивности теплоотдачи от газов к шихте, стенкам рабочей камеры.

Горение топлива в условиях самовоспламенения происходит с большой скоростью и называется тепловым взрывом. В отличие от теплового взрыва сгорание всей смеси от микроФакела (раскаленного камня) происходит при концентрации горючего газа в пределах его воспламеняемости (взрываемости). За этими пределами взрыва смеси (детонационное горение) не происходит, а имеет место лишь горение возле запала, которое не распространяется на всю смесь. В табл. 35 даны пределы воспламенения забалластированных газо-воздушных смесей.

Важной характеристикой процесса горения газов является нормальная скорость распространения пламени c_n . Величина c_n тем больше, чем выше начальная температура смеси, больше коэффициент температуропроводности смеси, выше турбулентность потока, я уменьшается для забалластированных смесей (табл. 36, 37).

При сжигании природных газов в рабочем пространстве печи между моментами ввода газа и получением конечных продуктов горения происходят процессы термического распада углеводородов и цепные реакции окисления. В результате наряду с конечными продуктами окисления (CO_2 и H_2O) в продуктах сгорания газа содер-

Таблица 34

Температура самовоспламенения и пределы воспламенения газов в смеси с воздухом

Газ	Температура самовоспламенения, °С	Пределы воспламенения смеси (объемное содержание газа в смеси в % при нормальных условиях)	
		нижний	верхний
Коксовый . . .	300—500	7,0	21
Метан . . .	645—690	4,5	13,5
Доменный . . .	530	35	75
Сланцевый . . .	700	6,1	35

Таблица 35

Пределы воспламенения газов в смеси с инертными газами в зависимости от соотношения их объемов M

Отношение объема инертного газа к объему горючего M	Пределы воспламенения газов, %						
	CO+N ₂	CO+N ₂	H ₂ +N ₂ O	H ₂ +CO ₂	H ₂ +N ₂	CH ₄ +CO ₂	CH ₄ +N ₂
0,5	20—69	20—73	6—72	6—71	6—74	8—20	8—20
1	30—66	27—74	9—72	9—69	9—74	11—23	11—24
2	48—61	40—74	12—72	12—67	12—75	16—27	16—30
3	—	55—73	20—72	18—66	18—76	25—30	21—35
4	—	68—72	25—72	22—65	22—77	—	28—39

Таблица 36

Максимальная скорость распространения пламени смесей газов с воздухом u_{\max}

Газ	Концентрация газа (%), в смеси с u_{\max}	u_{\max} , см/с	Газ		Концентрация газа (%), в смеси с u_{\max}	u_{\max} , см/с
			Газ	Газ		
Водород . . .	38,5	483,0	Пропан . . .	4,6	82	
Окись углерода . . .	45	125,0	Этилен . . .	7,1	142,0	
Метан . . .	9,8	67	Коксовый . . .	17	170	
Этан . . .	6,5	85	Сланцевый . . .	18,5	130	

Таблица 37

Влияние начальной температуры смеси, коэффициента расхода воздуха α , среднего диаметра кусков материала в шахте $d_M^{\text{ср}}$ и коэффициента инертности смеси M на скорость распространения пламени при сжигании природного газа (метана) в шахтной печи [21].

Температура подогрева смеси, °С	Скорость распространения пламени u_H , см/с			
	$d_M^{\text{ср}} = 25 \text{ мм}$		$d_M^{\text{ср}} = 66 \text{ мм}$	
	$\alpha = 1; M=0$	$\alpha = 1$	$\alpha = 1,5$	$\alpha = 1$
700	249	45/42	48/45	52/48
800	303	55/50	58/55	63/58
900	363	65/61	70/66	77/70
1000	426	77/71	82/77	89/82

Примечание. В числителе при $M=2$, в знаменателе при $M=3$.

жается CO, H₂, элементарный углерод и продукты неполного окисления (формальдегид и др.).

Элементарный углерод образуется в факеле в виде мельчайшей сажистой взвеси. При организации кинетического горения природного газа элементарный углерод не образуется. Частичное предварительное смешение газа с воздухом в зависимости от ряда условий приводит к образованию различного количества сажистого углерода. При хорошем смешении газа с воздухом ($\alpha=0,5 \div 0,6$) углеводороды предварительно окисляются до альдегидов, которые горят при подмешивании вторичного воздуха без заметного выделения сажистого углерода (пламя прозрачное, слегка окрашенное).

Если смешивание газа с воздухом происходит медленно и сопровождается подогревом смеси (например, при вводе газа через фон охлаждения печи), то выделяющийся углерод значительно больше и образуется сажистый факел [21].

Степень черноты сажистого факела выше, чем прозрачного, потому коэффициент теплоотдачи от газов к материалу от сажистого факела больше. Наибольшую степень черноты имеет факел с размерами частиц сажи от 0,4 до 4 мкм.

Элементарный углерод в виде сажи удается полностью скечь только при определенной организации ввода и сжигания газообразного топлива в шахтной печи. Влияние несгоревшего элементарного углерода не ограничивается только увеличением удельного расхода топлива в печи, а проявляется также в сокращении срока службы футеровки.

Горелочные устройства для шахтных печей. Горелочное устройство предназначено для равномерного распределения газообразного топлива по поперечному сечению шахты. Особенностью горелочных устройств, применяемых в шахтных печах для производства известняка, является ограничение температуры горения топливной смеси пределом 1200—1350°C.

Ввод газообразного топлива в печь с щелеобразным сечением шахты при помощи периферийных диффузионных горелок сопровождается развитием в пристенной области температуры 1350—1400°C, что влечет за собой быстрый выход из строя шамотной футеровки и выпуск извести с одновременным содержанием «пережога» и «недожога». Сооружение в шахте пережима из хромомагнезитового огнеупора (рис. 25) или установка вместо обычных периферийных горелок консольных типа ГФИ увеличивает стойкость футеровки и способствует равномерному обжигу известняка [3].

Горелка типа ГФИ (табл. 38) конструкции ВНИИстрема (рис. 30) выполняется в двух вариантах. В варианте *a* горелка монтируется в пределах зоны обжига печи, в варианте *b* — в зоне об-

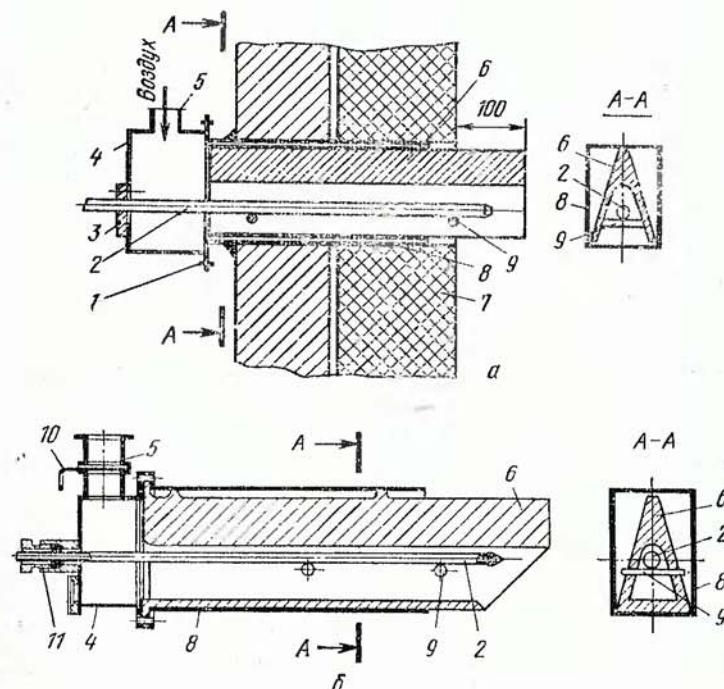


Рис. 30. Консольная фурменная горелка типа ГФИ конструкции института «ВНИИстрем»:

a, b — варианты исполнения; 1 — болт; 2 — горелочная труба; 3 — смотровой лючок; 4 — распределительная коробка; 5 — патрубок для ввода воздуха или рециркуляционных газов; 6 — предохранительная форма; 7 — футеровка печи; 8 — монтажная форма; 9 — опорные крепления; 10 — шибер; 11 — уплотнение

жига и зоне охлаждения печи. В зоне охлаждения печи горелка ГФИ устанавливается под углом 15° к горизонту [20, 22]. Материал предохранительной формы — жаропрочная сталь марки Х17Н13МТ2, остальные детали выполнены из обычной стали.

При установке горелок типа ГФИ в зоне обжига предохранительная форма охлаждается воздухом в количестве 20—30% от не-

Таблица 38

Техническая характеристика горелок типа ГФИ
(при давлении природного газа на входе 4—5 кПа)

Тип	Тепловая нагрузка, кВт	Пределы регулирования расхода газа, м ³ /с	Диаметр сопла, мм	Предохранительная форма		Масса горелки*, кг
				длина, м	масса*, кг	
ГФИ-1	233	0,167—0,5	8	0,9	170/188	190/284
ГФИ-2	233	0,167—0,5	8	1,0	190/210	285/305
ГФИ-3	233	0,25—0,5	8	1,1	210/230	305/325
ГФИ-4	233	0,25—0,5	10	1,3	245/270	345/365
ГФИ-5	350	0,33—0,6	12	1,45	270/300	365/395

* Числитель для варианта *a*, знаменатель для варианта *b*.

ходимого для сжигания топлива. Горелки, смонтированные в зоне охлаждения печи, охлаждаются рециркуляционными газами. При определенных условиях (сжигание забалластированного газа, скорость движения газо-воздушной смеси выше скорости распространения пламени и т. п.) рециркуляционные газы в эти горелки не подают.

Ввод природного газа в центр шахты через балочные горелки и в пристенную область через периферийные горелки (рис. 31) сопровождается образованием средней области, где топлива недоста-

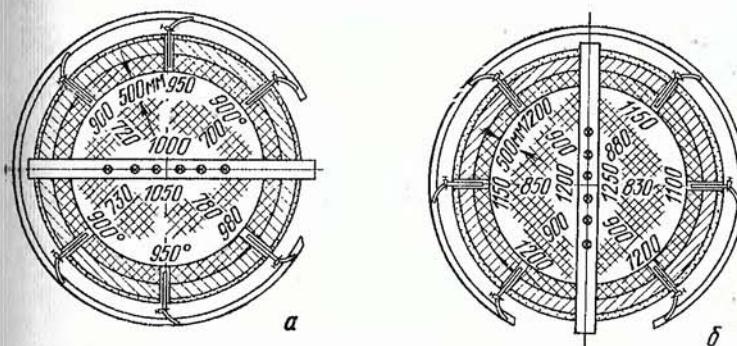


Рис. 31. Распределение температуры материала в зоне обжига шахтной печи диаметром 3,2 м, оснащенной водоохлаждаемыми балочными и периферийными горелками:

a — сечение на уровне верхнего яруса горелок; *b* — то же, нижнего яруса горелок

точно, в результате чего перепад температур в пределах сечения печи достигает 400—450°C [3, 5]. Для охлаждения балочной горелки требуется от 10 до 50 м³/ч воды, что сопровождается потерями тепла до 10% от его общего расхода на обжиг.

Осеневая (подсвая) горелка (рис. 32) монтируется на балке-расекателе механизма выгрузки или на сварной раме. В горелки конструкции НИИстремпроекта по отдельным трубам подают природный газ и рециркуляционные газы. В горелки конструкции Ивановского отделения Росоргтехстрома подают природный газ и воздух.

Природный газ большинства месторождений — метан, пределы воспламенения которого равны 4,5 и 13,5 %. Фактическая концентрация топлива в печи составляет 7—10 %, что находится в пределах горения метана. С целью увеличения нижнего предела горения метана и повышения температуры воспламенения горючей

смеси до 900—1000°C (рис. 33) в нее вводят рециркуляционные газы в количестве 2—3 м³ на 1 м³ природного газа.

Недостаток осевых горелок состоит в том, что при выходе их из строя приходится останавливать пещ для охлаждения и выгрузки материала на длительное время. Установка горелок типа ГФИ в зоне охлаждения пещи позволяет избавиться от недостатка осевых горелок [20, 22]. Любая из консольных горелок заменяется на работающей пещи без ее остановки или снижения производительности. Измерения температурного поля пещи диаметром 3,2 м подтвердили равномерное распределение газообразного топлива по поперечному сечению шахты, оснащенной горелками типа ГФИ (рис. 34).

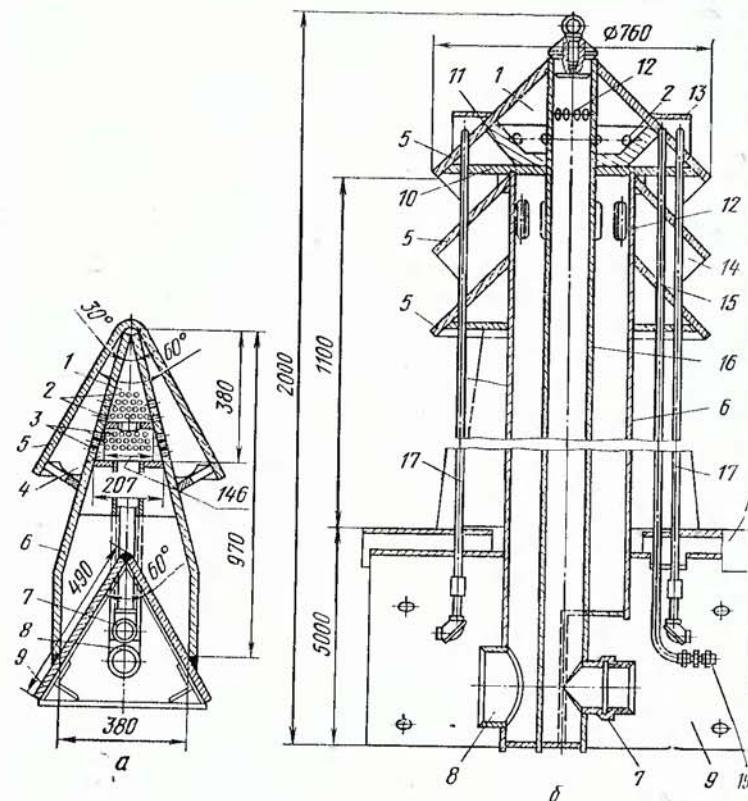
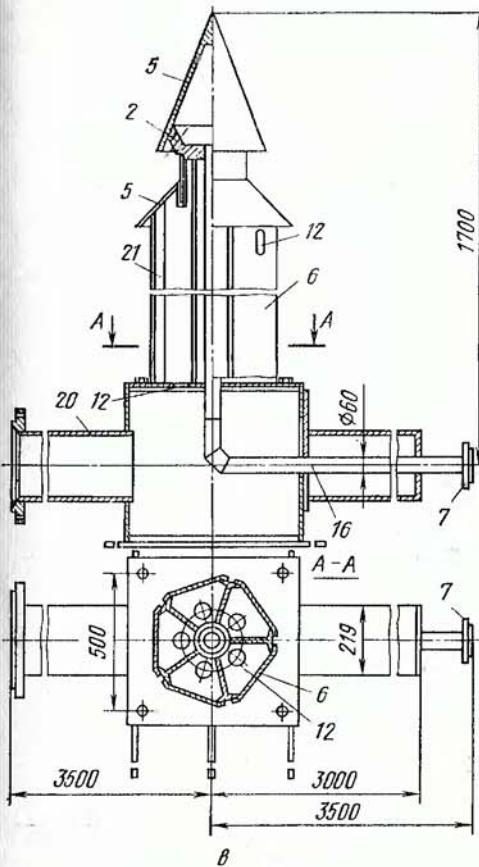


Рис. 32. Осеневая (подсвая) горелка:

а — пирамидальная горелка конструкции НИИстремпроекта; б — конусная горелка конструкции Росоргтехстрома; 1 — камера природного газа; 2, 3 — сопла; 4, 14 — камера патрубок природного газа; 8 — патрубок рециркуляционных газов; 9 — балка-соплами; 12 — отверстия; 15 — трубка отбора давления (разрежения) в печи; 11 — труба для подвода воздуха; 21 — перегородка



горелка конструкции НИИстремпроекта; б — конусная горелка конструкции рециркуляционного газа; 5, 13 — защитный козырек; 6 — корпус горелки; 7 — рассекатель механизма выгрузки; 10 — перфорированный диск; 11 — конус с 16 — газопровод; 17 — термометр ТХА; 18 — монтажный лист; 19 — фланец; 20 —

Особенности теплообмена в печи. В зоне обжига шахтной печи, работающей на газообразном топливе, теплообмен между потоками газов и материала осуществляется конвекцией и излучением. Объемный коэффициент передачи тепла k_V определяется из выражения [17]:

$$1/k_V = 1/\alpha_V + d_3^2/36 \lambda_M, \quad (24)$$

где α_V — объемный коэффициент теплоотдачи от газов к материалу [$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$], определяемый по формуле [17]:

$$\alpha_V = 186 k_w \omega_0^{0.9} T^{0.3} / d_3^{0.75}, \quad (25)$$

здесь $k_w = 0.1 \div 0.3$ — поправочный коэффициент для шахтных печей.

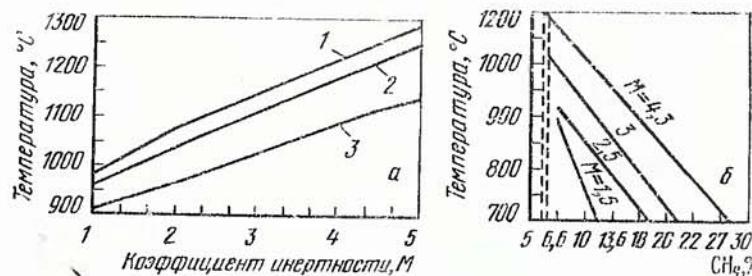


Рис. 33. Зависимость температуры воспламенения забалластированной газо-воздушной смеси (метан, рециркуляционные газы, воздух) от коэффициента инертности (M) (а) и концентрации метана (б):

1 — $a = 1,25 \div 1,3$; $d_M^{\text{cp}} = 19 \text{ мм}$; 2 — $a = 1,25 \div 1,3$; $d_M^{\text{cp}} = 25 \text{ мм}$; 3 — $a = 1,8 \div 2$; $d_M^{\text{cp}} = 25 \text{ мм}$

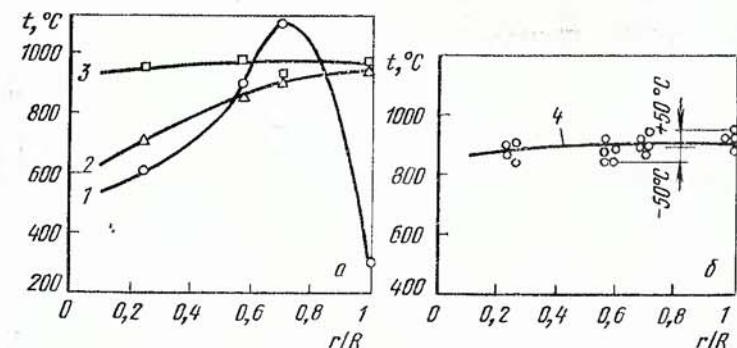


Рис. 34. Кривые распределения температуры поверхности материала в шахтной печи конструкции ВНИИструма в поперечном сечении, расположенным на уровне верхнего яруса горелок:

а — при пуске печи; б — при эксплуатации печи; 1 — при работе периферийных горелок верхнего яруса; 2 — через 1 ч после подключения горелок нижнего яруса; 3 — то же, через 2 ч; 4 — средняя за 5 сут; r — текущий радиус шахты; $R=1,6 \text{ м}$; $r/R=1$ — центр шахты

Технико-экономические показатели эксплуатации шахтных печей, работающих на газообразном топливе, в различных отраслях народного хозяйства приведены в табл. 39.

6. УСТРОЙСТВО И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕЧЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА ЖИДКОМ ТОПЛИВЕ

Мировое производство извести в шахтных печах, работающих на жидким топливом, в последнее десятилетие значительно выросло. Это вызвано как экономическими, так и качественными преимуществами использования жидкого топлива по сравнению с коксом.

В 1971—1974 гг. Союзгипростром разработал новые проекты шахтных печей на мазуте производительностью 50, 100 и 150 т/сут [5]. В этих проектах использованы результаты работы опытно-промышленных установок, а также опыт проектирования шахтных печей на мазуте в Венгерской Народной Республике.

В печах применена идентичная система подвода, подачи в форсунки и газификации мазута в топочных камерах, размещенных с торцовыми сторонами водоохлаждаемых балок. Мазут вводится в печь один нижний ярус. Балка второго яруса служит для разрыхления слоя материала. Печи оснащены аппаратурой для контроля и регулирования основных технологических процессов. Проектные характеристики печей и оборудования приведены в табл. 40.

Шахтная печь конструкции Союзгипрострому производительностью 150 т/сут. Печь (рис. 35) представляет собой цилиндрическую шахту, установленную на железобетонную плиту. Мазут подается в форсунки при температуре 115°C и давлении 2 МПа. Для его полной газификации в топочные камеры мельничным вентилятором типа ВМ-50/1000-11-у нагнетается газо-воздушная смесь с содержанием кислорода 12% при температуре 250°C.

Газы рециркуляции отбираются из печи через отверстие 10 и поступают вначале в трубопровод, затем в колцевой коллектор, и из него в форсунки четырех топочных камер. На трубопроводе имеется патрубок с поворотной заслонкой типа ПИРЗ, служащей для регулирования величины подсасываемого в трубопровод воздуха [23].

Шахтная печь конструкции ВНИИСП и НИИсиликатбетон производительностью 30 т/сут. В 1975 г. по проектам ВНИИСП (г. Киев) и НИИсиликатбетон (г. Таллин) реконструирована печь конструкции Союзгипрострому производительностью 30 т/сут. Отличительной особенностью печи является применение выносных топочных камер-газификаторов мазута (рис. 36). Топки расположены в один ярус. Расстояние между отверстиями камер, сообщающимися с шахтой, и решеткой механизма выгрузки 4 м.

Внесены изменения в конструкцию двухжелапанного механизма загрузки с поворотной чашей конструкции Союзгипрострому: предельный конус выполнен с диаметром основания 1,3 м и центральным углом, равным 90°. Такая конструкция конуса способствует загрузке в приемовую область шахты самой крупной фракции сырья, что приводит к лучшему прогреву материала в приемовой области высокотемпературными газами.

Таблица 39

Показатели эксплуатации шахтных печей, работающих на газообразном топливе

различных отраслях народного хозяйства СССР в 1974—1976 гг.

Характеристика печей			Горелочное устройство	Характеристика топлива			
диаметр шахты в зоне обжига, м	полезная высота шахты, м	производительность, т/сут					
			фракция, мм	ка известника	Характеристика топлива		
		Две балочные горелки (по восемь сопел в каждой) в два яруса					
2,5	18,2	49,3	50—150	99,5	1,74	Природный газ	35,5
2,5	17	27,8	50—150	99,5	1,72	То же	35,5
			Химическая промышленность	ка известника	Характеристика топлива		
		Две балочные горелки (по восемь сопел в каждой) в два яруса					
1,65×8	14,5	150	50—100, 100—150	97,8	1,75	Природный газ	35,5
1,8×8	15	120	40—80	97,5	1,7	Смесь природного и доменного газов	20
1,5×8	11	130	40—80, 80—130	99,4	1,8	Смесь коксового и доменного газов	11,5
4,3	18,3	130	60—100	97,5	1,75	Природный газ	35,6
3,74×3,74	19	160	40—120	97,5	1,7	То же	35,6
3,25×3,25	17	140	40—80	97,5	1,75	Коксовый газ	17,22
			Металлургическая промышленность	ка известника	Характеристика топлива		
		Две балочные горелки (по восемь сопел в каждой) в два яруса					
1,65×8	14,5	150	20 периферийных горелок в один ярус	97,8	1,75	Природный газ	35,5
1,8×8	15	120	20 периферийных горелок в пережиме 0,9×8 м в один ярус	97,5	1,7	Смесь природного и доменного газов	20
1,5×8	11	130	20 периферийных горелок в один ярус	99,4	1,8	Смесь коксового и доменного газов	11,5
4,3	18,3	130	Четыре балочные горелки (труба в трубе) в два яруса	97,5	1,75	Природный газ	35,6
3,74×3,74	19	160	Четыре балочные горелки и 12 периферийных в два яруса	97,5	1,7	То же	35,6
3,25×3,25	17	140	Шесть балочных водоохлаждаемых горелок в два яруса	97,5	1,75	Коксовый газ	17,22
			Промышленность строительных материалов	ка известника	Характеристика топлива		
		Осеняя конусная горелка НИИстремпроекта и один ярус периферийных горелок					
4,3	18,8	180	40—100, 70—150	98,8	1,69	Природный газ	34,7
3,2	18	119	12 консольных фурменных горелок в два яруса (четыре расположены в зоне охлаждения)	92	1,6	То же	35,6
3,2	18	88	Осеняя конусная горелка НИИстремпроекта и 16 фурменных (в два яруса)	96	1,85	» »	35,6

Продолжение табл. 39

Расход условного топлива на 1 т физической извести, кг	Расход электроэнергии на 1 т физической извести, кВт·ч/т	Удельный съем извести		Характеристика извести	Степень диссоциации сырья, %	Аэродинамический режим печи	Вынос пыли из печи, кг/ч	Коэффициент использования рабочего времени, %
		t/(м ² ·сут)	t/(м ³ ·сут)					
Химическая промышленность								
219	12	10	0,55	93,4	1,25	98,5	Под разрежением на выходе из печи 1300 Па; дымосос Д-12	Нет св.
272	21	6	0,34	90,8	2,91	96,3	То же	То же
Металлургическая промышленность								
129	—	12,1	0,83	87	6,5	91	Под разрежением на выходе из печи 2000 Па	Нет св.
117	21,4	9,2	0,63	85,7	8,2	89	Под разрежением на выходе из печи 2450 Па, дымосос Д-13,5	То же
163	20,8	12	1,09	91	6,9	91	Под разрежением на выходе из печи 2250 Па, дымосос Д-13,5	» *
194	23	7	0,4	85	7	90,5	Под разрежением на выходе из печи 2450 Па, дымосос Д-13,5	14
156	18,1	11,8	0,62	88	6	92	Под разрежением на выходе из печи 2750 Па, дымосос Д-13,5	16,5
148,6	21	13,53	0,79	90,3	3—4	95,3	Под разрежением на выходе из печи 5500 Па, зона охлаждения под давлением 5600 Па, дымосос ВВД-II, вентилятор ВМ-40/750-11Б	Нет св.
Промышленность строительных материалов								
182	16,8	12,3	0,63	85	6	86	Под разрежением на выходе из печи 2650 Па, дымосос Д-15,5	Нет св.
136	18	14,7	0,87	80	6,8	90	Под разрежением на выходе из печи 2500 Па, дымосос Д-13,5	19
165	22	10,5	0,62	81	8	89	Под разрежением на выходе из печи 2100 Па, дымосос Д-13,5	Нет св.

Таблица 40
Проектные характеристики шахтных печей, работающих на мазуте

Показатели	Производительность, т/сут				
	15 1	2	50 3	100 4	150 5
Разработчик проекта Год выпуска	Гипромез 1963	1974	Союзгипротром 1974	1971	
Высота печи, м: рабочая	8 15,4	18,6 29	17,4 30	20,6 34,6	
строительная в зоне подогрева	1,8 1,8 1,2×1,2	3,3 2,2×2,7 1,6×1,6	4,29 2,9×3,7 2,2×2,2	4,95/4,3 3,74×3,7 2,6×2,6	
Внутренний диаметр шахты, м: в зоне обжига	1,2×1,2	10 0,52	10,5 0,56	11 0,53	
на уровне механизма выгрузки		194	194	185	
Удельный съем известки: т/(м ² ·сут)	6 0,75				
т/(м ³ ·сут)	170				
Расход условного топлива на 1 т из- вестки, кг					
Топливо					
Сырье					
Известняк					
Известок марки 100 (ГОСТ 10585—75) сорт 1-го					
Сорта (ТУ 14-1- 124—71)					
Известь (ГОСТ 9179—77)					
Дозирующее устройство: тип					
Мощность привода, кВт					

П р о л о ж е н и е т а б л . № 1	Производительность, т/сут				
	1	2	3	4	5
Загрузочное устройство: тип					
Механизм загрузки					
Механизм выгрузки					
Герметизирующий механизм					
Система ввода и сжигания мазута: принцип сжигания					
расположение камер					
число камер, шт.					
тип форсунок					
число форсунок, шт.					
Общий расход мазута, кг/с					
Объемный расход рециркуляционных газов при нормальных условиях на 1 кг мазута, м ³					
Число водохлаждаемых балок, шт.					
Масса балок, кг					
Расход воды на охлаждение балок, м ³ /с					

39 П р о д о л ж е н и е т а б л . 40

	1	2	3	4	5
Вентилятор подачи рециркуляционных газов:		BBD-8 10	BBCM-1У 22	BBCM-1У 40	BM 50/1000-11У
типа:		BBCM-1У 3,23	BM-15 4,66	BM 50/1000-11У 3,73	
мощность привода, кВт		315	315	250	
Дымосос:		30	75	100	
типа:	ЦП 74, № 5				
напор, кПа	2,5				
температура газов, °С	300				
мощность электродвигателя, кВт	4,5				
Вентилятор подачи вторичного воздуха:					
типа:	Ц13-50, № 3	BBD-8 2,26 13	BBD-6 2,94 22		
напор, кПа	2,16				
мощность электродвигателя, кВт	7,5				
Установка для очистки отходящих газов	Нет сб.	Четыре циклона типа НИИОгаз ЦН-15 диаметром 600 мм со сборником	Шесть циклонов типа НИИОгаз ЦН-15 диаметром 800 мм со сборником	Восемь циклонов типа НИИОгаз ЦН-15 диаметром 800 мм со сборником	
Число предохранительных взрывных клапанов диаметром 800 мм, шт.	1	4	1	2	
Установленная мощность электродвигателей, кВт	12,4	66	130,2	203,3	

П р о д о л ж е н и е т а б л . 40

	1	2	3	4	5
Кладка:					
в зоне подогрева:					
футеровка					
Шамотный кирпич общего назначения толщиной 230 мм		Шамотный доменный кирпич марки Хромомагнезито-шамотный кирпич марки ХМ толщиной 345 мм			
в зоне обжига:					
футеровка					
Хромомагнезитовый кирпич марки ХМ толщиной 300 мм		Магнезитохромитовый кирпич марки МХСО толщиной 300 мм			
теплоизоляция:					
легковесный кирпич марки ЦЛБ-1,3 толщиной, мм	—	—	345-595	295-695	508
засыпка трепелом с толщиной слоя, мм	45	62	62	55	65
в зоне охлаждения:					
футеровка					
Хромомагнезитовый кирпич (верхняя часть), шамотный доменный кирпич марки ШУД-37 толщиной 230 мм					
расход огнеупорного кирпича, т	50	223	223	259	325
в том числе хромомагнезитового	20	89	89	—	179
расход стали разной, т	10	144,2	144,2	170,5	219

— Зак. 478

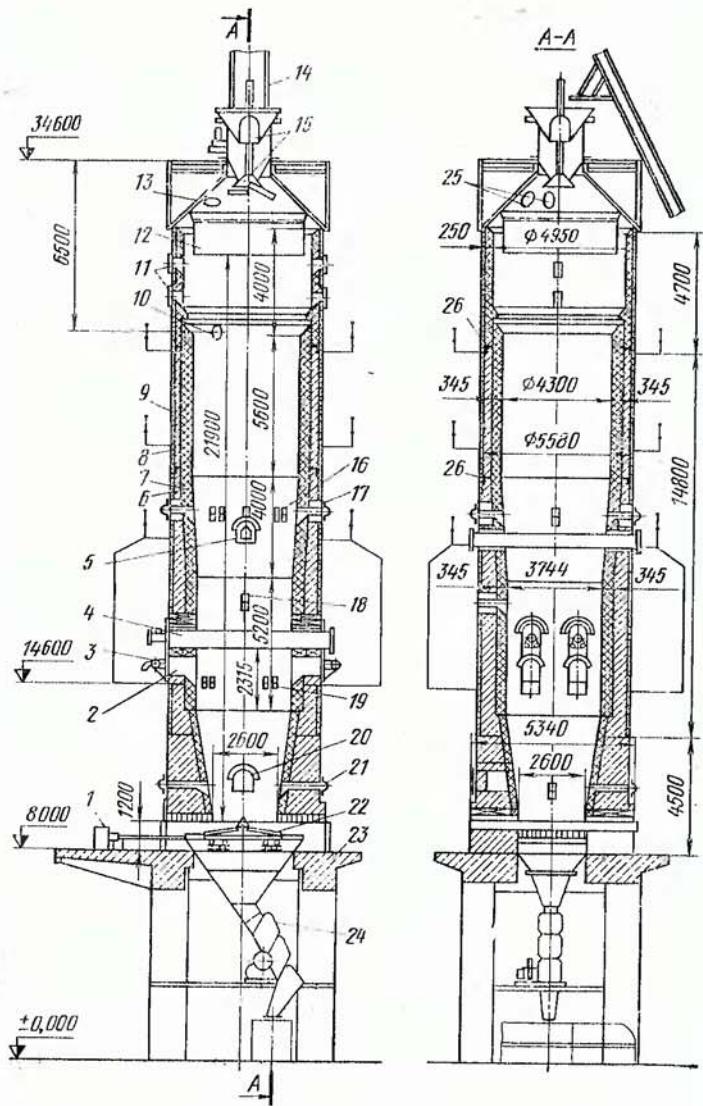


Рис. 35. Шахтная печь, работающая на мазуте, конструкции Союзгипрострома производительностью 150 т/сут:

I — привод механизма выгрузки; *2* — топочная камера; *3* — форсунка; *4*, *5* — водоохраняющие балки; *6* — легковесный кирпич; *7* — футеровка; *8* — теплоизолирующая засыпка; *9* — кожух; *10* — отверстие для отбора рециркуляционных газов; *11* — отверстия для датчиков радионуcléотого уровнямера шахты; *12* — отбойная обечайка; *13* — отверстие для отвода печных газов; *14* — скользящий подъемник; *15* — двуххлапанный механизм загрузки; *16*, *18*, *19* — отверстия для установки датчиков КИП; *17*, *21* — глядеки; *20* — лаз; *22* — механизм выгрузки; *23* — железобетонная плита; *24* — шлюзовой затвор; *25* — предохранительно-взрывные клапаны; *26* — кольцо для подвеса футеровки
98

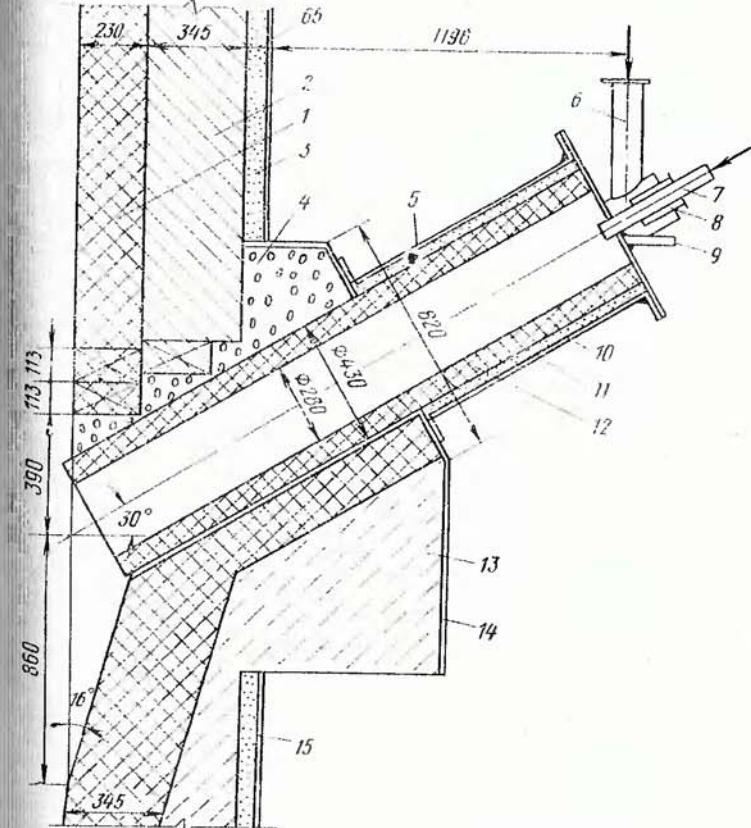


Рис. 36. Выносная топочная камера-газификатор мазута конструкции ВНИИСП (г. Киев):

I — хромомагнезитовый кирпич; 2 — легковесный кирпич марки ШЛБ-1,3; 3, II — молотый трепел; 4 — бетон из шамотного раствора; 5 — топочная камера-газификатор мазута; 6 — патрубок для ввода воздуха; 7 — мазутная форсунка; 8 — патрубок для ввода пара; 9 — патрубок для растопочного факела; 10, 14, 15 — стальной кожух; 12 — кольца из шамотного огнеупора; 13 — красный кирпич

7. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПЕЧЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА ЖИДКОМ ТОПЛИВЕ

Сжигание тяжелого жидкого топлива (мазута). Сжигание топочного мазута осуществляют путем перевода его с помощью форсунки в состояние тумана, состоящего из капелек. Перед транспортировкой и распылением мазут подогревают до температуры 70—115°С.

Одной из особенностей сжигания топочного мазута является образование сажистого углерода. Сажистый углерод содержится как в газообразных продуктах горения, так и в нагаре, отлагающемся на деталях форсунки.

Сгорание распыленного мазута происходит следующим образом. Пары топлива, образующиеся на поверхности капли, при движении во взвешенном состоянии нагреваются от температуры начала горения ($400-500^{\circ}\text{C}$) до температуры в топке ($900-1300^{\circ}\text{C}$). За время движения пары топлива подвергаются глубокому крекингу и высокотемпературному пиролизу. Во время этих процессов сложные молекулы углеводородов распадаются с образованием некоторого количества водородных атомов. Освободившиеся углеродные валентные связи замыкаются друг с другом, образуя ненасыщенные соединения (алефины). Дальнейший нагрев этих молекул приводит к их полному распаду с образованием водорода и свободного углерода. В зоне горения водород соединяется с кислородом, выделяя большое количество энергии, которая частично идет на разрушение связей между углеродными атомами, которые могут соединяться с кислородом. При снижении температуры или недостатке кислорода углеродистые связи могут снова замыкаться друг на друга, образуя прочные углеродные соединения, которые не соединяются с кислородом в данных условиях.

Твердый нагар — это нефтяной кокс, образующийся в результате жидкофазного крекинга, последующего пиролиза и затем коксования мазута на металлической детали, если ее температура находится в пределах $300-500^{\circ}\text{C}$.

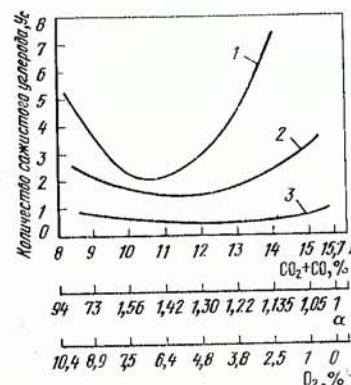
Основной задачей организации сжигания мазута является ведение процесса с минимальным выделением сажистого углерода. В зависимости от конструктивных особенностей мазутных форсунок они могут обеспечивать различное качества распыла тяжелого топлива, разную степень его перемешивания с воздухом и температурный уровень. При этом количество образующегося сажистого углерода колеблется в значительных пределах в зависимости от типа форсунки (рис. 37).

Рис. 37. Зависимость количества сажистого углерода в продуктах сжигания мазута от типа форсунки:

1 — обычная форсунка механического распыливания; 2 — форсунка улучшенного типа; 3 — форсунка голубого пламени

Для обычной форсунки минимальное количество сажистого углерода ($Y_{\text{с}}=2-3$) достигается при $\alpha=1,3-1,66$. Отклонение расхода воздуха от оптимального диапазона вызывает рост количества сажистого углерода (при снижении — из-за ухудшения условий смесеобразования, при повышении — из-за переохлаждения газов).

Если часть продуктов сжигания мазута отвести от конца факела к его основанию, то это будет способствовать улучшению перемешивания воздуха с каплями мазута и более быстрому их воспламенению.



В табл. 41 помещены различные схемы организации сжигания мазута в выносных топочных камерах с рециркуляцией части продуктов горения [24].

Особенности сжигания мазута в шахтных печах. При использовании мазута в качестве топлива для производства известня в шахтных печах применяют три способа его сжигания: подача мазута в слой обжигаемого материала, полное сжигание мазута в топочной

Таблица 41

Схемы организации сжигания мазута в выносных топочных камерах шахтных печей с рециркуляцией части продуктов горения

Схема	Вид рециркуляции
	Естественная рециркуляция Поток рециркуляции газов, обтекающий факел от конца к основанию, образуется в результате радиального подсоса газов в основании факела
	Принудительная рециркуляция Поток рециркуляции газов вызван конструкцией ниши
	Поток рециркуляции газов организован с помощью подпорного тела
	Поток рециркуляции газов создан с помощью инжектора или вентилятора

камере с вводом продуктов в слой материала и предварительная газификация мазута в выносной топочной камере с вводом и дожиганием полугаза в слое материала.

При первом способе сжигания мазута сажистый углерод, образующийся при термическом разложении мазута, из-за плохого перемешивания с воздухом в слое кускового материала не горает полностью, и печные газы содержат до $0,7 \text{ г}/\text{м}^3$ сажи, что сопровождается значительным химическим недожогом топлива (до 20%) и загрязнением окружающей среды.

При сжигании мазута в выносных топочных камерах необходимо соблюдать главное технологическое требование: для предотвращения «пережога» извести температура газов (факела) на входе в слой материала не должна превышать 1300°C .

В табл. 42 приведены данные о влиянии коэффициента избытка воздуха и температуры его предварительного подогрева на температуру продуктов сжигания мазута в теплоизолированной топочной камере [24].

Таблица 42

Зависимость температуры продуктов сжигания мазута в топке от коэффициента расхода воздуха α и температуры его предварительного подогрева t_b

α	$\text{CO}_2, \%$	$\text{O}_2, \%$	Temperatura в топке ($^\circ\text{C}$) при температуре подогрева воздуха $t_b, ^\circ\text{C}$						
			0	100	200	300	400	500	600
1,40	11,1	6,5	1700	1760	1820	1880	1930	2000	2050
1,50	10,1	7,3	1620	1680	1740	1810	1870	1930	1990
1,80	8,4	9,5	1500						
2,00	8	10,5	1380						
Не рассматриваются									

Из табл. 42 следует, что температура продуктов сгорания мазута 1300°C даже при использовании холодного воздуха может быть получена при $\alpha > 2$. Поэтому применение топочных камер с полным сжиганием мазута не рационально из-за больших потерь тепла в печи с отходящими газами.

Температура продуктов сжигания мазута в камере тем ниже, чем хуже ее теплоизоляция и ниже тепловая нагрузка. Следовательно, футеровку камеры следует выполнять из огнеупоров с высоким коэффициентом теплопроводности, а ее стенки охлаждать (например, воздухом). С целью снижения теплонапряженности камеры целесообразно разделить ее на несколько отдельных топок.

При замене части воздуха рециркуляционными газами в топке образуется полугаз. Чем ниже величина коэффициента расхода воздуха α , тем ниже будет температура продуктов сгорания и выше теплотворная способность образующегося полугаза. Для того чтобы содержание сажистого углерода в продуктах сгорания мазута было минимальным, необходимо поддерживать количество рециркуляционных газов на необходимом уровне.

Соотношение между коэффициентом расхода воздуха α , количеством рециркуляционных газов R_g , и температурой полугаза при минимальном количестве сажистого углерода ($Y_s=2-3$)

α	0,25	0,3	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
$R_g, \%$	30	40	50	55	65	70	80
$t_g, \%$	900	1000	1100	1150	1250	1300	1350

Добавление воды или водяного пара благоприятно влияет на уменьшение содержания сажистого углерода и снижает температуру факела:



Например, сжигание мазута при $\alpha=0,36$ и рециркуляции $R_g=65\%$ с добавлением 0,2 кг воды на 1 кг мазута сопровождается снижением температуры газов с 1200 до 800°C . Однако с добавлением воды растет расход тепла на 1 выпускаемой извести.

На практике удовлетворительные результаты получены при организации в топках управляемой принудительной рециркуляции продуктов сжигания мазута с добавлением около 0,2 кг воды на 1 кг мазута.

Форсунки для распыления мазута. Применение нашли форсунки механические, инжекционные, акустические и импульсные [24].

Механические форсунки с винтовым распылителем просты по конструкции и при рабочем давлении мазута 0,7–2,5 МПа обеспечивают хорошее его распыление. Недостатком механических форсунок является узкий диапазон регулирования производительности, равный 1 : 2, так как при минимальной производительности ухудшается распыливание из-за снижения давления мазута перед соплом. С целью увеличения диапазона регулирования применяют механические форсунки двухконтурные с перепуском топлива и т. п.

Двухконтурная механическая форсунка (рис. 38, а) имеет отдельные каналы 6 и 7 для подвода мазута. Пер-

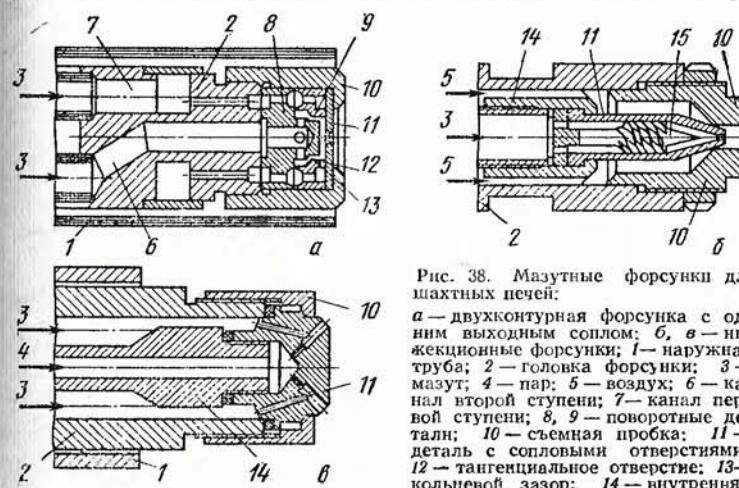


Рис. 38. Мазутные форсунки для шахтных печей:
а — двухконтурная форсунка с одним выходным соплом; б, в — инжекционные форсунки; 1 — наружная труба; 2 — головка форсунки; 3 — мазут; 4 — пар; 5 — воздух; 6 — канал второй ступени; 7 — канал первой ступени; 8, 9 — поворотные детали; 10 — съемная пробка; 11 — деталь с сопловыми отверстиями; 12 — тангенциальное отверстие; 13 — кольцевой зазор; 14 — внутренняя труба; 15 — завихритель

вая ступень форсунки имеет тангенциальные отверстия небольшого сечения и рассчитана на небольшую производительность. При достижении в первой ступени определенного давления (1—1,5 МПа) включается вторая ступень с кольцевым зазором. При этом мазут второй ступени, имеющий малую скорость истечения, перемешивается с мазутом первой ступени и выходит через выходное сопло с некоторой средней скоростью, чем достигается хорошее качество распыливания топлива при большем диапазоне изменения расхода.

В форсунках с перепуском топлива при максимальной нагрузке перепускная линия закрыта и все топливо подается в топку. При снижении нагрузки часть топлива из камеры закручивания форсунки отводится в систему подачи мазута. При этом качество распыливания значительно лучше, чем в обычной механической форсунке.

В инжекционных форсунках, помимо механического распыливания, используется энергия истекающего воздуха или пара (рис. 38, б, в). Инжекционные форсунки обеспечивают более тонкий распыл мазута и более широкий диапазон регулирования производительности (1 : 3). Пара отдается больше предпочтения, чем воздуху. При этом используется пар, перегретый на 75°C.

Акустические форсунки снабжены резонансным устройством с ультразвуковой частотой колебаний. Воздействие ультразвуковой частоты приводит к более интенсивному распаду мазута на мельчайшие капли. Угол распыливания регулируется в пределах от 20 до 120°. Распыливание мазута осуществляется воздухом, паром или газом.

Импульсные форсунки подают мазут в камеру или непосредственно на известняк в зоне обжига (в пристенную область шахты) в распыленном состоянии. Частота колебаний от 10 до 1000 импульсов в минуту. В течение каждого импульса вспрыскивается от 0,5 до 10 см³ мазута. Давление вспрыска составляет от 0,1 до 15 МПа. Импульсные форсунки имеют широкий диапазон регулирования производительности.

Конструкция выносных топочных камер-газификаторов мазута

Выносная топочная камера-газификатор мазута конструкции Союзгипрострома (рис. 39) представляет собой футерованную цилиндрическую камеру, снабженную со стороны торцовой съемной крышки ротационной форсункой. Для регулирования степени газификации мазута и температуры газов на выходе из нее в форсунку подают воздух и рециркуляционные газы [5].

Выносная топочная камера-газификатор мазута конструкции ВНИИСП (см. рис. 36) представляет собой установленную под углом 30° к горизонту футерованную цилиндрическую камеру, в торцовой съемной крышке которой смонтирована инжекционная форсунка конструкции «Chemimtas» (ВНР). Мазут распыляется паром. Воздух для газификации мазута ($\alpha=0,4$) под давлением 600 Па нагнетается в топку по ее оси. Проведенные институтом ВНИИСП (г. Киев) опыты по газификации мазута при различных α (0,2; 0,3; 0,4; 0,5) позволили выявить оптимальный вариант.

Оптимальный режим газификации мазута в газификаторе конструкции ВНИИСП

Расход воздуха при нормальных условиях, м ³ /кг мазута	4
Теплотворная способность полугаза, кДж/м ³	4400—4600
Состав полугаза, %:	
CO	13
H ₂	5
CH ₄	5
CO ₂	6,5
O ₂	1,8
N ₂	68,7
Содержание сажистого углерода в массе газифицированного мазута, %	2,5
Температура полугаза, °С	1100

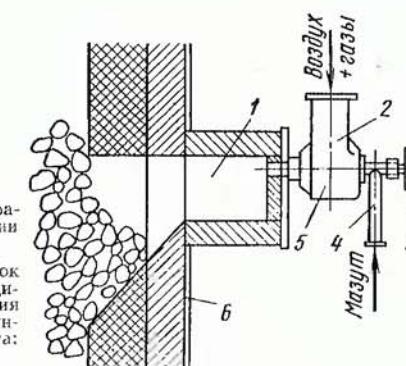


Рис. 39. Выносная топочная камера-газификатор мазута конструкции Союзгипрострома:

1 — топочная камера; 2 — патрубок для ввода воздуха и рециркуляционных газов; 3 — ручка управления перемещением сердечника форсунки; 4 — патрубок для ввода мазута; 5 — форсунка; 6 — шахта печи

Выносная топочная камера-газификатор мазута конструкции «Chemimtas» (ВНР) приведена на рис. 40. Топочная камера представляет собой футерованный хромомагнезитовым кирпичом цилиндр, кожух которого выполнен в виде секционированной полости, по которой подаются в топку воздух и рециркуляционные газы. Окна влетов воздуха и рециркуляционных газов расположены в топке поочередно. Для создания вихревого потока подогретый воздух и рециркуляционные газы вводятся в топку тангенциально со скоростью 30—40 м/с.

Распыление мазута осуществляется при помощи инжекционной форсунки паром, поступающим под избыточным давлением 0,4 МПа. Расход пара около 0,2 кг на 1 кг мазута. На конце форсунки расположена головка-распылитель, имеющая выходное конусное отверстие диаметром 3,5—4 мм с углом раскрытия 7°, обеспечивающее распыление мазута под углом 15° [25].

Первичный воздух поступает в топку через кожух форсунки по камере (80%) и тангенциально по длине камеры (20%). Режимы газификации мазута даны в табл. 43. Оптимальному варианту соответствует режим с получением полугаза с теплотворной способностью 9200 кДж/м³ и температурой в топке 960°C.

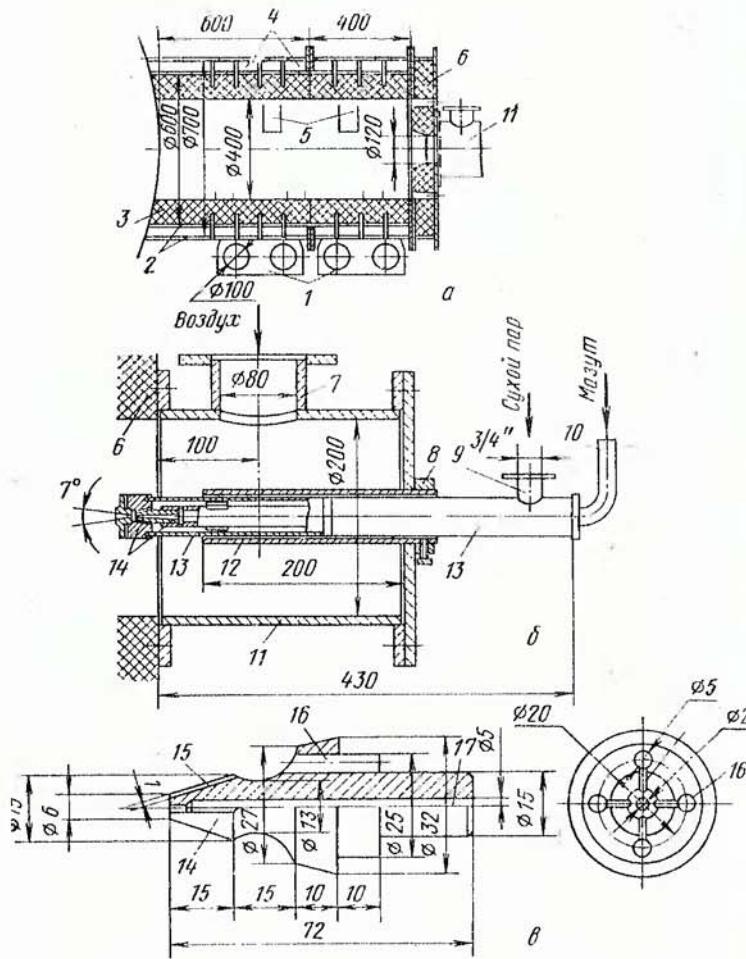


Рис. 40. Выносная топочная камера-газификатор мазута конструкции «Chemimas»:

а — топочная камера; б — инжекционная мазутная форсунка; в — деталь распылителя мазута; 1 — монтажные петли; 2 — стальной кожух; 3 — футеровка из хромомагнезитового кирпича; 4 — секционированная цилиндрическая полость; 5 — окна тангенциального ввода воздуха и рециркуляционных газов; 6 — съемная крышка; 7, 9, 10 — патрубки для ввода воздуха, мазута и водяного пара; 8 — патрубок со стопорным болтом; 11 — кожух форсунки; 12 — установочная труба; 13 — корпус форсунки; 14 — головка-распылитель; 15, 16 — каналы для пара; 17 — канал для мазута

Таблица 43

Режимы газификации мазута в выносной топочной камере конструкции «Chemimas»

Параметры	Режим			
	I	II	III	IV
Расход воздуха при нормальных условиях, м ³ /кг мазута	2,93	3,5	4,04	5,92
Теплотворная способность полугаза Q_H^P , кДж/м ³	9200	7470	6820	4040
Состав полугаза, %:				
CO	13,6	10,6	10	11
H ₂	8,5	11,3	5,15	7,5
CH ₄	3,2	3,3	5,8	1,8
C _n H _m	1,2	0,8	—	—
CO ₂	4,8	5	4,8	5,6
O ₂	—	0,6	0,4	0,2
N ₂	68,5	68,3	73,8	74,8
Температура газов на расстоянии 1 м от места ввода мазута в топку, °C	960	1190	1210	1130

В табл. 44 даны основные показатели эксплуатации шахтных печей, работающих на мазуте.

Таблица 44

Технико-экономические показатели эксплуатации шахтных печей, работающих на мазуте, в различных отраслях народного хозяйства

Показатели	Производительность, т/сут		
	36	43,7	126,5
Диаметр (сечение) шахты в зоне обжига, м	2	2	1(3,3×3,3)
Полезная высота шахты, м	17	11	18
Система ввода и сжигания мазута:			
принцип сжигания	С предварительной газификацией в выносных камерах	Распыление и полное сжигание в подпольном пространстве	С предварительной газификацией в топочных выносных камерах
число топочных камер, шт.	3	—	4
тип форсунок	Инжекционные	Механического распыления с винтовым распылителем	

Продолжение табл. 44

Показатели	Производительность, т/сут		
	36	43,7	126,5
число форсунок, шт.	3	6	4
избыточное давление мазута перед форсункой, МПа	0,16	1—1,2	0,7—0,8
расход мазута на одну форсунку, кг/ч	50	40	175
расход воздуха на 1 кг мазута, м ³	4	—	3,11
Характеристика известняка:			
содержание CaCO ₃ , %	90,7	90—92	88—92
содержание MgCO ₃ , %	3,5	6—3	8—3
фракция, мм	60—120	60—150	60—150
карьерная влажность, %	1,04	6—12	6—13
Коэффициент расхода сырья, т/т	1,6	1,8	1,75
Марка мазута (ГОСТ 10585—75)	40	100	100
Расход условного топлива на 1 т физической извести, кг	134	179	177
Расход электроэнергии на 1 т извести, кВт·ч	Нет сб.	16	15,1
Удельный съем извести:			
г/(м ² ·сут)	11,5	13,5	11,2
т/(м ³ ·сут)	0,64	0,73	Нет сб.
Известь:			
содержание активных CaO+MgO, %	71,6	75	72
содержание остаточной CO ₂ , %	8,62	9,2	8,9
Разрежение на выходе из шахты, Па	1870	1500	2100
Тип дымососа	Д-10	Д-10	Д-13,5
Вынос пыли из печи, кг/ч	Нет сб.	Нет сб.	15,2
Коэффициент использования рабочего времени, %	90	94	80

8. АВТОМАТИЗАЦИЯ ШАХТНЫХ ПЕЧЕЙ

На современных шахтных печах автоматизированы узел дозирования шихты в ковш скрапового подъемника и узел загрузки шихты в печь; стабилизированы уровень шихты в печи, отношение «стопливо — воздух» и температура отходящих газов; с помощью автоматических контрольно-измерительных приборов измеряются и регулируются важнейшие параметры процесса обжига (табл. 45).

Система автоматической загрузки шахтной печи материалом и твердым топливом. Система включает дозатор, скраповой подъемник с лебедкой, механизм поворота чаши и радиоизотопный релей-

Г а б л и ц а 45

Контролируемые параметры при обжиге карбонатных пород в шахтной печи, работающей на газообразном топливе, производительностью 200 т/сут

Измеряемая величина	Место отбора импульса	Верхний предел измеряемой величины	Тип измерительного преобразователя (датчика)	Тип вторичного прибора
Температура, °С, отходящих газов	Трубопровод отходящих газов	400	Термометр ТХК-0515	Потенциометр КСП2-027
в начале зоны обжига	В стенке шахты	900	Термометр ТХА-0515	То же
в конце зоны обжига	То же	1300	Термометр ПП-11	Прибор РП2-П3
в зоне охлаждения	В головке осевой горелки	700	Термометр ТХА-0515	Потенциометр КСП2-016
извести	Бункер извести	200	То же	То же
рекиркуляционных газов	Трубопровод перед вентилятором	300	»	»
Разрежение, Па:				
отходящих газов	Трубопровод отходящих газов	2500	Импульсная труба	Дигомер мембранный ТММП-52
в зоне подогрева	В стенке шахты	1400	То же	То же
в зоне обжига	То же	1000	Дифманометр ДМ-3573	Прибор РП2-П3
в зоне охлаждения	»	50	Импульсная труба	Дигомер мембранный ТММП-52

Измеряемая величина	Место отбора импульса	Верхний предел измеряемой величины	Тип измерительного преобразователя (датчика)	Тип вторичного прибора
Давление, Па: рекиркуляционных газов дутьевого воздуха природного газа	Трубопровод перед осевой горелкой трубопровод вторичного воздуха Газопровод на вводе в цех	4500 3000 30 000	Импульсная труба То же Дифманометр ДМ-3573	Напоромер НМП-52 Напоромер НМП-52 Прибор вторичный КСД-2
	Газопровод перед осевой горелкой Газопровод перед консольными горелками	12 000	Импульсная труба	Напоромер НМП-52 То же
	Газопровод перед консольными горелками	8000	То же	
Расход (при нормальных условиях), м ³ /ч: природного газа (общий) вторичного воздуха рекиркуляционных газов Содержание CO ₂ в отходящих газах, % Содержание кислорода в отходящих газах, %	Газопровод (на вводе) в цех Газопровод перед осевой горелкой Трубопровод вторичного воздуха Трубопровод рекиркуляционных газов Трубопровод отходящих газов Трубопровод отходящих газов	11300 800 20 000 5000 40 10	Дифманометр ДКО То же » » » Газонализатор ТП-2220 Газонализатор МН-5130	Прибор вторичный КСМ2-024 Прибор вторичный КСМ2-024

ный прибор для измерения уровня (см. табл. 49). Для дозирования твердого топлива и сырья в ковш скрапового подъемника на шахтных печах применяют весовые автоматические дозаторы (табл. 46).

Устройство весовое дозирующее типа 2ДИУ-1000 опытного завода порционных автоматов им. Ф. Э. Дзержинского разработано для использования на шахтных печах для выпуска извести. Устройство состоит из двух автоматических дозаторов дискретного действия: дозатора известняка и дозатора твердого топлива. Загрузка и разгрузка двух дозирующих бункеров осуществляются электровибрационными питателями (по два на каждый дозатор). Дозирующий бункер установлен на четырех тензометрических датчиках.

Таблица 46

Техническая характеристика дозаторов

Показатели	2ДИУ-1000		Типа АДУП		ВАД-200-199 (2ДИК-200)
	для изве- стняка	для то- плива	АВДИ- -1200Ф	АВДИ- -425Ф	
Пределы взвешивания, кг:					
наименьший	400	25	200	80	20
наибольший	1000	100	1200	600	200
Допускаемая погрешность дозирования, %	2	2	3	3	2,5
Цена деления циферблатного указателя, кг	5	0,5	2	1	—
Длительность цикла дозирования, с	60	60	45	45	70
Давление воздуха, МПа	—	—	0,6	0,6	0,6
Объем дозировочного бункера, м ³	1	0,25	—	—	0,7
Габаритные размеры, мм:					
длина	5500	2060	2060	5100	
ширина	3620	1175	1175	1480	
высота	3120	2660	1930	2730	
Масса дозатора, кг	2200	600	570	2150	

Весовые автоматические дозаторы типа АДУП с фотосопротивлениями (рис. 41) предназначены для дозирования кусковых и нерастяжимых материалов.

Автоматический дозатор состоит из весовой измерительной системы, задатчика веса, двух впускных затворов и дозировочного бункера. Все оборудование смонтировано на металлической раме. Впускные затворы соединены с бункерами, один из которых заполнен известняком, другой — топливом. Задатчик веса состоит из специальной стрелки, надетой на ось циферблатного указателя весов, на которой закреплен фотодиод. К корпусу указателя прикреплено кольцо, на котором смонтированы лампочки задатчика доз. В зависимости от требуемой дозы вилка вставляется в соответствую-

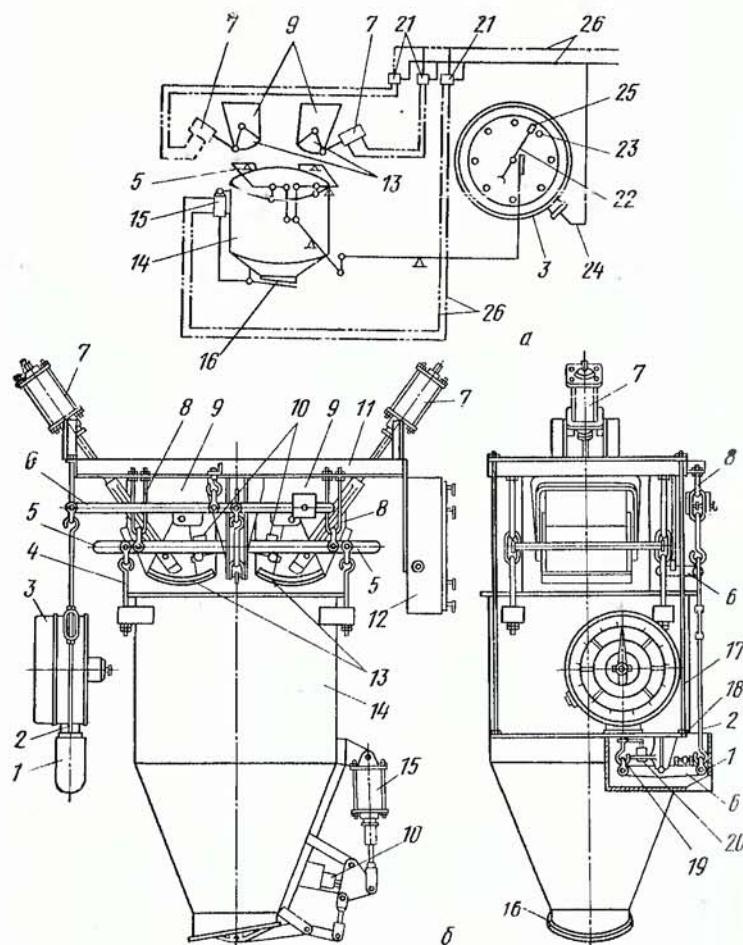


Рис. 41. Автоматический дозатор АБДИ-1200Ф:

a — принципиальная схема; *б* — дозатор; 1 — кожух; 2, 19 — тяги; 3 — циферблочный указатель; 4 — крюк; 5 — грузоприемные рычаги; 6 — передаточные рычаги; 7, 15 — пневмоцилиндры; 8 — подвеска; 9 — бункер; 10 — конечный выключатель; 11 — рама; 12 — воздухораспределительный шкаф; 13 — секторные затворы; 14 — дозирующий бункер; 16 — выпускной затвор; 17 — стяжка; 18 — плащадка; 20 — демпфер; 21 — электровоздушные клапаны; 22 — стрелка; 23 — лампочка; 24 — электро проводка; 25 — пневмопроводка

Таблица 47

Техническая характеристика электровибрационных питателей, выпускаемых Цхинвальским заводом «Вибромашин»

Тип	Расположение привода	Число вибрато-ров, шт.	Мощность одного вибратора, кВт	Наибольший размер кусков материала, мм	Производительность, т/ч	Рабочие размеры лотка (ширина, высота, длина), мм	Масса, кг
174-ПТ	Верхнее	1	0,5	150	50—75	500×255×1600	740
185-ПТ	Нижнее	1	0,5	150	50—75	500×260×1600	740
200-ПТВ	Верхнее	1	1	200	80—120	700×300×2000	1280
200-ПТН	Нижнее	1	1	200	80—120	700×300×2000	1290
196-ПТ	Верхнее	1	2	250	120—270	950×310×2000	2450
196А-ПТ	Нижнее	1	2	250	120—270	950×310×2000	2450
194-ПТ	»	1	2	250	120—270	950×320×2500	2300

Таблица 48

Техническая характеристика качающихся питателей тяжелого типа (ГОСТ 7010—75)

Показатели	Тип питателя		
	КТ-5	КТ-8	КТ-10
Производительность максимальная, м ³ /ч	55	36	36
Число двойных ходов лотка, кач/мин	36	36	36
Электродвигатель:			
типа	A02-41-4	A02-42-4	A0-52-4
мощности, кВт	4	5,5	10
Тип редуктора	РЦД 350-40-4	РЦД 40-4-4	РЦД 40-4-4
Максимальный ход лотка, мм	190	300	400
Максимальный размер загружаемого материала с насыпной массой до 2,6 т/м ³ , мм	150	300	400
Габариты, мм:			
длина	2580	2965	3440
ширина	910	1153	1326
высота	855	1210	1510
Масса, кг	750	1320	2370

Таблица 49
Характеристика радиоизотопных релейных приборов

Тип	Наименование	Конструктивное исполнение датчика	Радиометрический порог срабатывания (чувствительность, мкР/с)	Быстродействие, с	Коэффициент гистерезиса	Потребляемая мощность, Вт	Максимальная длина соединительного кабеля между датчиком и релейным блоком, м
ГР-6	Гамма-реле, одноканальное	Нормальное, пылебрызгозащитное	0,05—1,39	3±1	0,4—1	35	150
ГР-7	Гамма-реле, двухканальное	То же	0,05—1,39	3±1	0,4—1	70	150
ГР-8	Гамма-реле, одноканальное	Датчиков ЗРН-2Н-герметичное; ЗГГ-2В-герметичное водозащитное	300	0,8—6	0,4—0,8	50	300
РРП-2	Радиоизотопный релейный прибор	Герметичное, пылебрызгозащитное	—	0,15—20	0,4—0,8	50	300

щее гнездо штекельного разъема, и напряжение 6,3 В поступает на определенную лампочку.

Управление дозатором дистанционное, электропневматическое.

Автоматический дозатор типа ВАД-200-199 (ЗДИК-200) предназначен для дозирования известняка с насыпной массой 1,4 т/м³ и кокса с насыпной массой 0,35—0,45 т/м³. Весы стационарные, неравноплечные.

Материал подается в дозировочный бункер двумя подвесными электровибрационными питателями. Управление дозаторами электропневматическое дистанционное.

Взвешивание известняка и кокса осуществляется последовательно в одном бункере с одновременным выпуском дозы. Циферблатный указатель снабжен бесконтактными датчиками, что позволяет дистанционно включать необходимую дозу.

Дозирование кускового сырья в ковш скипового подъемника шахтных печей, работающих на газообразном или жидком топливе, осуществляют при помощи электровибрационных и качающихся питателей (табл. 47, 48).

Радиоизотопные релейные приборы типа ГР-6, ГР-7, ГР-8, РРП-2 широко применяются для автоматизации различных операций [26]. Характеристика приборов дана в табл. 49.

Гамма-реле ГР-6, ГР-7, ГР-8 используются для контроля уровня материала в печах, бункерах, на лентах транспортерных средств. Гамма-реле ГР-6 и ГР-8 выпускают одноканальными, ГР-7 — двухканальными. Гамма-реле состоит из блока излучения, датчика, электронирелейного блока и блока управления (ГР-7 имеет два блока излучения и два датчика). Блок излучения и датчик устанавливаются на одном уровне на противоположных стенах бункера (шахты, емкости), чтобы поток гамма-лучей от блока излучения попадал на датчик. При появлении материала поток гамма-лучей ослабевает, что вызывает срабатывание гамма-реле.

Блоки излучения Э-1М, Э-2М, Э-3М, Э-4М (табл. 50) конструктивно выполнены одинаково и отличаются величиной биологической защиты (толщиной свинцовой оболочки). В качестве источника излучения в блоках ГР-6 и ГР-7 используются кобальт 60 или цезий 137, а в ГР-8 — цезий 137.

Датчик представляет собой стальной цилиндр диаметром 55 мм и длиной 371 мм, внутри которого смонтированы газоразрядный счетчик (типа СН-22Г — в ГР-6 и ГР-7; типа ЗГГ-2Н — в ГР-8) и импульсный усилитель.

Таблица 50

Характеристика блоков источника излучения для ГР-6, ГР-7, ГР-8

Тип	Активность, Кн		Габаритные размеры [высота×ширина×длина (глубина)], мм	Масса, кг
	⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs		
Э-1М	0,01—0,037	4,7—7	332×418,5×283	143
Э-2М	0,003—0,01	0,47—4,7	292×378,5×247	93
Э-3М	0,001—0,003	0,12—0,47	262×348,5×217	64
Э-4М	0,0003—0,001	0,001—0,12	242×328,5×197	49

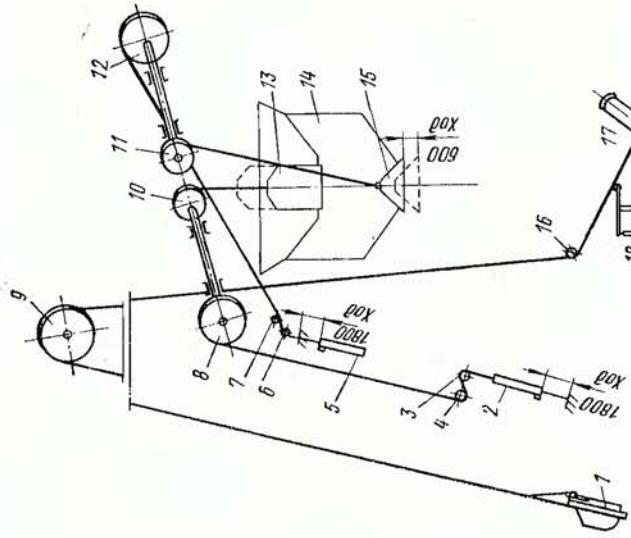


Рис. 42. Схема автоматического управления загрузкой шахты в шахтную печь:
а — кинематическая схема работы механизмов загрузки; б — блок-схема управления электроприводами механизмов загрузки: 1 — ковш; 2, 5 — грузовые приводы клапанов; 3, 4, 6—12, 16 — блоки; 13 — клапаны механизма загрузки; 14 — корпус механизма загрузки; 17 — лебедка; 18 — механизм отключения электропривода лебедки при ослаблении троса; 1КЭП, 2КЭП — командный электропневматический аппарат; 1РМ, 2РМ, 3РМ — реле электрического блокировочного; 1ПМ, 2ПМ, 3ПМ — пускатели магнитные; ЭМ — земельный привод лебедки; у-1 — датчики нижнего и верхнего уровня материала прибора ГР-7; у-2 — датчики конечной загрузки.

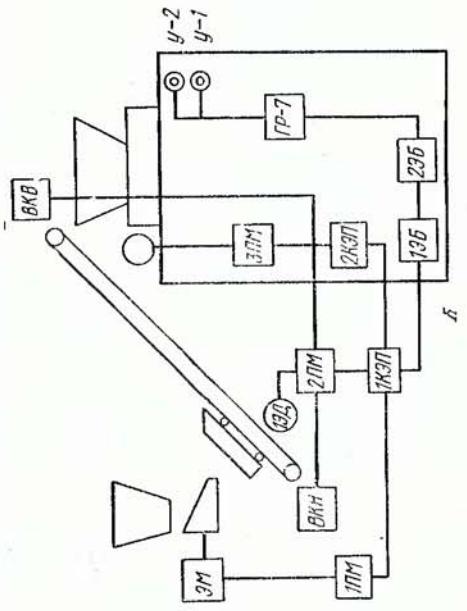


Рис. 42. Схема автоматического управления загрузкой шахты в шахтную печь:

а — кинематическая схема работы механизмов загрузки; б — блок-схема управления электроприводами механизмов загрузки: 1 — ковш; 2, 5 — грузовые приводы клапанов; 3, 4, 6—12, 16 — блоки; 13 — клапаны механизма загрузки; 14 — корпус механизма загрузки; 17 — лебедка; 18 — механизм отключения электропривода лебедки при ослаблении троса; 1КЭП, 2КЭП — командный электропневматический аппарат; 1РМ, 2РМ, 3РМ — реле электрического блокировочного; 1ПМ, 2ПМ, 3ПМ — пускатели магнитные; ЭМ — земельный привод лебедки; у-1 — датчики нижнего и верхнего уровня материала прибора ГР-7; у-2 — датчики конечной загрузки.

Таблица 51
Аппаратура, предназначенная для регулирования параметров и отключения подачи топлива в шахтную печь

Назначение	Датчик регулируемой величины	Регулятор	Исполнительный механизм	Регулирующий орган
Печь на твердом топливе				
Стабилизация уровня загрузки печи шахтой	Гамма-реле ГР-7/12	Командный электропневматический прибор на 12 электрических цепей КЭП-12-У. Для топливности цикла 206 с. Вариант IV	Конечные выключатели типа ВК-200В, ВК-31А; магнитные пускатели; счетчик ЭС-1; датчик напряжения тензометрический У-0,1	
Стабилизация расхода воздуха, подаваемого в печь	Расходомер КСД2-006	Электронный регулятор РПИБ-111, блок обратный МЭО-25/управления БУ-1/6 /100	Поворотная рукоятка заслонки (ПРЗ) на всасывающем патрубке вентилятора	
Регулирование давления в начале зоны подогрева печи	Вторичный прибор КСД3-1200	То же	Заслонка ПРЗ на одном из отсасывающих газоходов печи	
Печь на природном газе				
Стабилизация уровня загрузки печи материалом	Гамма-реле ГР-7	Командный электропневматический КЭП-12-У	Конечные выключатели ВК-200В, ВК-311А; магнитные пускатели; счетчик ЭС-1	

Продолжение табл. 51

118

1	2	3	4	5
Регулирование соотношения «природный газ — воздух»	Расходомер природного газа КСД-2, расходомер вторичного воздуха КСД-2	Регулятор электронно-бесконтактный МЭО РПНБ-IV	Электрический однодорожный аппарат вентилятора подачи вторичного воздуха в печь	Направляющий аппарат вентилятора подачи рециркуляционных газов
Регулирование соотношения «природный газ — газы»	Расходомер природного газа КСД-2, расходомер рециркуляционных газов КСД-2	То же	То же	Направляющий аппарат вентилятора подачи рециркуляционных газов
Отключение подачи природного газа:	Импульсная труба	Преохранительный запорный клапан (магнабаритный) типа ПКН-100 или ПКН-200 на общем газопроводе печи	Клапан ПКН-100 или ПКН-200 на общем газопроводе печи	Клапан ПКН-100 или ПКН-200 на общем газопроводе печи

Продолжение табл. 51

1	2	3	4	5	
при падении давления вторичного воздуха, подаваемого в газопроводе	Дифманометр ДМ в комплекте с релейным прибором РП2-П3	Трехходовой соленоидный электроневматический клапан ЭПК-1/4"	Клапан ПКН-100 или ПКН-200 на общем газопроводе печи	Клапан ПКН-100 или ПКН-200 на общем газопроводе печи	
при падении давления вторичного воздуха, подаваемого в печь	Дифманометр ДМ в комплекте с прибором РП2-П3	Клапан ЭПК-1/4"	То же	То же	
при повышении температуры волны выше 55°C в балочной горелке	Термометр сопротивления ТСМ-XIV в комплекте с электронным мостом ЭВМ-2-211А	Газопровод	» »	» »	
Стабилизация уровня загрузки печи материалом	Гамма-реле ГР-7	Командный электропневматический прибор Коненые выключатели типа ВК-200В, ВК-311А, магнитные пускатели; счетчик ЭС-1	Печь на мазуте	Заслонка ПРЗ на трубопроводе рециркуляционных газов Заслонка ПРЗ на трубопроводе вторичного воздуха Заслонка ПРЗ на трубопроводе подсасываемого холодного воздуха То же	
Регулирование соотношения «мазут-рециркуляционные газы»	Расходомер мазута ВФС-23300, расходомер газов ВФС-13000	Регулятор электронный РПИБ4-IV.Ф	Электрический однодорожный МЭО-4/100	Регулятор электронный РПИБ4-IV.Ф	Электрический однодорожный МЭО-4/100
Регулирование соотношения «мазут — вторичный воздух»	Расходомер мазута ВФС-23300, расходомер газов ВФС-13000	Регулятор электронный РПИБ4-IV.Ф	Ступенчатый импульсный прерыватель СИП-01	Ступенчатый импульсный прерыватель СИП-01	Ступенчатый импульсный прерыватель СИП-01
Регулирование содержания кислорода в рециркуляционных газах	Газоанализатор МИ-5130	То же	Задита вентилятора рециркуляционных газов от перегрева при повышенной температуре газов выше 300°C	То же	Задита вентилятора рециркуляционных газов от перегрева при повышенной температуре газов выше 300°C

Продолжение табл. 51

1	2	3	4	5
Отключение подачи мазута в печь: при отклонении давления мазута в трубопроводе от установленного уровня (1,0 МПа) при повышении температуры воды до +70°C на выходе из бакки	Трубка импульсная при прекращении про- тока воды через бакку (при снижении давления воды ниже 0,3 МПа)	Клапан регулирующий прямого действия «до себя», установленный на трубопроводе подачи мазута в печь, Прелеты регулиро-вания 0,95—1,3 МПа, тип 25 ч-12НЖ	Термометр манометрический ТСМ-100	Клапан запорный соленоидный типа ЗСК-32, установленный на трубопроводе подачи мазута в печь
при падении разре- жения в зоне охлаждения печи менее 50 Па	Дифманометр ДКОФМ-ТФ	—	Вторичный прибор ВФС-200 РО	То же

Электрический сигнал из датчика по кабелю поступает в электронно-релейный блок, который преобразует и усиливает сигнал и в виде тока выдает его на выходное реле. При отсутствии материала в шахте якорь реле находится в притянутом состоянии, при наличии — в спущенном. Электронно-релейный блок имеет размеры 141×171×181 мм. Электронно-релейный блок может устанавливаться от датчика на расстоянии 150—300 м.

Радиоизотопный релейный прибор типа РРП-2 используется как счетчик числа ковшей, загруженных в лещь. РРП-2 состоит из блока источника излучения типа ББИ-1С, датчика (газоразрядный зонд типа ЭГБ-3), релейного блока БР-7 и быстро действующего импульсного счетчика типа БИС-62.

Система автоматической загрузки шахтной печи материалами представлена на рис. 42 [3].

Электронный блок реле ГР-7, воспринимая сигналы от нижнего У-1 и верхнего У-2 датчиков, управляет выходными реле, рабочие контакты которых посредством электрической цепи командного электропневматического аппарата 1КЭП управляют электродвигателем 1ЭД лебедки.

Загрузка печи в автоматическом режиме осуществляется в зависимости от уровня находящейся в ней шихты. Рабочим (управляющим) при этом является нижний указатель уровня У-1, а верхний У-2 служит для аварийного отключения механизмов загрузки.

В табл. 51 приведены данные о регулируемых величинах, регулирующей аппаратуре и автоматике безопасности современных шахтных печей.

9. СОВРЕМЕННЫЕ ШАХТНЫЕ ПЕЧИ ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

Шахтные печи, работающие на твердом топливе. Шахтные пересыпные печи распространены в ФРГ. Печи фирм «WISTRA», «Eberhardt», «Kosik» производительностью 100—370 т/сут выпускают шихту с содержанием CaO 94—96% при удельном расходе условного топлива на обжиг 126—129 кг и удельном съеме извести 12,6 т/(м²·сут). Для обжига используются известняк с содержанием CaCO₃ 98—98,5% и кокс фракции 40—80 мм. Это стало возможным благодаря мероприятиям по улучшению подготовки сырья и твердого топлива, применению более совершенных загрузочных и выгрузочных механизмов, подаче в печь воздуха под давлением 6—7 Па, автоматизации процесса загрузки шихты в печь с использованием весовых дозаторов, автоматическому контролю основных режимных параметров печи, применению высококачественных огнеупоров, организации режима обжига с минимальными потерями шихты от механического и химического недожога топлива. Полному и равномерному выгоранию топлива способствует подача в печь воздуха через установленный по оси шахты дутьевой конус при коэффициенте расхода воздуха 1,05—1,1 [13, 15, 16].

Шахтные печи, работающие на газообразном и жидком топливе. Представляют интерес шахтные печи, работающие на мазуте, производительностью 100 т/сут, поставляемые организацией «Nikex» (ВНР) [3, 25].

Шахтные печи системы «Catagas» (Англия) производительностью 50—200 т/сут (рис. 43) снажены топочными камерами,

оборудованными форсунками специальной конструкции. Форсунка представляет собой вращающийся с частотой 3 об/мин полый вал с угловым соплом диаметром 1 мм. При вращении форсунки струя топлива описывает в камере окружность, благодаря чему пары топлива равномерно распределяются по ее сечению. Первичный воздух (около 20% общего расхода) поступает в камеру через распределительный диск с отверстиями, предотвращающими его турбулентное

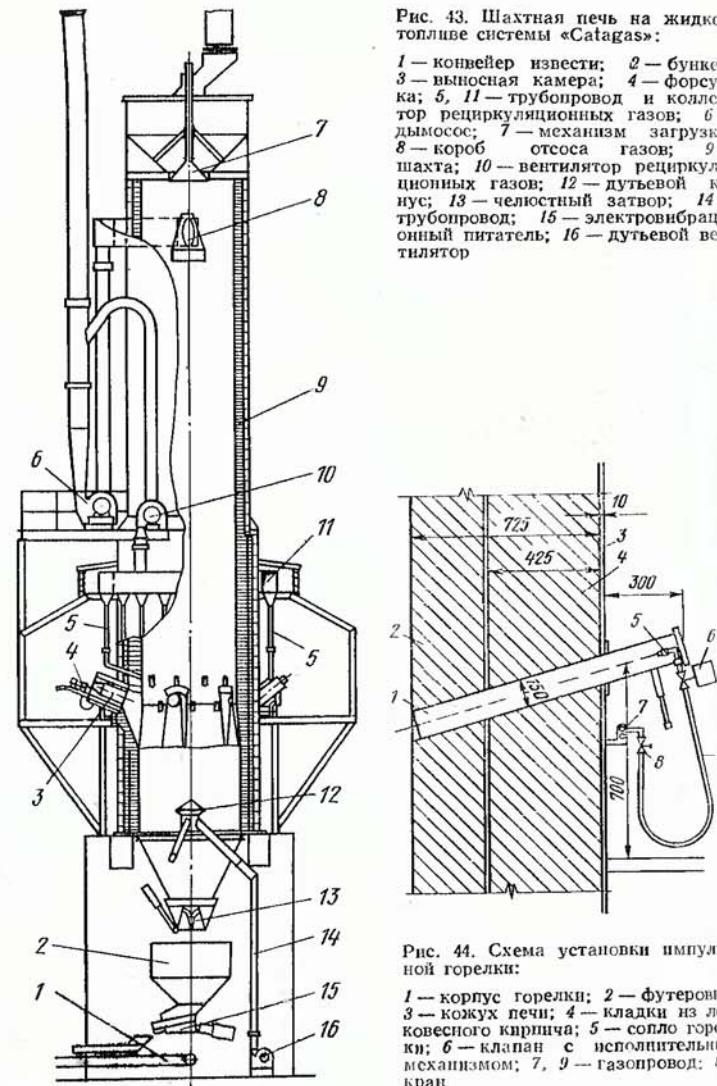


Рис. 43. Шахтная печь на жидкое топливо системы «Catagas»:

1 — конвейер извести; 2 — бункер; 3 — выносная камера; 4 — форсунка; 5, 11 — трубопровод и коллектор рециркуляционных газов; 6 — дымосос; 7 — механизм загрузки; 8 — короб отсоса газов; 9 — шахта; 10 — вентилятор рециркуляционных газов; 12 — дутьевой конус; 13 — челистистый затвор; 14 — трубопровод; 15 — электровибрационный питатель; 16 — дутьевой вентилятор

движение. Благодаря недостатку воздуха при низкой температуре газо-воздушной смеси (600°C) она загорается только в шахте при соединении с воздухом [27].

В ФРГ при переводе печей с твердого топлива на жидкое или газообразное применяют импульсные горелки (рис. 44). При реконструкции пересыпной печи диаметром 3,85 м завода «Stolberg» (фирма «Eberhardt») (табл. 52) в зоне обжига установили в три пруса 30 импульсных горелок. Нижний ярус горелок расположен на высоте 7,76 м от выгрузочного механизма. Расстояние между горелками по высоте печи 1,5 м, по окружности 1,2 м [28].

Работой горелок управляет автоматическое устройство в режиме: одновременно включаются в работу в течение 1,5 с 15 горелок, расположенных через одну в каждом ярусе (в шахматном

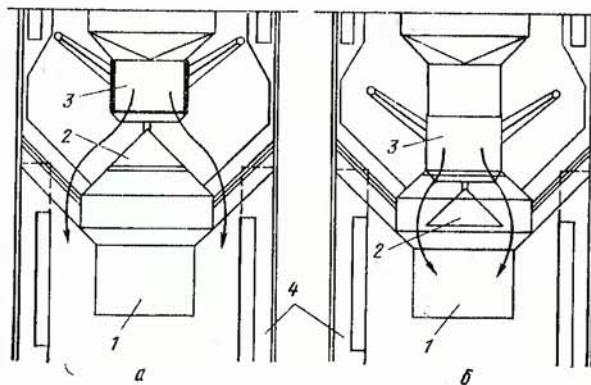


Рис. 45. Устройство и принцип работы механизма загрузки материалов в шахту печи, оборудованной импульсными горелками:
а — при загрузке известняка; б — при загрузке известняка со вместием с коксом; 1 — неподвижная обечайка; 2 — конус-распределитель; 3 — подвижная часть механизма; 4 — шахта печи

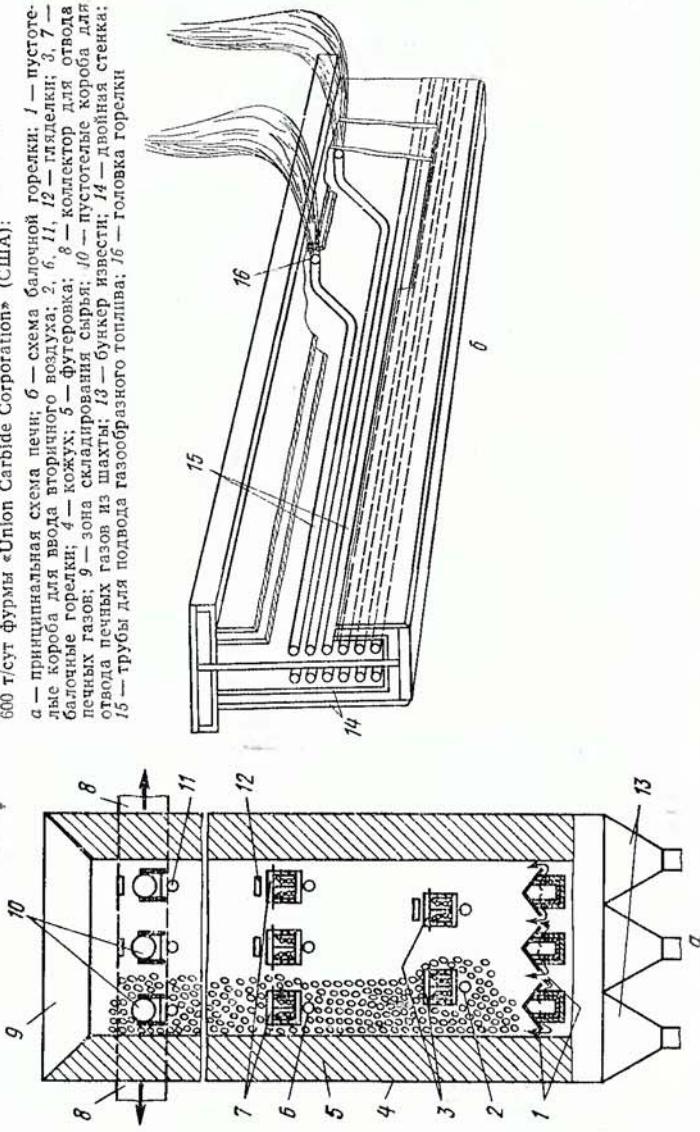
порядке), а через 3 с после их выключения включаются остальные 15 горелок на время 1,5 с.

В приосевую область шахты загружается твердое топливо в количестве до 25%. Загрузка материалов в шахту производится при помощи специального устройства (рис. 45). Режим загрузки печи: при ковшах с известняком подаются в пристенную область шахты (рис. 45, а), а каждый четвертый ковш с известняком и топливом — в приосевую (рис. 45, б).

Шахтная печь фирмы «Union Carbide Corporation» производительностью 600 т/сут (рис. 46) оборудована балочными горелками специальной конструкции и работает в режиме повышенных скоростей газов ($0,8\text{--}1 \text{ м/с}$). Первичный воздух поступает в горелки под воздействием разрежения в печи 10—12 кПа. Горелка охлаждается водой. При эксплуатации печи достигнута максимальная производительность 815 т извести в сутки.

Шахтная двухоткосная печь конструкции «Beckenbach» (рис. 47) представляет собой шахту прямоугольного переменного поперечного сечения, стенки которой в зоне обжига образуют откосы.

Рис. 46. Шахтная печь на газообразном топливе производительностью 600 т/сут фирмой «Union Carbide Corporation» (США):



боковые стенки шахты, арочные перекрытия и наклонный слой материала образуют две камеры, в которых осуществляется полное сжигание топлива. Сжигание мазута в камерах, встроенных во фронтальные стенки шахты, производится с недостатком воздуха. Воздух перед поступлением в топочные камеры подогревается в выносном теплообменнике [29].

Часть выходящих из зоны обжига газов отбирается из шахты и направляется в теплообменник. Остальная часть поступает в зону подогрева сырья, где охлаждается до температуры 100°C. При выключенном теплообменнике температура отходящих газов повышается до 280—300°C, и удельный расход условного топлива на обжиг увеличивается от 136 до 150 кг.

Шахтные прямоточно-противоточные регенеративные печи. Шахтные прямоточно-противоточные регенеративные печи (ППР) интенсивно внедряются в большинстве зарубежных стран. Основными преимуществами производства известия в печах ППР являются: низкий удельный расход жидкого или газообразного топлива (125—136 кг условного топлива на 1 т продукции), высокая степень рекуперации тепла отходящих газов (80—85%), высо-

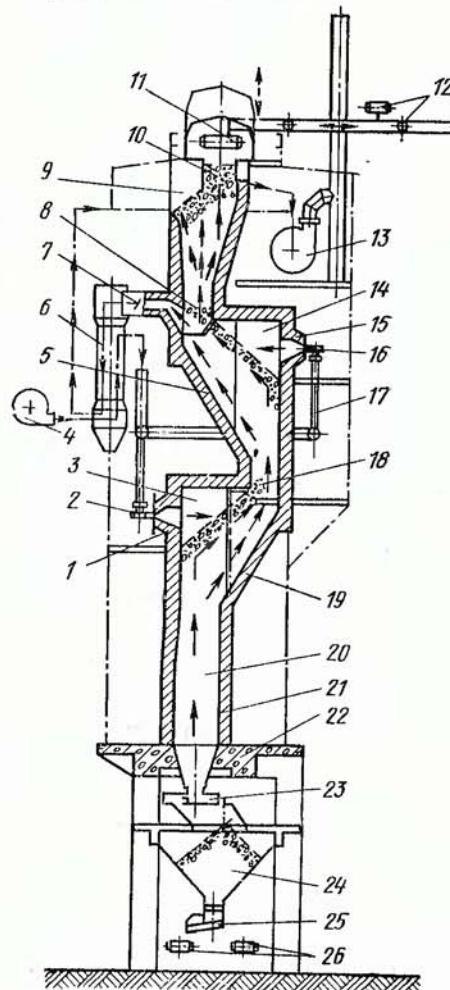
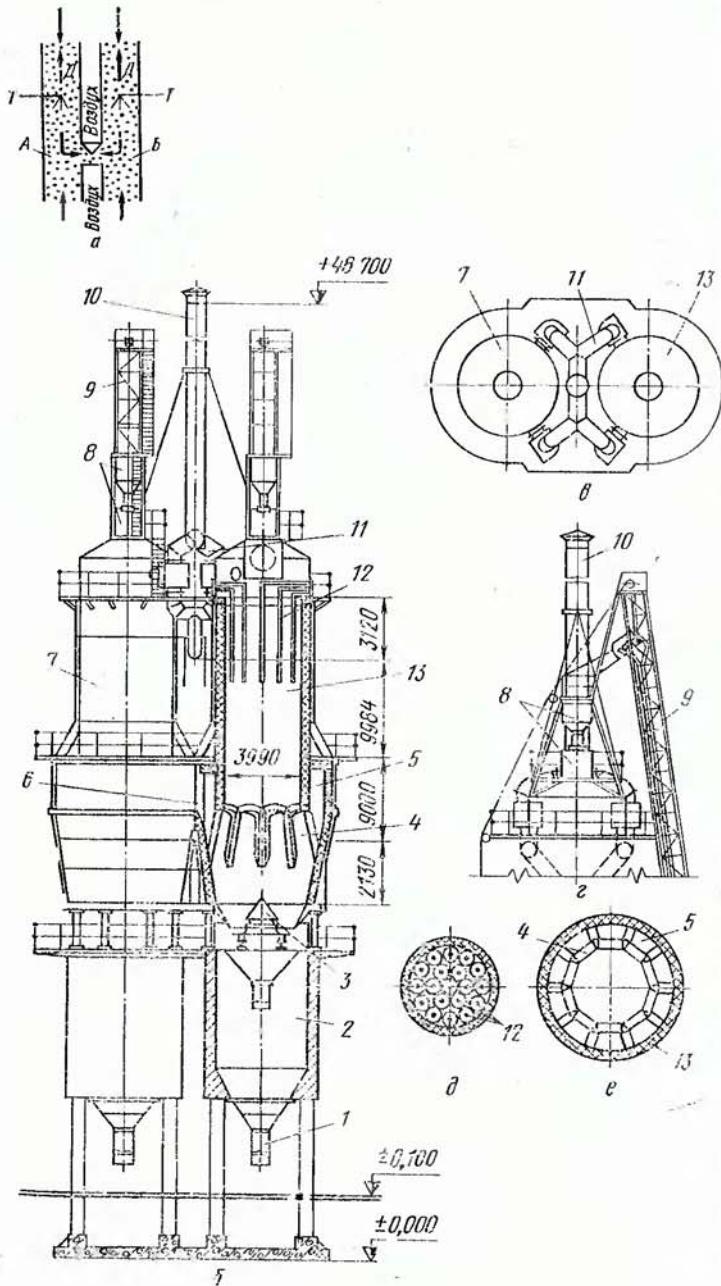


Рис. 47. Шахтная двухколосная конструкции «Reckenbach»:
15 — топочные камеры; 2, 16 — форсунки; 3, 9, 14 — камеры; 4 — питатель; 5, 19 — откосы; 6 — теплообменник; 7 — футерованный трубопровод; 8, 10, 18 — пружины; 11 — механизм загрузки; 12 — конвейеры; 13 — дымоход; 17 — трубопровод первичного воздуха; 20 — зона охлаждения печи; 21 — шахта; 22 — железнодорожное основание; 23 — механизм выгрузки; 24 — бункер; 25 — вибрационный питатель; 26 — конвейер известняка



кий удельный съем извести с единицы лоперечного сечения печи [20—30 т/(м²×сут)], выпуск извести без «пережога», высокая степень диссоциации сырья (96—98%), умеренные капитальные затраты при реконструкции действующих шахтных пересыпных печей, обжиг фракционированного известняка с размерами кусков начиная с 15—20 мм и разбросом 1 : 3,5; 1 : 4 [3, 30, 31].

На рис. 48 показаны схема и печь ГПР. Печь состоит из двух полненных известняком шахт *A* и *B*, соединенных в нижней части каналом. Известняк движется сверху вниз и обжигается одновременно в двух шахтах. Вначале работает горелочное устройство шахты *A*. В шахту *A* сверху в параллельном токе с материалом поступает воздух для горения топлива. Тепло топлива расходуется на обжиг известняка в шахте *A*. Известь охлаждается в нижней части шахты воздухом, который поступает в зону охлаждения печи под давлением 15 кПа и вместе с отходящими из зоны обжига газами по соединительному каналу поступает в шахту *B*. Температура известия в конце зоны обжига поднимается до 1050—1100°C. Температура отходящих газов в соединительном канале поддерживается до 1200°C. В шахте *B* отходящие газы отдают тепло известняку в противотоке, охлаждаясь при этом до температуры 90°C.

Примерно через 15 мин переключением клапанов меняется направление движения газов, отключается горелочное устройство в шахте *A* и включается подача топлива в устройство шахты *B*. При этом зона обжига образуется в шахте *B*, а выходящие из нее через единственный канал газы охлаждаются в шахте *A*, которая в данном цикле служит зоной подогрева известняка. Поступающий в шахту *B* сверху под давлением 25 кПа воздух подогревается за счет аккумулированного известняком тепла до температуры 800°C что обеспечивает полное сгорание топлива при низком коэффициенте расхода воздуха.

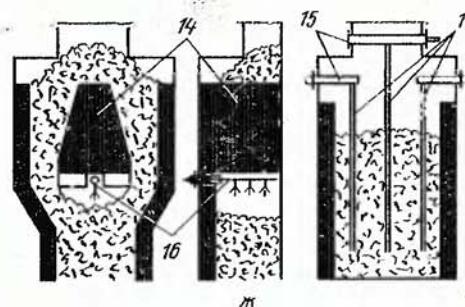


Рис. 48. Двухшахтная прямоточно-противоточная регенеративная печь производительностью 500 т/сут:

— принципиальная схема; *б* — общий вид печи; *в* — вид печи сверху; *г* — грузонесущее устройство печи; *д* — расположение газовых горелок в шахте; *е* — расположение перегородочных каналов в шахте; *ж* — схемы ввода жидкого и газообразного топлива в шахту;

— шлюзовой затвор; 2 — бункер извести; 3 — дутьевой конус; 4 — каналы отбора газов; 5 — колыцевой канал; 6 — соединительный канал; 7 — левая шахта; 8 — механизм загрузки; 9 — склоновый подъемник; 10, 11 — трубопроводы газящих газов; 12 — газовые горелки; 13 — правая шахта; 14 — керамическая балка (арка); 15 — держатели; 16 — мазутная форсунка

Таблица 52

Характеристика и основные показатели работы шахтных печей,

Показатели	Производительность, т/сут	
	100	100
	2	3
Страна Фирма	ВНР, «Nikex»	Англия «West»
Тип печи	—	«Катагаз»
Высота печи, м:		
строительная	34	24
рабочая	21	17
Размеры шахты в свету, м:		
в зоне подогрева	Эллинс 2×4,2	3
в зоне обжига	То же	3
Средняя площадь поперечного сечения в зонах обжига и подогрева, м ²	7	7,4
Полезный объем шахты (приблизительно), м ³	147	126
Удельный стек извести:		
т/(м ² ·сут)	14,3	13,5
т/(м ³ ·сут)	0,68	0,8
Расход условного топлива, кг/т извести	193	156
Вид топлива	Мазут	Нефть
Теплота сгорания, МДж/кг (МДж/м ³)	39,9	41,9
Характеристика известняка:		
содержание CaCO ₃ , %	97—98	97
фракция, мм	160—110; 110—60	200—125; 125—75
Характеристика извести:		
содержание активных CaO+MgO, %	90	90
остаточное CO ₂	3—6	3,7
время гашения, мин	До 10	10—15
Тип дозатора сырья	Питатель барабанный с регулируемым обратным сектором	—
Тип загрузочного устройства	Скиповое с двухклапанным механизмом загрузки и весами	Ленточный конвейер и двухклапанный механизм загрузки

работающих на газообразном и жидким топливе, зарубежных стран

ФРГ «Warmestelle» Двухточечная, конструкция Баккенбаха	Производительность, т/сут				
	150	150	275	500	600
	4	5	6	7	8
ФРГ Завод в Хёнетале					
США «Union Carbide Corporation»					
С импульсными горелками	28 19	28,25 21,6	30 17	30 15,83	21,35 18
Прямоточная регенеративная двухшахтная	3,85 3,85 11,65	2,7 2,7 11,28	4 4 25,1	4,27×4,27 4,27×4,27 (18,1)	
123	240	295	434	325	
136	153	127	126	170	
Мазут 41	Мазут; кокс 41,9; 29,3	Природный газ (32,4)			
98—98,5 170—70	97 80—60	97—98 120—80	98,13 100—50;		
94—96	96	95—96	95—96	85—95	
2—2,5 5—10	1—1,5 10—20	1,5—2,5 3—5	1,5—2,5 3—5	2—5 20—30	
Ленточный конвейер и двухклапанный механизм загрузки	Весовой дозатор				Электровибрационный питатель
Кюбельное или конвейерное с двухклапанным механизмом загрузки	Скиповое с врачающимся бункером и двухклапанным механизмом загрузки	Скиповое с врачающимся бункером и двухклапанным механизмом загрузки	Скиповое с двухклапанным механизмом загрузки		

Продолжение табл. 52

1	2	3	4	5	6	7	8
Тип механизма выгрузки	Движущаяся колесниковая решетка с гидроприводом	Бункер с вибрационным питателем	Плунжерные толкатели с разгрузочными столами и вибрационным питателем	Вращающаяся решетка	Вращающийся выгрузочный стол	Шесть разгрузочных бункеров с вибрационными питателями и весами	
Система ввода и сжигания топлива: принцип сжигания топлива	Предварительная газификация мазута в топках	Предварительная газификация мазута в испарительных камерах	Предварительная газификация мазута в топочных камерах	Сжигание в слое жидкого и твердого топлива (27—28%)	Сжигание в слое материала		
система ввода топлива	Два яруса по шесть топочных камер	Один ярус из шести испарительных камер диаметром 625 мм и длиной 600 мм	Два яруса по три топочных камеры	Три яруса по 10 периферийных форсунок и подача в приосевую область кокса	Один ярус вертикальных трубчатых диффузионных горелок	Два яруса по три барабанные горелки	
Тип горелки (форсунки)	Механическая форсунка с паровым распыливанием	Вращающаяся форсунка механического распыливания	Смесительные горелки	Импульсные форсунки механического распыливания	Диффузионные трубчатые горелки	Водоохлаждаемые барабанные горелки	
Число горелок (форсунок), шт.	12	6	6	30	Нет св.	Нет св.	Нет св.
Температура отходящих из печи газов, °С	250	270	150	165	130	110	315
Температура извести, °С	50	100	50	80	80	80	80
Разрежение на выходе из печи, кПа	3	3	4,2	3	Давление от 15 до 25	15	15
Средний химический состав отходящих газов, % (объемы):							
CO ₂	3,0	31—32	32—33	32—33	18,3	18,1	Нет св.
O ₂	2—3	2—3	1—3	3—4	10,1	11,4	То же
CO	0,5	Нет св.	Нет св.	1	Нет св.	Нет св.	»
Потребление электроэнергии, кВт·ч/т извести	30	20	22	20	26,8	21,4	22
Кладка печи в зоне обжига:							
футеровка	Хромомагнезитовый кирпич	Бетон с содержанием глинозема 60%	Магнезитовый и кирпич	шамотный	Магнезитовый кирпич		
теплоизоляция	Легковесный кирпич, слой засыпки молотым трепелом 650	Нет св.	Легковесный и диатомовый кирпич 780	Легковесный кирпич и слой засыпки молотым трепелом	Мокрый скруббер	700	Групповой циклон
Общая толщина стенки, мм		700	Гравийный фильтр	Нет св.			
Установка для обессыпывания отходящих газов	Групповые циклоны	Нет св.					

Зак. 478

Печь оснащена регулирующей и измерительной аппаратурой, позволяющей управлять режимом обжига в печи с центрального пульта.

Впервые печи ППР построены в 1957—1958 гг. в Австрии фирмой «Maez Ofenbau A G». В 1974 г. в мире было построено более 100 печей ППР. Интенсивная реконструкция шахтных пересыпных печей при переводе их с твердого топлива на газообразное по схеме ППР осуществляется на заводах ФРГ [31].

Основные характеристики и показатели двухшахтных печей ППР с круглым поперечным сечением приведены в табл. 52.

Для обжига мелкокускового сырья (20—80 мм) целесообразно использовать трехшахтные печи (рис. 49). В трехшахтной печи одна шахта работает в режиме параллельного тока газов и мате-

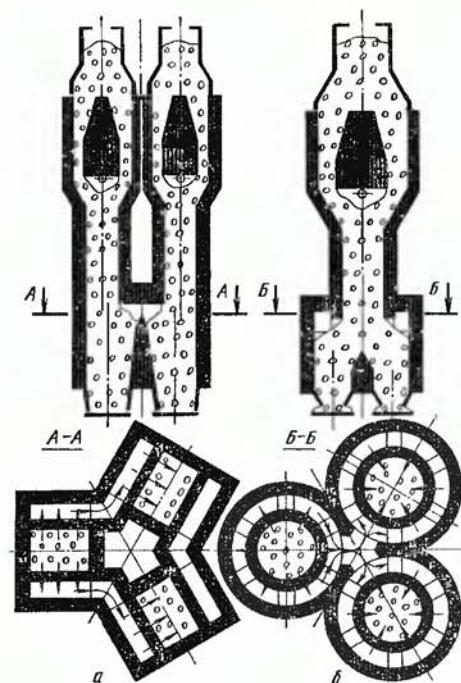


Рис. 49. Схема трехшахтной печи ППР, работающей на мазуте:
а — с шахтой прямоугольного поперечного сечения;
б — с шахтой круглого поперечного сечения

риала, а две — в режиме противотока. Первая трехшахтная печь ППР эксплуатируется с 1964 г. на заводе фирмы «Wapfinger Kalk und Steinwerke Meserschmidt» в Австрии. Каждая шахта имеет площадь поперечного сечения 2 м², полезную высоту 7,5 м. В качестве топлива используется природный газ. Удельный расход условного топлива 118 кг/т. Производительность печи 160 т/сут. В настоящее время эксплуатируются трехшахтные печи производительностью 300—400 т/сут.

ГЛАВА III АГРЕГАТЫ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧЬЮ

Доля выпуска извести во вращающихся печах на предприятиях черной металлургии превышает 35%, а промышленности строительных материалов — 15% общего объема производства и продолжает увеличиваться.

Это объясняется наличием больших запасов мелового сырья, высоким качеством получаемой извести и улучшением технико-экономических показателей производства извести при использовании вращающихся печей производительностью 500—1000 т/сут. Для выпуска извести используются печи вращающиеся, изготавляемые для цементной промышленности заводом Волгоцеммаш, а также разработанные институтом ВНИИЦеммаш специально для производства извести из кускового мела, мелового шлама и фракционированного известняка.

В комплект печного агрегата входит: вращающаяся печь, ходильник извести, подогреватель сырья, жарот-утюмизатор, устройство для склизания топлива, оборудование для очистки газов и тягодутьевые машины.

1. ДЛИННЫЕ ВРАЩАЮЩИЕСЯ ПЕЧИ С ТЕПЛООБМЕННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ ВНУТРИ КОРПУСА

Длинные вращающиеся печи ($L/D_0 = 32 \div 42$), снабженные внутренними теплообменными устройствами, применяют для производства извести сухим и мокрым способами. При этом используются печи типа ПВМ 2,5×75, 3,6×110, 4×150, 4,5×170 (табл. 53). Длинная вращающаяся печь состоит из цилиндрического стального корпуса, опирающегося на роликовые опоры, загрузочной и разгрузочной головок и привода.

Корпус печи представляет собой сваренный из колец, секций или сегментов полый барабан диаметром от 2,2 до 7 м и толщиной от 20 до 60 мм. Для изготовления обечайек корпусов толщиной до 25 мм используются листы прокатной стали марки ВСтЗСП5 (ГОСТ 380—71), толщиной более 25 мм — марки М16С (ГОСТ 6713—75). В качестве замены для обечайек любой толщины рекомендуется использовать листы проката из стали марки 09Г2С (ГОСТ 19282—73).

На корпусе печи на башмаках посажены свободно бандажи (кольца прямоугольного сечения). Бандажи изготавливают из стали марок: 30ГСЛ, 35ХГСЛ, 35ХМЛ (ГОСТ 7832—76) или 30ГС, 35ХГС, 35ХМ (ГОСТ 4543—71). Литые башмаки, привариваемые к подбандажным пластинам с обеих сторон бандажа, препятствуют осенному смещению бандажа. Температурные расширения корпуса по отношению к бандажам компенсируются зазором 3—5 мм в верхней части бандажа (в холодном состоянии).

Бандажи опираются на роликовые опоры (рис. 50), смонтированные на металлической раме, которая установлена на железобетонном фундаменте. Опорный ролик состоит из литого стально-цилиндра, плотно посаженного на кованую ось, вращающуюся

Таблица 53

Техническая характеристика вращающихся печей, применяемых

Показатели	Длинные печи с размерами корпуса, м			для обжига карбонатных пород на известь					
	2,5×75*	3,6×110	4×150	4,5×170	2,7×65,6*	3×60	3,6×75	4×60	5×75
Уклон корпуса, %	3,5	3,5	4	4	4	3,5	3,5	3,5	3,5
Частота вращения корпуса: от главного привода, об/мин	0,6—1,3	0,25—1,173	0,57—1,14	0,7—1,4	0,6—1,5	0,64—1,28	0,65— 1,367	0,57— 1,15	0,6—1,39
от вспомогательного привода, об/ч	3,77	3,9	3,9	4	3,4	3,8	4	3,96	3,96
Характеристика главного привода: тип		Односторонний		Двусторон- ний		Односторонний			
Электродвигатель: тип	АК-103-8М	П-1,11	ФАМСО- 1410-8	П2-450- 131-794	АК-101-6М	АК-102-8	АК-111- -8	А313-59- -42	ФАМСО 148-6
мощность, кВт	100	95	280	2×250	100	75	132	100	320
напряжение, В	380	460 (пост.)	6000	6000	380	380	380	380	6000
частота вращения ро- тора, об/мин	740	730	740	800	975	725	730	975	985
Число опор печи, шт.	4	6	7	7	4	4	5	3	3
Способ регулирования по- ложения печи на опорных роликах	Упорным устройством	Системой сжатия упор устройств		Гидравличес- кими уст- ройствами	Упорным устройством			Системой гидрав- лических упорных устройств	
Число упорных устройств, шт.	1	2	4	4	1	1	1	2	2
Масса элементов печи, т:									
корпуса печи	122,25	340	578,4	650	135	159,5	224,4	289	458,3
внутренних теплообмен- ных устройств (из ме- талла)	28,32	52	104	150	—	—	—	—	—
металла всего (без элек- трооборудования) огнеупоров	420	800	1416	1816	480	Нет св.	474	550	670
установки рекуперато- ров	Нет св.	Нет св.	722	1000	Нет св.	То же	462	363	1180
	66,83	—	—	—	50	—	—	—	—

* С рекуператорным холодильником.

в двух подшипниках скольжения с бронзовыми вкладышами. Каждый подшипник имеет черпаковое устройство для подачи масла на шейку оси ролика и каналы для охлаждения ролика проточной водой.

С целью предотвращения осевого смещения печи часто одну или две пары опорных роликов устанавливают под углом к оси пе-

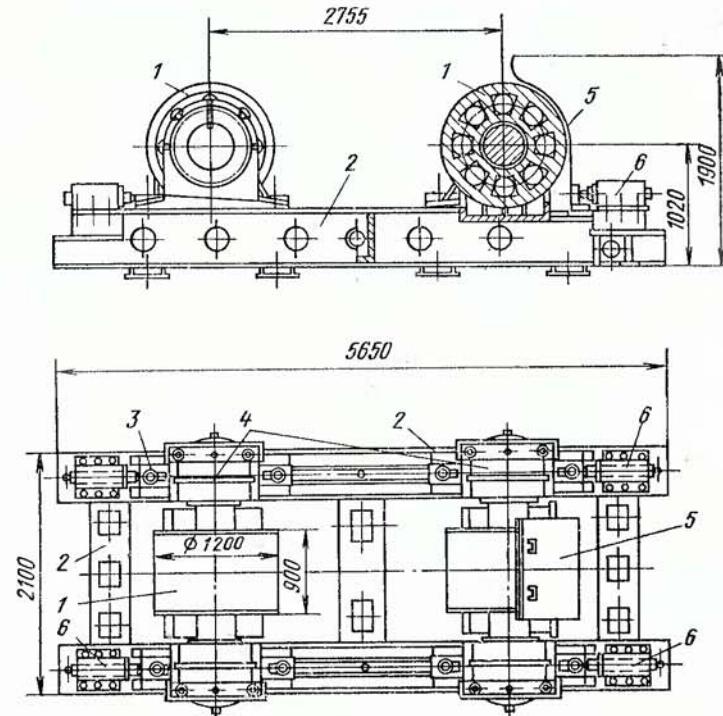


Рис. 50. Установка опорных роликов вращающейся печи размером 3,6×75 м
1 — опорные ролики; 2 — спарная рама; 3 — натяжные болты; 4 — подшипники роликов; 5 — кся ух; 6 — упоры

ти. Перекашивание роликов сопровождается повышенным износом, сокращением срока службы подшипников, увеличением расхода электроэнергии на привод печи и используется как вынужденная мера.

Для ограничения осевого перемещения печи служит упорное устройство (рис. 51), которое состоит из станины, двух упорных роликов и системы автоматической смазки. Упорные ролики на прессованы на вертикальные оси, вращающиеся в роликовых подшипниках. Упорные контрольные ролики устанавливают у опоры находящейся вблизи от венцовой шестерни печи, с двух сторон бандажа. Зазор между роликом и бандажом составляет 20–60 мм. Вращение одного из контрольных роликов свидетельствует о сбо-

вирующем предельном осевом смещении печи, допускаемом для нормального зацепления венцовой и подвенцовой шестерен.

В печах новых конструкций применены более совершенные роликовые опоры. Роликовая опора печи 4,5×170 м состоит из фундаментной рамы, двух опорных роликов и защитных экранов. Конструкция фундаментной рамы предусматривает специальные площадки для монтажа опорных блоков, гидроупоров для регулирова-

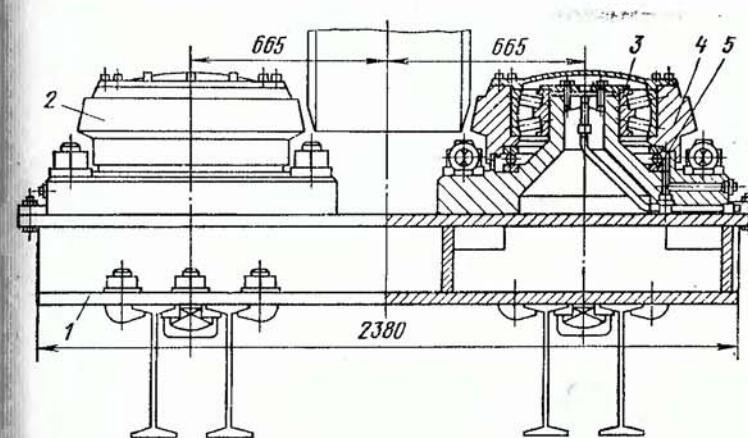


Рис. 51. Упорное устройство вращающейся печи размером 4×150 м:
1 — станина; 2, 4 — упорные ролики; 3 — двухрядный сферический роликовый подшипник; 5 — подшипник с коническими роликами

ния хода печи вдоль ее оси, а также специальных гидродомкратов для регулирования положения опорных блоков.

Для удержания корпуса печи в определенном положении и для восприятия осевой нагрузки на печи 4,5×170 м использована система из четырех гидравлических упоров.

Гидроупор (рис. 52) состоит из упорного ролика, оси, корпуса, направляющих, гидроцилиндра и станины. Гидроупор монтируется на раме опорных роликов так, чтобы упорный ролик примыкал к скосу бандажа. Корпус упорного ролика установлен на двух цилиндрических направляющих, установленных в станину, и имеет возможность возвратно-поступательного движения в направляющих. В корпус запрессована ось с упорным роликом, установленным на двух сферических роликовых подшипниках, воспринимающих осевые нагрузки. Для восприятия вертикальной составляющей осевой нагрузки ось снабжена упорным шариковым подшипником.

Все гидроупоры соединены между собой маслопроводом и с группой маслонасосов. Управление работой гидроупоров осуществляется с пульта дистанционно или в автоматическом режиме.

Система гидроупоров работает следующим образом. При работе маслонасосов в гидроцилиндрах развивается усилие, сдвигающее корпус печи вверх (в сторону загрузочного конца). При достижении верхнего крайнего положения срабатывает конечный выключатель

и маслонасос останавливается. За счет дросселирования масла в блоке управления усилие, развиваемое штоком гидроцилиндра, уменьшается, и корпус печи под действием осевой составляющей его веса постепенно (за 12—24 ч) сползает вниз (к разгрузочному концу). В крайнем нижнем положении корпуса печи срабатывает нижний конечный выключатель, пускающий маслонасосы системы, и гидроупоры начинают постепенно сдвигать корпус печи вверх.

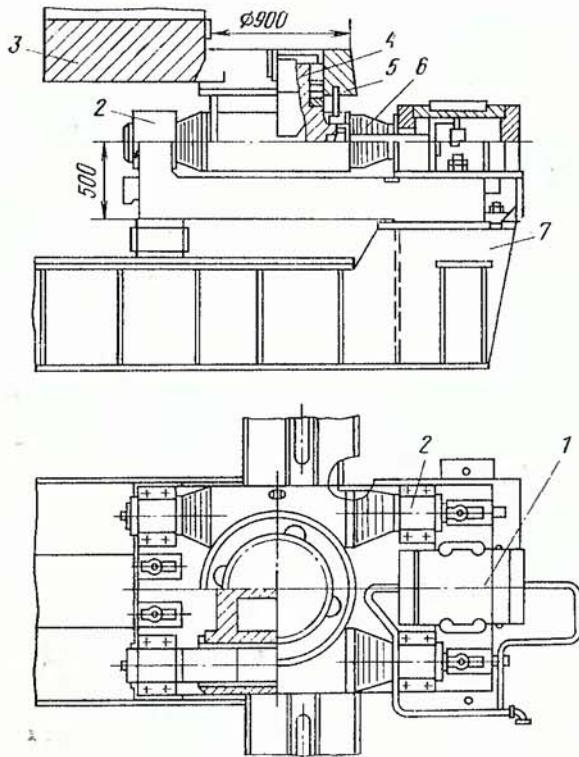


Рис. 52. Гидравлический упор печи размером 4,5×170 м:

1 — гидроцилиндр; 2 — направляющие; 3 — бандаж; 4 — ось; 5 — упорный ролик; 6 — корпус ролика; 7 — станина

Привод печи. Корпус печи имеет наклон 3—4% к горизонту и вращается с частотой 0,25—1,5 об/мин от электродвигателя главного привода, соединенного с корпусом через редуктор, подвесную и венцовую шестерни. С увеличением диаметра корпуса увеличивается радиальное усилие, передаваемое подвенцовой шестерней. Поэтому печи большого размера снабжены двусторонним приводом с одной венцовой и двумя подвенцовыми шестернями.

Остановка печи в любом положении осуществляется электромагнитным фрикционным тормозом, зажимающим приводной вал при срабатывании электромагнита.

Печь снабжена резервным (вспомогательным) приводом небольшой мощности, позволяющим вращать ее корпус с частотой 4 об/ч в период пуска и при ремонтных работах.

Внутренние теплообменные устройства. Для улучшения теплообмена между газовым потоком и материалом в хвостовой части длинных печей размещают внутренние теплообменные устройства. С этой целью для известообжигательных печей применяют цепные, ячейковые и циклоидные теплообменники [3, 5, 32, 33].

Цепной теплообменник — устройство, в котором происходит конвективно-регенеративный теплообмен газов и материала: прогрев цепей печными газами и отдача тепла напретмы цепям материала. На практике применяют три способа навески цепей — навеска со свободными концами, гирляндная навеска с креплением за оба конца и хордовая навеска [33—35]. Техническая характеристика цепного теплообменника приведена в табл. 64.

Таблица 54

Техническая характеристика цепного теплообменника для печи ПВМ 3,6×110 при влажности мелового шлама 44%

Показатели	Участок цепей со стороны загрузочного конца печи		
	1	2	3
Тип цепей	ЦОН-22× ×120	ЦКН-22× ×100	П-22×164
Поверхность цепей, м ²	750	180	145
Всего цепей, шт.	831	180	162
Количество цепей в одном витке, шт.	72	36	36
Коэффициент плотности навески, м ² /м ²	3,6	1,9	1,5
Длина участков, м	22,8	9,5	9,5

П р и м е ч а н и е. Навеска цепей — гирляндная, трехзаходный винт.

Для перечисленных способов навески в зависимости от места расположения в печи используют круглые и овальные корабельные цепи или цепи из жаропрочной стали (содержание хрома 18—30%) с диаметром прутка от 16 до 26 мм (табл. 55).

Длина цепного теплообменника по оси печи составляет 20—45 м. Рекомендации по применению цепных теплообменников в различных зонах вращающихся печей приведены в табл. 56.

Ячейковый металлический теплообменник из жаропрочной стали эффективен в теплотехническом отношении. Он состоит из полок, шарнирно соединенных с башмаками, которые болтами прикреплены к корпусу печи. Каждая пара полок соединена между собой шарнирно. Такое крепление предохраняет теплообменник от температурных деформаций. Теплообменник делит поперечное сечение печи на секции (ячейки), в которых интенсивность отдачи тепла от газов к материалу значительно увеличивается [3, 5, 9].

Таблица 55

Характеристика цепей с кольцевыми и овальными звеньями

Показатели	Диаметр прутка цепи, мм				
	16	18	20	23	26
Кольцевые звенья:					
масса 1 м цепи, кг . . .	8,7	10,7	13,3	17,6	22,4
поверхность 1 кг цепи, м ² /кг	0,025	0,023	0,02	0,018	0,016
Овальные звенья:					
масса 1 м цепи, кг . . .	5,6	6,94	8,76	11,4	14,51
поверхность 1 кг цепи, м ² /кг	0,027	0,024	0,021	0,019	0,016

Таблица 56

Рекомендации по применению цепных теплообменников в различных зонах вращающихся печей при мокром способе обжига

Наименование и характеристика навесных цепей	Температура газов в зоне навески цепей, °С	Продолжительность работы цепей, мес.
Цепи овальные нормальной прочности, изготовленные из углеродистой стали:		
ЦОН 25×120	300—500	24—36
ЦОН 22×120	300—500	24—30
ЦОН 19×120	300—500	8—18
Цепи овальные, изготовленные из стали X18H10T:		
П 25×170	600—1000	11—13
П 22×164	600—900	11—13
Цепи кольцевые нормальной прочности, изготовленные из углеродистой стали:		
ЦКН 25×120	300—500	12—30
ЦКН 22×100	300—500	12—30
ЦКН 19×90	300—500	8—18
Цепи кольцевые, изготовленные из стали X18H10T, типа П 22×164	500—700 800—900	12—15 3—8

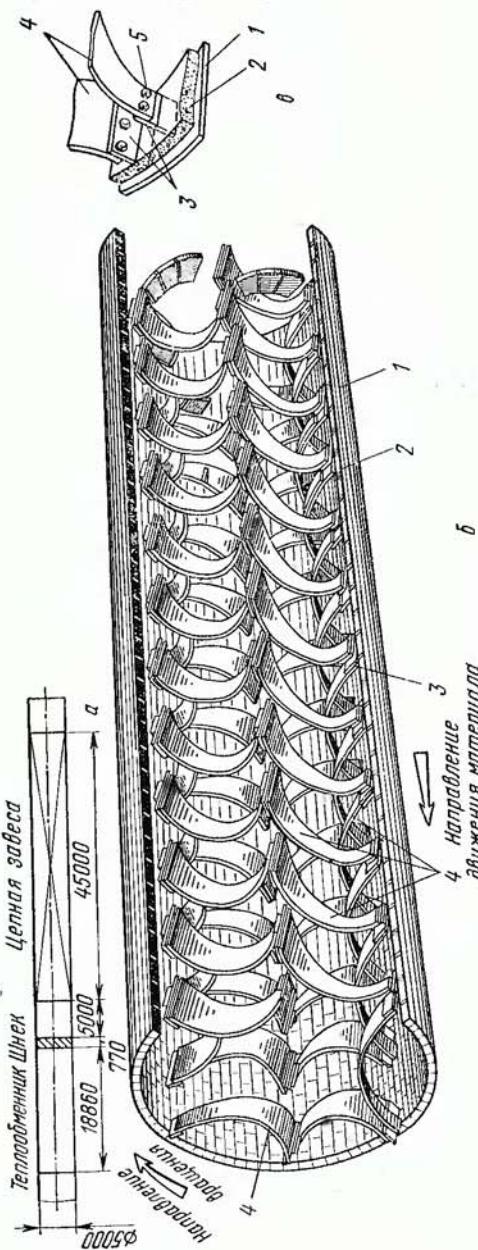


Рис. 53. Циклоидный металлический теплообменник конструкции НИИцемента:
 а — схема расположения теплообменных устройств в барабане печи ВГМ 5×185; б — циклоидный теплообменник; в — крепление лопастей;
 а — схема расположения теплообменных устройств в барабане печи ВГМ 5×185; б — циклоидный теплообменник; в — болт
 лопастей; 1 — корпус печи; 2 — футеровка печи; 3 — лопасти; 4 — пластин; 5 — болт

Циклонный металлический теплообменник (рис. 53) успешно эксплуатируется на вращающихся печах цементной промышленности. Теплообменник представляет собой набор лопастей, изготовленных из листовой жаропрочной стали толщиной 12–16 мм. Лопасти болтами крепятся к пластинам, приваренным к корпусу печи. Конструкция обеспечивает интенсификацию теплообмена материала с газами при незначительном повышении пылеуноса и аэродинамического сопротивления печи [32, 33].

Проектная характеристика ячейкового и циклонного теплообменников для печей ПВМ 5×185 (по данным Южгипроцемента)

Тип теплообменника	Циклонный Ячейковый	
Поверхность теплообмена, м ²	170	490
Длина по оси печи, м	18,86	15,6
Расстояние от загрузочного конца печи, м	60	71,5
Масса теплообмена, т:		
общая	22,8	68,5
в том числе жаропрочной стали	15,9	57,3
Марка жаропрочной стали	X23Н18	X28Л

Головки печи. Корпус печи загрузочным концом входит в загрузочную головку (пылеосадительную камеру), а разгрузочным—в откатную или стационарную головку печи.

Загрузочная головка представляет собой металлоконструкцию, сваренную из листовой стали и футерованную изнутри шамотным огнеупором. В верхней части головки расположен фланец, к которому прикреплена питательная труба диаметром 300–400 мм. Труба имеет дополнительные тяги, соединенные с крышкой головки.

На передней стенке загрузочной головки установлены один или два взрывных предохранительных клапана диаметром 800 мм, ремонтный люк и предусмотрено отверстие диаметром 800–2500 мм для газохода печных газов. Нижняя часть головки снабжена бункером—пылесборником.

Разгрузочная (горячая) головка также сварена из листовой стали и футерована изнутри шамотным огнеупором. Разгрузочная головка выполняется откатной (для печей небольшой и средней мощности) или стационарной. На передней стенке стационарной головки монтируется откатная дверь, в которой устроены отверстия для монтажа горелочных устройств и размещены ремонтный и смотровые люки.

Уплотнительные устройства вращающейся печи. Уплотнительные устройства служат для герметизации мест соединения корпуса печи с ее головками.

Уплотнение загрузочного конца длинных вращающихся печей, работающих по мокрому способу обжига, осуществляется транспортерной лентой, один конец которой (по ширине ленты) болтами прикреплен к обечайке, смонтированной на торцовом листе загрузочной головки. Второй конец ленты свободноложен на обечайку, смонтированную на загрузочном конце корпуса печи. Для лучшего прилегания к поверхности обечайки конец ленты по окружности оттянут тросовой пружинной стяжкой.

Уплотнение загрузочного конца корпуса печей, работающих по сухому способу, осуществляется типовым устройством (рис. 54), состоящим из подвижного и неподвижного трущихся друг о друга колец, поверхности трения которых смазываются консистентной

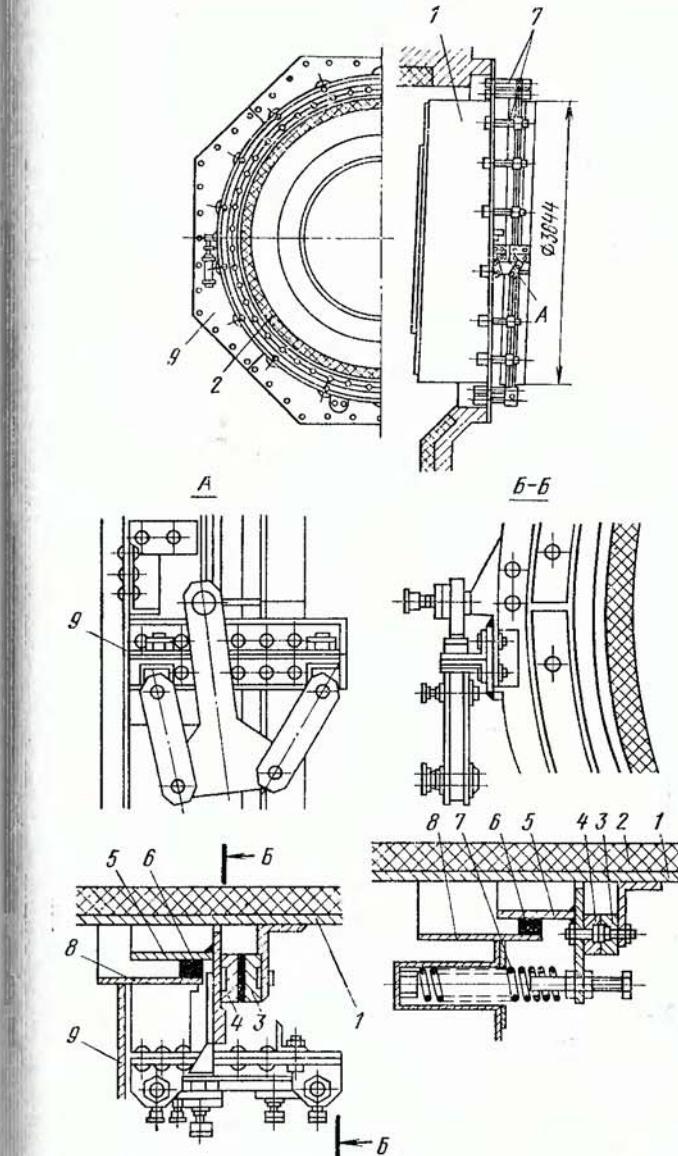


Рис. 54. Уплотнение загрузочного конца вращающейся печи диаметром 3,6 м:
1 — корпус печи; 2 — футеровка печи; 3, 4 — вращающееся и неподвижное уплотнительные кольца; 5 — промежуточное кольцо; 6 — лабиринтное кольцо; 7 — пружина; 8 — кольцо, укрепленное на кожухе головки печи; 9 — кожух головки

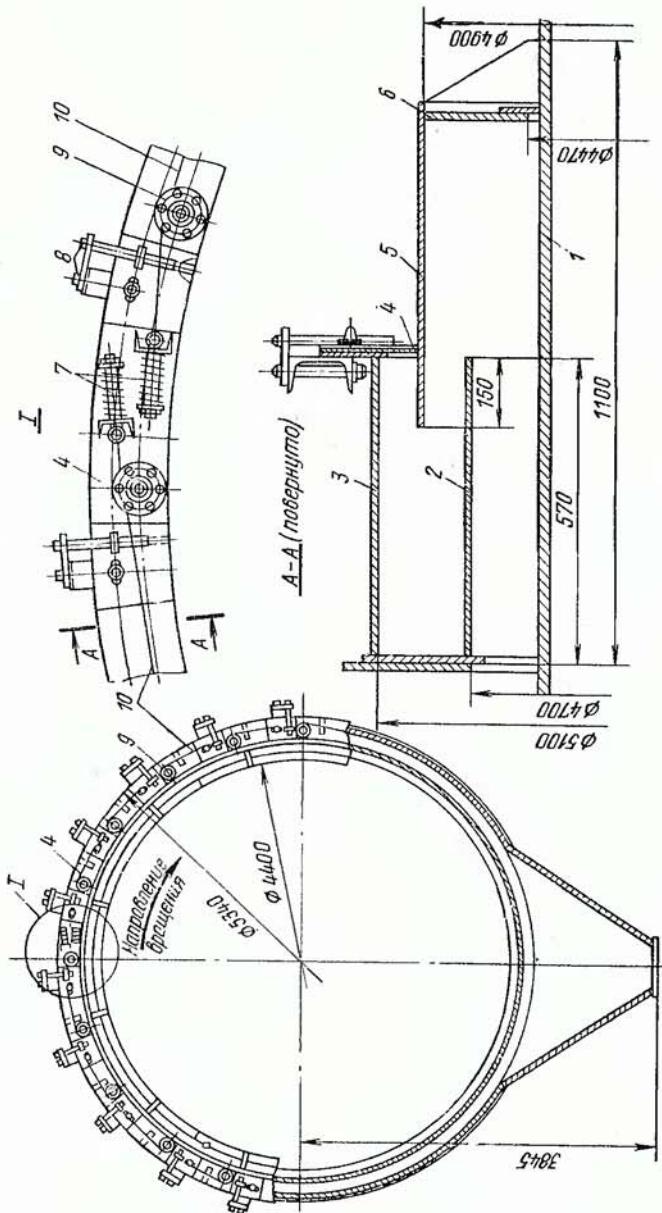


Рис. 55. Типовое уплотнение разгрузочного конца вращающейся печи 4,5×70 м конструкции ВНИИцеммаша:
 1 — корпус печи; 2, 3 — неподвижные обечайки; 4 — сектор; 5 — концевая обечайка; 6 — пружины; 7 — концевая обечайка; 8 — подвижная обечайка; 9 — ролики; 10 — стержни; 11 — тросы.

смазкой. Постоянный контакт колец обеспечивается при помощи шести регулируемых пружин [3, 9].

Типовое уплотнение разгрузочного конца вращающейся печи 4,5×170 м для производства извести (рис. 55) состоит из двух неподвижных обечайек 2 и 3, приваренных к кожуху головки, обечайки 5, смонтированной на корпусе печи, и металлических секторов 4. Секторы при помощи системы тросов, пружин, стержней и роликов прижимаются к поверхности обечайки 5, чем и обеспечивается необходимая герметизация печи.

2. ФУТЕРОВКА ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ

Для футеровки вращающихся печей используют огнеупорные и высокогенеупорные изделия по ГОСТ 21436—75, марки, области применения, форма, размеры, технические требования которых приведены в табл. 57—60.

Укладка футеровки. При футеровке печи кирпичи располагают продольными рядами, строго вдоль образующей корпуса, с перевязкой поперечных швов. Участки футеровки, выполняемые вперевязку, разбивают на отдельные панели, примыкающие друг к другу по прямому обрезу. При этом кирпичи укладывают строго по радиусу печи. Категория кладки по зонам печи устанавливается техническими условиями или проектом.

Штучные огнеупорные изделия укладываются на огнеупорных растворах (табл. 61). Толщина швов зависит от категории кладки и составляет 1—3 мм.

Таблица 57

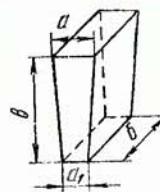
Марки и область применения огнеупорных изделий для футеровки вращающихся трубчатых печей

Марки	Характеристика	Применение
МЛЦ	Муллитовые	Зона охлаждения и переходные участки печей диаметром 4 м и более
МКРЦ ШЦУ	Муллитокремнеземистые Шамотные уплотненные	То же Зоны охлаждения и цепная, переходные участки и холодильник
ШЦО	Шамотные обычные	Зона дегидратации, кальцирования и подогрева
ПЦ	Полукислые	Участки с повышенными требованиями к плотности кладки и пониженными к химическому износу
ШЦЛ-1,3	Шамотные легковесные	Зона кальцирования и дегидратации
ХМЦ МХЦ ПШЦ	Хромомагнезитовые Магнезитохромитовые Периклазошпинелидные	Зона спекания печей То же » »

Таблица 58

Форма и размеры огнеупорных изделий
для футеровки вращающихся печей

Наименование изделий	Номера изделий	Размеры, мм				Примечание
		<i>a</i>	<i>a₁</i>	<i>b</i>	<i>v</i>	
<i>Алюмосиликатные (МЛЦ, МКРЦ, ШЦУ, ШЦО, ПЦ, ШЦЛ-1,3)</i>						
Клин торцовый двусторонний	1	100	88	150	300	2 2,3—5,1
	2	75	55	150	300	1 2,3—5,1
	3	100	92	150	200	4 3,1—5,1
	4	75	65	150	200	{ 3 3,1—5,1
						5 1,5—3,1
	5	75	55	150	200	4 1,5—3,1
	14	100	92	200	200	15 3,1—5,1
	15	75	65	200	200	14 3,1—5,1

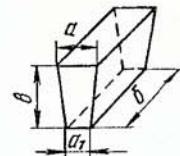


Магнезиальношпинелидные (ХМЦ, МХЦ, ПШЦ)

21	80	73	200	230	23	3,1—5,4
23	65	55	200	230	{ 21 3,1—5,4	
					{ 32 3,1—5,4	
24	70	62	120	200	26	2,2—3,6
25	70	62	150	200	27	2,2—3,6
26	70	57	120	200	24	2,2—3,6
27	70	57	150	200	25	2,2—3,6
28	65	55	150	230	{ 29 3,1—5,4	
					{ 31 3,1—4,4	
29	80	73	150	230	28	3,1—5,4
30	120	113	150	230	29; 31	4,4—7

Алюмосиликатные изделия

Клин ребровый двусторонний	16	100	94	200	160	17 3,1—5,4
	17	75	67	200	160	{ 16 3,1—5,4
						{ 18 1,6—3,1
	18	75	60	200	160	17 1,6—3,1
	19	100	95	200	120	20 1,8—4,9
	20	75	65	200	120	19 1,8—4,9



Продолжение табл. 58

Наименование изделий	Номера изделий	Размеры, мм				Примечание
		<i>a</i>	<i>a₁</i>	<i>b</i>	<i>v</i>	
<i>Магнезиальношпинелидные изделия</i>						

Клин торцовый двусторонний	31	103	92	150	230	28 3,1—4,4
	32	103	92	200	230	23 3,1—4,4
	35	80	75	150	160	36 3,1—5,2
	36	65	58	150	160	35 3,1—5,2

Таблица 59

Технические требования к алюмосиликатным изделиям для вращающихся печей

Показатели	Нормы для изделий марок					
	МЛЦ	МКРЦ	ШЦУ	ШЦО	ПЦ	ШЦЛ-1,3
<i>Химический состав, %:</i>						
содержание Al_2O_3 , не менее	62	45	32	28	—	28
иे более	—	—	—	—	28	—
содержание SiO_2	—	—	—	—	65—85	—
<i>Огнеупорность, °С, не ниже</i>						
1800	1750	1710	1670	1670	1670	1670
<i>Температура начала деформации под нагрузкой 0,2 МПа, °С, не ниже</i>						
1450	1400	1370	1300	1350	—	—
<i>Предел прочности при сжатии, МПа, не менее</i>						
25	30	25	18	18	4,5	—
<i>Термическая стойкость (нагрев до 1300°C), водяных теплосмен, не менее</i>						
4	3	4	—	—	—	—

Таблица 60

Технические требования к магнезиальношпинелидным изделиям для вращающихся печей

Показатели	Нормы для изделий марок		
	ХМЦ	МХЦ	ПШЦ
<i>Химический состав, %:</i>			
содержание MgO , не менее	42	65	65
содержание Cr_2O_3	20—30	7—15	7—15

Продолжение табл. 60

Показатели	Нормы для изделий марок		
	ХМЦ	МХЦ	ПШЦ
Температура начала деформации под нагрузкой 0,2 МПа, °С, не ниже . . .	1470	1500	1540
Открытая пористость, %, не более . . .	24	20	23
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее . . .	25	30	30
Термическая стойкость (нагрев до 1300°С), водяных теплосмесей, не менее . . .	2	8	4

Повышение стойкости футеровки. На стойкость футеровки влияют: вид огнеупора и его качество, диаметр печи, качество выполнения футеровки, механическое состояние корпуса, ритмичность работы печи. Применение в зоне максимальных температур хромомагнезитового кирпича вместо шамотного позволяет в 2—3 раза повысить стойкость футеровки. По данным цементной промышленности [35, 36], использование магнезитохромитовых огнеупоров на шамотной связке увеличивает стойкость футеровки на 22—73% по сравнению с хромомагнезитовым кирпичом, уложенным на стальных пластинах. Использование магнезиально-железистых растворов на 15—20% повышает стойкость футеровки в зоне обжига по сравнению с укладкой ее на металлических пластинах (см. табл. 61). Увеличением диаметра корпуса печи стойкость футеровки снижается.

Стойкость футеровки из хромомагнезитового кирпича в зоне спекания цементных вращающихся печей различного диаметра

Диаметр корпуса печи, м	1,8—3	3,3—3,6	4	4,5	5
Стойкость футеровки, сут	185	170	120	112	70

Осадка опор печи увеличивает изгибающие моменты, действующие на корпус, и разрушает футеровку, поэтому необходимо систематически контролировать деформационное состояние корпуса.

Для футеровки корпуса печи следует применять кирпичи, кривизна которых соответствует диаметру корпуса. В противном случае разница в ширине швов по глубине футеровки превысит допуск, что ускорит ее разрушение.

Увеличение стойкости футеровки на участке установки металлического теплообменника достигается применением армированного жаропрочного бетона следующего состава: шамотный бой (фракция 20—30 мм) — 80%, портландцемент марки 500 — 20%, арматурная проволока диаметром 8—10 мм, свитая в спирали.

3. ХОЛОДИЛЬНИКИ ИЗВЕСТИ

Холодильник предназначен для охлаждения выходящей из вращающейся печи извести с температурой 900—1200°С до 40—150°С при максимальной рекуперации тепла извести с целью повышения теплового к. л. д. печи.

Таблица 61
Состав огнеупорных растворов для кладки штучных изделий во вращающихся печах [32, 36]

Раствор	Исходные материалы для приготовления сухой смеси	Объемное соотношение составляющих	Затворитель	Расход затворяющейся на 100 кг сухой смеси
Растворы, применяемые при укладке шамотных изделий: шамотно-цементные	Шамотный порошок фракции 0—0,5 мм. Портландцемент марки 400—600 без гидравлических добавок.	1—2	Вода	30—40
	Мертель шамотный фракции до 0,5 мм (или шамотный порошок) Огнетпорная глина фракции до 0,5 мм	1 (7—8)	Жидкое стекло плотностью 1300—1350 кг/м ³	35—40
Растворы, применяемые при укладке магнезиальных огнеупоров:	Молотый магнезитовый порошок МПК	4	Жидкое стекло плотностью 1350—1380 кг/м ³	15—20
магнезитовый № 1	Молотые чугунные отливки	1	—	—
магнезитовый № 2	Молотый магнезитовый порошок МПК	5	Жидкое стекло плотностью 1350—1380 кг/м ³	25—30
каустический № 1	Колчеданные отливки Каустический магнезит II—III классов	1	Жидкое стекло плотностью 1350—1380 кг/м ³	Около 40
хромомагнезитовый № 2	Молотые чугунные отливки Молотый хромомагнезитовый	1	Жидкое стекло плотностью 1350—1380 кг/м ³	30—40
	Колчеданные отливки	1	—	—

Эффективность работы холодильника оценивают по величине его теплового к. п. д. $\eta_{t,x}$ и температуре охлажденного материала [37]:

$$\eta_{t,x} = \frac{I_{\text{втор.в}} + I_{\text{дек}}}{\Sigma I_{\text{прих}}} \cdot 100\%, \quad (27)$$

где $I_{\text{втор.в}}$, $I_{\text{дек}}$, $\Sigma I_{\text{прих}}$ — соответственно энталпия вторичного воздуха (подогретого в холодильнике), затраты тепла на дополнительную декарбонизацию извести в холодильнике, сумма энталпий материала и охлаждающего воздуха на входе в холодильник, кДж из 1 кг материала.

Температура охлажденного материала зависит не только от эффективности работы холодильника, но и от расхода проходящего через холодильник воздуха, приходящегося на единицу массы материала. Поэтому, сравнивая температуру материала на выходе из различных или однотипных холодильников, следует учитывать удельный расход воздуха в установках.

Удельный расход воздуха при нормальных условиях во вращающейся печи при $a=1,1$ в зависимости от удельного расхода топлива на обжиг

Удельный расход условного топлива на 1 т извести, кг	170	180	200	220	240
Удельный расход воздуха, м ³ на 1 кг извести	1,45	1,54	1,71	1,88	2,05

Удельный расход условного топлива на 1 т извести, кг	260	280	300	320	400
Удельный расход воздуха, м ³ на 1 кг извести	2,23	2,4	2,57	2,76	3,43

Удельный расход воздуха, проходящего через холодильник извести, составляет 70—100% общего расхода воздуха на обжиг.

В промышленности применяют холодильники барабанного типа, колосниковые, шахтные и кипящего слоя [3, 38].

Барабанные холодильники. Барабанные холодильники подразделяются на однобарабанные и многобарабанные (рекуператорные). Основные характеристики и показатели работы барабанных холодильников даны в табл. 62.

Однобарабанный холодильник представляет собой вращающейся стальной барабан диаметром 14—2,5 м и длиной 13—38,5 м, снаженный внутри металлическими полками и радиальными перегородками для ускорения процесса охлаждения извести.

Однобарабанный холодильник имеет невысокий тепловой к. п. д. (55—60%), существенно измельчает и истирает известь при охлаждении, в результате чего содержание фракций менее 5 мм достигает 30—35%.

Для конверторного производства стали требуется известь с размерами кусков 10—30 мм, поэтому на Новолипецком и Криворожском металлургических заводах однобарабанные холодильники извести были заменены на шахтные и колосниковые типа «Волга-25С», что позволило почти вдвое повысить выход крупных фракций извести во вращающихся печах и на 10—12% увеличить их производительность.

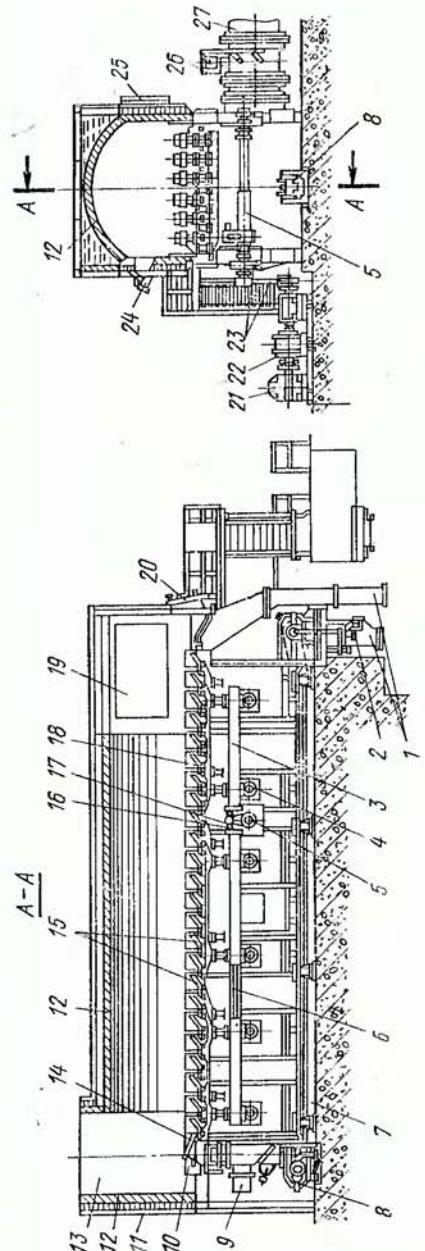


Рис. 56. Колосниковый холодильник конструкции ВНИИцемаша «Волга-25СИ»
 1 — течки; 2 — мигалка; 3 — толежка; 4 — опорный ролик; 5 — приводной вал; 6 — тяга; 7 — рама основания; 8 — скребковый конвейер; 9 — трубопровод, острого дутья; 10 — плиты; 11 — плиты; 12 — опеуторная футеровка; 13 — загрузочная шахта; 14 — колосники, острого дутья; 15, 18 — неподвижные и подвижные ролики; 16 — колосники; 17 — промежуточные ролики; 19 — отверстия для отвода аспирационного воздуха; 20 — люк; 21 — люк; 22 — электродвигатель; 23 — редуктор; 24 — гляделка; 25 — аспирационный аппарат; 26 — привод жалюзийного аппарата; 27 — трубопровод общего дутья

Таблица 62

Техническая характеристика и основные показатели работы барабан

Вращающаяся печь		Фракция извести на выходе из печи, мм	Характеристика холодильника		
размеры, м	производительность, т/ч		размеры барабана		число барабанов, шт.
		диаметр, м	длина, м		
3,6×110	13,5	0—15	2,5	38,5	1
3,6×75	15	5—25	2,5	38,5	1
3×52,7	6,5—7	0—80	2,25	20	1
2,7×50,6	8	0—40	1,8	20,7	1
3,6×81	11,5	0—25	1,35	6	10
3,6×69	10,8	0—20	1,35	6	10
2,7×66	10,5	0—30	0,88	4,7	12
2,7×66	5,5	0—20	0,88	4,7	12

Таблица 63

Фракционный состав материала при производстве извести в вращающейся печи размером 3,6×75 м с однобарабанным холодильником извести размером 2,5×38 м Новолипецкого металлургического завода

Материал	Фракционный состав			
	более 20 мм	20—10 мм	10—5 мм	менее 5 мм
Известняк (с пределом прочности на сжатие 40—60 МПа) на входе в печь . . .	90,5	4,75	2	2,1
Известь на входе в холодильник	62,5	21,1	4,5	11,7
Известь на выходе из холодильника	27	31	9,5	32,5

Специальный привод однобарабанного холодильника требует обслуживания его как самостоятельного агрегата, что увеличивает эксплуатационные расходы.

Многобарабанный (рекуператорный) холодильник состоит из 10—12 охладительных барабанов диаметром 0,8—1,35 м и длиной 4,4—6 м, расположенных вокруг горячего конца печи и сообщающихся с ней посредством патрубков, через которые известь выходит из печи и поступает в холодильник, а подогретый воздух уходит из печи.

Барабаны укреплены на консольной части печи и создают значительную нагрузку на нее, в связи с чем их длина ограничена. Не большая длина барабанов лимитирует повышение производитель-

ных холодильников извести

Характеристика холодильника					
частота вращения, об/мин	наклон корпуса, %	мощность привода, кВт	охлаждение корпуса	температура извести, °C	температура подогрева воздуха, °C
3	3,5	40	Водяное	40—60	180
3	3,5	40	»	130	200
7	7	28	»	120—150	170
5	7	28	—	90—100	150
—	—	—	—	110—230	190
—	—	—	—	170—190	180
—	—	—	—	130—150	190
—	—	—	—	140—160	180

ности печи из-за роста температуры выходящей из холодильника извести.

Тепловой к. п. д. многобарабанного холодильника в результате большой неизолированной поверхности барабанов составляет всего 50—60% [38].

Колосниковые холодильники. Отечественная промышленность се- рийно выпускает колосниковые холодильники переталкивающего типа «Волга-СИ» производительностью 25 и 35 т/сут [38].

Колосниковый холодильник конструкции института ВНИИцеммаш типа «Волга-25 СИ» (рис. 56) представляет собой прямоугольную футерованную камеру, разделенную по высоте колосниковой решеткой. Стенки камеры на уровне колосниковой решетки защищены от истирания чугунными плитами. Камера заключена в металлический кожух.

Решетка состоит из чередующихся неподвижных и подвижных колосников, установленных на поперечных балках. Подвижные колосники с балками смонтированы на трех подвижных тележках, две из которых соединены между собой тягами.

Тележки установлены на опорные ролики и совершают возвратно-поступательное движение при помощи специального привода. Плавное регулирование числа ходов тележек осуществляется двигателем постоянного тока.

Ниже колосниковой решетки расположен скребковый конвейер, предназначенный для удаления просыпи материала из холодильника. Цепь конвейера имеет две скорости движения: 0,1 и 0,2 м/с.

Холодильник оборудован вентилятором общего дутья типа ВД-15,5, вентилятором острого дутья типа ВВД-9У и аспирационной системой, состоящей из дымососа типа Д-12 и шести рукавных фильтров типа СМЦ-100-111.

С избыточным воздухом, нагретым до температуры 150—180°C, теряется часть тепла извести, что и обуславливает умеренный тепловой к. п. д. холодильника (табл. 64).

Опыт эксплуатации колосниковых холодильников «Волга-25С» показал незначительное истирание и измельчение извести при охлаждении.

Таблица 64

Проектная техническая характеристика колосниковых холодильников извести

Показатели	Тип холодильника	
	Волга-25СИ	Волга-35СИ
Производительность по извести, т/ч	25	35
Размер колосниковой решетки, м:		
длина	12,6	20
ширина	2,52	3
Полезная площадь решетки, м ²	31,7	60,3
Площадь живого сечения решетки, %	10	10
Ход подвижных колосников, мм	150	150
Число двойных ходов в минуту	6—18	6—18
Толщина слоя материала на решетке, мм	150—360	150—360
Температура извести, °С:		
на входе	1000—1100	1000—1100
на выходе	40—80	40—80
Удельный расход воздуха (при нормальных условиях) на охлаждение извести, м ³ /кг	2,43	2,43
Общая мощность электродвигателей, кВт	180	180
Масса, т	124	168

Гранулометрический состав известняка Балаклавского месторождения и извести при ее производстве во врачающейся печи 3,6×75 м с колосниковым холодильником «Волга-25С» на Криворожском металлургическом заводе [38]

Известняк Фракции, мм (%)	Известь Фракции, мм (%)
0—10 (2—6)	0—10 (14—17,5)
10—25 (8—14)	10—20 (37—34,5)
25—40 (70—79)	20—40 (43—44,6)
Более 40 (8—11)	Более 40 (6—3,5)

Шахтные холодильники. Шахтные холодильники с движущимся продуваемым слоем материала работают с тепловым к. п. д. 80—98%, обеспечивают подогрев вторичного воздуха до 300—530°C и охлаждение материала до 40—80°C. Истирание материала в холодильниках этого типа незначительное [38].

Шахтный холодильник извести с попечным движением материала и газов (рис. 57) разработан Укргипромезом (Ждановский филиал) и ДонНИИЧерметом. Холодильник включает шахту, металлические вертикальные колосниковые решетки, приемную воронку и механизм выгрузки (качающийся питатель с двусторонней выгрузкой извести на ленточный конвейер). Воздух под давлением 4 кПа подается мельничным вентилятором типа ВМ-40/750-111. Холодильник эксплуатируется на врачающихся печах 3,6×75 м Криворожского металлургического завода им. В. И. Ленина.

Институт ВНИПИЧерметэнергоочистка разработал вариант более совершенного шахтного холодильника извести, отличающегося тем, что воздух для охлаждения извести подается в слой через перфорированные стальные трубы, пересекающие поперечное сечение шахты и расположенные в один ряд по высоте слоя материала в левом и правом отсеках. Воздух вентилятором типа ВД-15,5 (на-

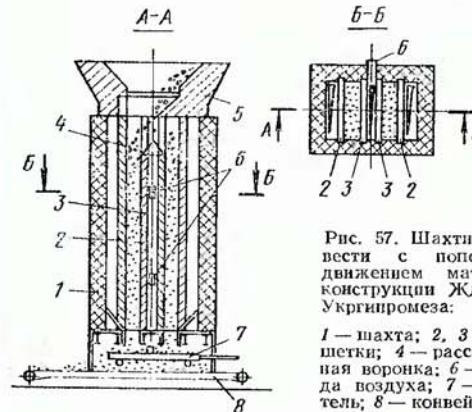


Рис. 57. Шахтный холодильник извести с попечно-перекрестным движением материала и воздуха конструкции Ждановского филиала Укргипромеза:

1 — шахта; 2, 3 — колосниковые решетки; 4 — рассекатели; 5 — приемная воронка; 6 — патрубки для вывода воздуха; 7 — качающийся питатель; 8 — конвейер

пор 6 кПа, производительность 85000 м³/ч) подается в холодильник позже: в нижнюю часть, отделенную от верхней клапанами на расстоянии $\frac{1}{3}$ высоты шахты, и верхнюю часть (горячую).

Эксплуатация шахтного двухзонного холодильника на четырех врачающихся печах Новолипецкого металлургического завода размером 3,6×75 м производительностью 380 т комовой извести в сутки выявила ряд существенных недостатков его конструкции: деформацию рам каркаса и пластин (колосников) решетки, смещение секций каркаса, деформацию перегородки и т. д. В результате известь выступает в центральный воздушный канал и нарушается режим его нормальной работы. Важным недостатком шахтных холодильников данной конструкции является отсутствие камеры дополнительной декарбонизации извести.

Техническая характеристика шахтного двухзонного холодильника извести конструкции ВНИПИЧерметэнергоочистка для врачающейся печи 3,6×75 м

Размеры шахты, м:	
высота	9,3
поперечное сечение	3,1×3,7
Внутренний объем шахты, м ³	46
Объем извести в холодильнике, м ³	43,74
Высота слоя извести, м	8,48
Производительность по извести, т/ч	16—25
Температура извести, °С:	
на входе	1000—1100
на выходе	60—100
Объемный расход воздуха, м ³ /с:	
в верхнюю часть	1,1—1,4
в нижнюю часть	0,5—0,6

Минимальное давление воздуха на входе в холодильник, кПа	3.0
Температура подогрева воздуха, °С:	
в верхней части	380—400
в нижней части	100—150
Запыленность воздуха на выходе из нижней части холодильника (направляется на очистку в общую установку), г/м ³	10
Масса холодильника, т	99.2
В том числе металла, т	116.2

Холодильник извести кипящего слоя конструкции института «ВНИИстрем» (рис. 58) представляет собой стальной теплоизолированный короб, в нижней части которого расположена воздухо-

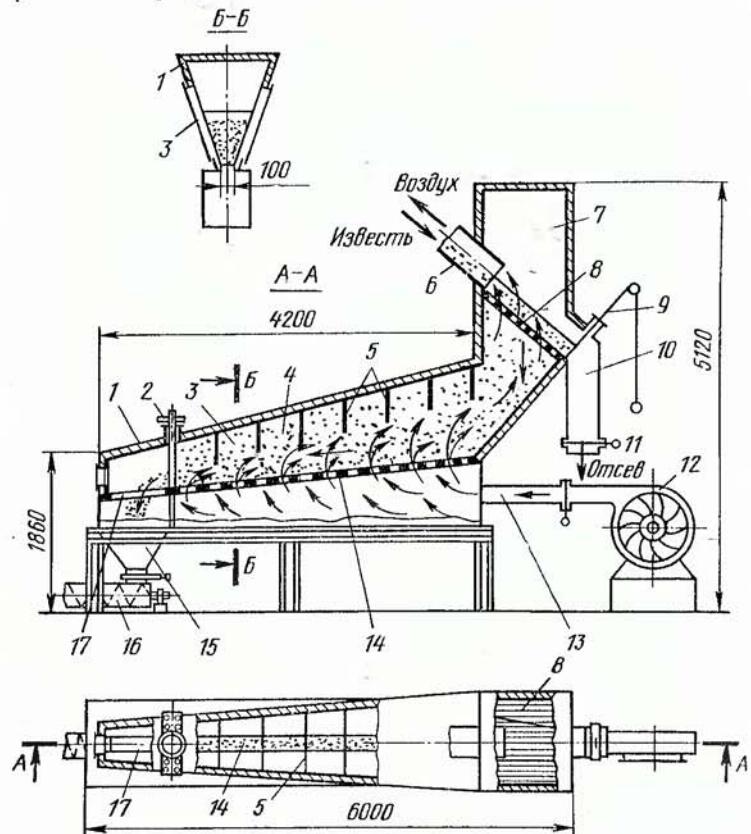


Рис. 58. Холодильник извести кипящего слоя института «ВНИИстрем»:
1 — короб; 2, 9, 11 — шиберы; 3 — окно; 4 — рабочая камера; 5 — отражатели;
6 — течка; 7 — сепарационная камера; 8 — струнное сито; 10 — камера отсева;
12 — вентилятор ВВД-II; 13 — патрубок; 14 — воздухораспределительная решетка;
15 — бункер извести; 16 — шнековый конвейер; 17 — выходное отверстие

распределительная решетка, а в верхней — сепарационная камера (табл. 65). Недостатком холодильника является отсутствие камеры дополнительной декарбонизации извести, что определяет сравнительно низкий его тепловой к. п. д.

4. АГРЕГАТЫ С КОРОТКОЙ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧЬЮ И ПОДОГРЕВАТЕЛЯМИ СЫРЬЯ [ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРАМИ]

Короткие вращающиеся печи с подогревателями сырья, или теплоутилизаторами, характеризуются отношением L/D_0 в пределах 14—28 (при оптимальном 14—18). Короткие печи размерами 2,7×65,6; 3×52,7; 3,6×75; 4×60 и 5×75 м, оборудованные запечными теплообменными устройствами, используются для выпуска извести сухим способом из карбонатных пород, подготовленных в виде фракций, мм: 50—20, 40—15, 25—10, 3—0. Фракционный состав и допускаемая влажность сырья зависят от конструкции запечных теплообменных устройств (подогревателя сырья и холодильника).

Загрузочная головка печи. Конструкция загрузочной головки короткой вращающейся печи зависит от конструкции подогревателя сырья. При работе печи с котлом-утилизатором она выполняется как стационарная футерованная камера с бункером для сбора пыли. Герметизация загрузочного конца печи выполняется типовым уплотнением (см. рис. 54).

Узел загрузки печи материалом. Сырье загружают в печь посредством трубы-течки, изготовленной из жаропрочной стали, или улитковым питателем.

Улитковый питатель представляет собой две спиральные коробчатые течки, смонтированные на корпусе печи и заключенные в герметичный кожух-улитку. Для печи диаметром 3,6 м кожух прямоугольного сечения имеет наружный диаметр 6,3 м, ширину 1,4 м. Кожух сварен из стальных листов толщиной 6 мм, снабжен приемным патрубком и прикреплен болтами к фундаментной раме. Течки сварены из стальных листов толщиной 16 мм. Каждая течка шириной 700 мм и высотой 424 мм концом соединена с отверстием в корпусе печи, а другим (приемным) — с полостью улиты. Отверстия в корпусе расположены напротив по диаметру печи. Материал через приемный патрубок поступает в нижнюю часть улиты. При вращении печи течки черпают приемными отверстиями материал, и он пересыпается по ним внутрь барабана. Производительность питателя (фракция 90—15 мм) 40 т/ч, масса 15,6 т.

Футеровка печи. Футеровка коротких печей выполняется аналогично футеровке соответствующих зон длинных печей. Для увеличения времени пребывания материала в барабане печи иногда устраивают два-три порога высотой 350—450 мм. Например, в печи, размером 2,7×65 м, первый порог выполнен на расстоянии 2,6 м от горячего конца барабана, второй — на расстоянии 5 м от первого, третий — в 7 м от второго. Для порогов используют магнезитохромитовый кирпич.

Подогреватель сырья типа колосниковой конвейерной решетки. Подогреватель эксплуатируется в комплекте с короткой вращающейся печью на предприятиях промышленности строительных материалов. Используются конвейерные решетки с однократным просасыванием печных газов через неподвижный слой материала (табл. 66). Преимущества подогревателя: регулирование температуры по-

Таблица 65
Техническая характеристика и эффективность работы холодильников извести различных типов

Наименование	Однобараный размером 2,5×38 м	Многобараный		Шахтный	
		10 барабанов 1,35×6 м	9 барабанов 1,65×10 м*	Укргипромеза, шахта сечением 2,8×0,8 м, высотой 5,5 м	ВНИИЧермет-энергоочистки
Производительность, т/ч	15	11,5	19	16,5	16
Известьник (мел) фракции, мм	40–25 920	50–0 1020	40–15 1000	40–25 1020	40–10 1100
Приход тепла с материалом и воздухом, кДж/кг извести	96	84	94,8	31,5	62
Потери тепла, кДж/кг извести на остаточную декарбонизацию	540	525	650	700	890
с вторичным воздухом в окружающую среду	294	370	235	88	58,6
(корпусом) с избыточным воздухом (не возвращаемым в печь)	—	—	—	137,5	—
Объемный расход вторичного воздуха при нормальных условиях, м ³ /кг извести	2,15	2,95	1,63	2,31	2,19
То же, сорасываемого, м ³ /кг	—	—	—	1,51	1,0
Температура, °С:					
материала на входе	1000	1100	1080	1100	1150
то же, на выходе	130	110	120	80	70
вторичного воздуха	200	190	295	230	336
Тепловая к.п.д., %	58	64	70	88	79
расход электропитания, кДж/кг	80,4	20,6	20,6	410	82

* Рекомендуемые характеристики и параметры изогнутых решеток.

догрева сырья изменением толщины слоя на решетке и временем его пребывания в подогревателе (скоростью движения решетки). Недостатки — высокая удельная металлоемкость, сложность обслуживания, частые поломки колосников, износ ходовой части подогревателя.

Таблица 66

Проектная техническая характеристика подогревателя сырья типа колосниковой конвейерной решетки

Показатели	Производительность печи по извести, т/ч	
	6–9	15–18
Производительность по мелу влажностью 16%, т/ч	20	38
Число прососов газов через слой материала на решетке	1	2
Полезная площадь колосниковой решетки, м ²	34,32	63
Площадь живого сечения решетки, %	20	25,8
Длина зон решетки, м:		
горячей	5,1	9,5
холодной	6,34	11,5
Скорость движения решетки, м/мин	1–1,5	0,6–1,2
Количество слоев материала на решетке	1	2
Размер кусков материала в слое, мм:		
в нижнем	25–50	25–50
в верхнем	—	5–25
Толщина слоя материала на решетке, мм	100–200	200–250
Температура газов, °С:		
на входе в подогреватель	850–900	900–1000
на выходе	200–300	200–300
Потери напора газов в подогревателе, Па	600–800	1600–1800
Общая установленная мощность электродвигателей подогревателя, кВт	14,5	23
Масса подогревателя без розжиговой трубы и питателя, т	240	680

Подогреватели сырья шахтного типа. Короткие врачающиеся печи с подогревателями сырья шахтного типа эксплуатируются на предприятиях металлургической промышленности и промышленности строительных материалов. Шахтные подогреватели по характеру движения газов и материала подразделяются на подогреватели с поперецно-перекрестным движением, противоточные и противоточно-прямоточные (табл. 67).

Шахтный подогреватель сырья с поперецно-перекрестным движением газов и материала конструкции Южгипростроя представляет собой вертикальную теплоизолированную шахту прямоугольного сечения с расположенным внутри не параллельно двумя колоснико-

Таблица 67
Проектные технические характеристики подогревателей сырья шахтного типа

Показатели	Производительность печи по извест. т/ч					
	10,5	12,7	17,5	19	19	19
Разработчик проекта, год выпуска	Южгипрошстром, 1965.	Союзгипрошстром, 1969	Гипромез и ВНИИ-ГПИчермэнерго-очистка, 1974	Южгипрошстром, 1974	Кольцевого сечения	ВНИИстриом, 1973
Конфигурация	Прямоугольного сечения	Круглого сечения				
Размеры шахты, м: диаметр сечения	(1,5×2)	5,42	7,5	7,4		
Высота сечения	6 12	6,2 30,5	12 70—80	9 30,43		
Площадь попечного слоя, м ²						
Высота (толщина) слоя, м	(0,4)	(0,75)	(0,5)	3,4		
Число прососов газов через слой материала	1	1	2	1		
Производительность по известняку, т/ч						
Фракция известняка, мм	21	25,8	50	38		
Характер движений газов по отношению к материалу	20—60	20—40	20—40	15—40		
		Поперечно-перекрестное		Противоток		
				15—40		
				Прямоточное противоточное		

Показатели	Производительность печи по извест. т/ч					
	10,5	12,7	17,5	19	19	19
Температура газов, °С:						
на входе	750—800	720	900—950	850	850	
на выходе	250—300	430	250—300	345	345	
Температура подогрева известняка, °С	350—400	600	750—800	725	725	
Потери напора, Па:						
в подогревателе в слое материала	1050—1250 1000—1200	2000 1700	1800 1600	40000 36000	28000 26500	
Объем газов при нормальных условиях, м ³ /с, на входе	3,05	10	18,05	14,85	14,85	
Общая установленная мощность электродвигателей подогревателя, кВт						
Габариты, м: ширина (диаметр)	2	(6,24)	25	15	15	
длина	2,5 6	— 30	10,15 15,3 84	(8,6) — 8,5 60	(7) — 8 40	
Масса подогревателя, т	15	22,12	28,8	10	6	
В том числе металла	12					

выми решетками [3, 39]. Известняк опускается между решетками, выгружается дисковым питателем диаметром 1,6 м и через улитковый питатель поступает в печь. Через подогреватель пропускается третья часть отходящих из печи газов, две трети газового потока направляются в котел-утилизатор, минуя подогреватель сырья, в связи с чем эффективность его работы низкая. Подогреватель экспе-

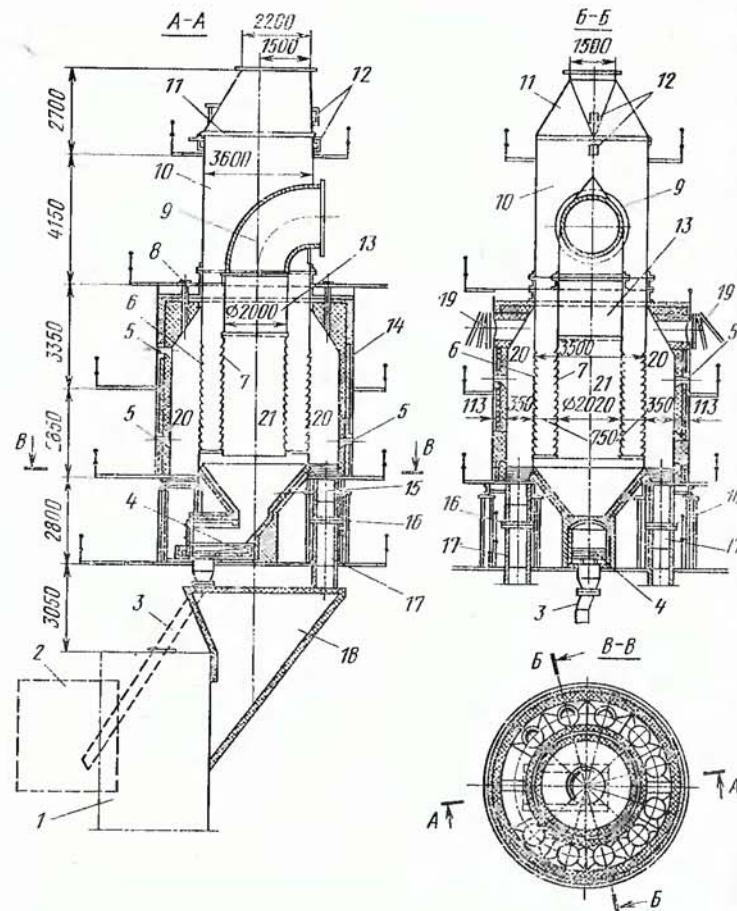


Рис. 59. Шахтный подогреватель сырья с поперечно-перекрестным движением газов и материала конструкции Союзгипростроя:

1 — загрузочная головка печи; 2 — печь; 3 — течка; 4 — кареточный питатель; 5, 8 — контрольные отверстия; 6, 7 — наружная и внутренняя решетки; 9 — патрубок; 10 — загрузочная шахта; 11 — загрузочная коробка; 12 — датчики уровня мера типа ГР-7; 13 — верхняя часть внутренней решетки; 14 — кожух; 15 — выгрузочная воронка; 16 — шибер; 17 — патрубок; 18 — пылеосадительная камера; 19 — взрывной клапан; 20 — кольцевая камера; 21 — камера охлаждения газов

лутируется на печах 2,7×65,6 м Челябинского электрометаллургического комбината (см. табл. 84).

Шахтный подогреватель сырья с транспортно-перекрестным движением газов и материала конструкции Союзгипростроя (рис. 59) состоит из круглой теплоизолированной шахты, внутри которой соосно расположены одна в другой две вертикальные цилиндрические решетки, металлической загрузочной шахты и кареточного питателя. Известняк из загрузочной шахты поступает в колыцевое пространство между решетками, где подогревается газами, исыпается в теплоизолированную выгрузочную воронку, из которой кареточным питателем направляется в трубу-тепчу. Наружная решетка и нижняя часть внутренней изготовлены из жаропрочной стали, верхняя часть внутренней решетки — из обычной [3, 39]. Эксплуатация подогревателя в комплекте с вращающейся печью 3,6×75 м Джегонасского карьера (см. табл. 84) выявила, что при загрузке

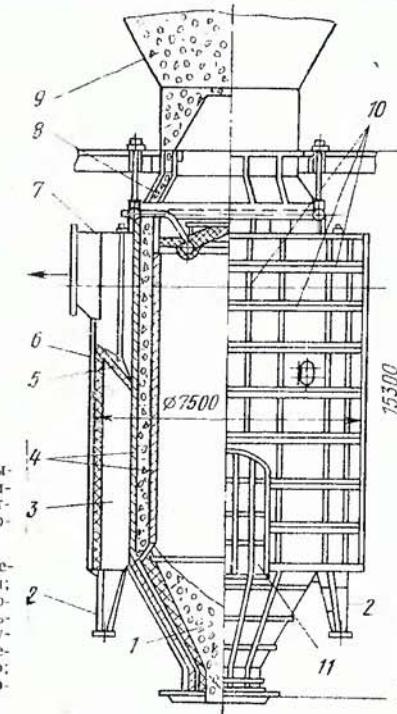


Рис. 60. Шахтный подогреватель сырья с поперечно-перекрестным движением газов и материала конструкции Гипромеза и ВНИПИчерметзенергохимии.

1 — разгрузочный бункер; *2* — пыле-
сборник с шлюзовыми затворами;
3 — кольцевая камера; *4* — жалю-
зийные решетки; *5* — разделитель-
ная панель; *6* — кожух; *7* — патруб-
ок для отвода газов; *8* — кольце-
вая течка; *9* — приемный бункер;
10 — трубчатый каркас; *11* — отвер-
стие для подвода печных газов

известняка с большим содержанием глинистых примесей и мелочи (менее 20 мм) решетки забиваются пылью, прогорают, и печь приходится останавливать.

Шахтный подогреватель сырья с попечно-перекрестным движением газов и материала конструкции Гипромеза и ВНИПИЧерметэнергоочистки (рис. 60) включает теплоизолированную цилиндрическую шахту, внутри которой смонтированы две металлические цилиндрические решетки, приемный и разгрузочный бункера и кача-

ющийся питатель. Цилиндрические решетки состоят из вертикальных стальных труб, между которыми расположены колосники (жалюзи) решетки. Колосники установлены в специальные гнезда, прикрепленные к вертикальным трубам, включенным в испарительную систему подогревателя. Газы проходят через слой материала дважды. Для этого на половине его высоты установлена разделительная панель, также включенная в систему испарительного охлаждения. Теплообменник сочетает в одной конструкции подогреватель сырья и котел-utiлизатор. В подогревателе вырабатывается пар давлением до 2 МПа в количестве 7,5 т/ч, из которых 1,5 т/ч предусмотрено на обдувку решеток. Расход химически очищенной деаэрированной воды при температуре 80—100°C составляет 7 т/ч.

Эксплуатация четырех вращающихся печей размером 3,6×75 м в комплекте с подогревателем этой конструкции на Новолипецком металлургическом заводе (табл. 68) выявила недостатки их конструкции: забивание решеток пылью, деформация и прогорание колосников, неравномерный подогрев материала по поперечному сечению шахты, сложность системы испарительного охлаждения, недостаточную температуру подогрева известняка, охлаждение известняка на участке между подогревателем и печью. Ряд мероприятий по улучшению конструкции подогревателя в 1977 г. выполнен заводом: колосники изготовлены из жаростойкого хромистого чугуна, увеличено расстояние между колосниками в решетке, изменена конструкция подвижной части вращающегося питателя, смонтировано устройство для перекрытия подачи материала на входе в шахту и т. д. В итоге подогреватель на печи № 8 работает устойчиво.

Таблица 68

Некоторые показатели эксплуатации шахтных подогревателей конструкции Гипромеза и ВНИИЧерметэнергоочистки на вращающихся печах 3,6×75 м Новолипецкого металлургического завода

Показатели	Место замера			
	загрузочная головка печи	до подогревателя	после подогревателя	после улиткового питателя
Температура газов, °С	950—925	890—727	297—257	—
Подсосы воздуха, %	94—38	97—75	(в подогревателе)	Нет св.
Средняя температура поверхности известняка, °С	—	10	530	400
Потери при прокаливании (п. п. п.) известняка, %	—	42,7	40	40
Запыленность газов при нормальных условиях, г/м ³	максимальная	Нет св.	6,8	5,0
	средняя	То же	5,2	3,6
Химический состав пыли, %:	общий CaO	» »	68,8	58,8
	MgO	» »	4,24	4,94
	п. п. п. пыли	» »	19,88	26,7

Тепловой баланс подогревателей сырья конструкции Гипромеза и ВНИИЧерметэнергоочистка (по данным эксплуатации 1977 г.)

Приход тепла на 1 кг извести, кДж (%):

с газами из печи	4450,0 (99,4)
с известняком	16,0 (0,3)
с пылью из печи	16,0 (0,3)
Итого	4487,0 (100)

Расход тепла на 1 кг извести, кДж (%):

на подогрев известняка	708,0 (15,8)
на диссоциацию карбонатов кальция и магния	86,0 (1,91)
на испарение влаги сырья	6,54 (0,15)
на выработку пара	962,5 (21,45)

потери тепла:

с уходящими газами	2653,0 (59,11)
в окружающую среду	89,2 (1,92)
с пылью	5,5 (0,1)

Невязка баланса

Итого	—23,74 (—0,53)
Тепловой к.п.д. подогревателя с учетом выработки пара	4487,0 (100)

То же, без учета выработки пара

39,3

17,86

Шахтный противоточный подогреватель сырья конструкции Южгипростроя разработан по аналогии с подогревателем сырья фирмы «Fellner+Ziegler» (ФРГ, рис. 70). Подогреватель состоит из цилиндрической футерованной шахты, внутри которой установлен закрытый сверху полый керамический керн, двухклапанный механизма загрузки и механизма выгрузки с толкателями. Материал движется в противотоке с газами и вследствие отсутствия металлических решеток может нагреваться до температуры 900°C с диссоциацией 20—40% CaCO₃. Газы из печи проходят через отверстия в керне, кольцевой слой материала и отсыпаются из шахты через два газохода (см. табл. 67).

Преимущества противоточного подогревателя: простота конструкции, надежность работы, высокий тепловой к. п. д. Недостатки: резкое изменение аэродинамического сопротивления слоя при неизмененных колебаниях уровня материала в шахте и изменении фракционного состава сырья и сложность герметизации механизма загрузки при разрежении в шахте 5—8 кПа.

Шахтный прямоточно-противоточный подогреватель сырья конструкции ВНИИстрома (рис. 61) отличается от подогревателя фирмы «Fellner Ziegler» (см. рис. 70) наличием в верхней части керна перепускного устройства газов. Опуская или поднимая керамический клапан, можно регулировать объемный расход печных газов, поступающих в кольцевое пространство подогревателя в прямотоке с материалом. Газы, поступающие в кольцевой слой материала через выгрузочные отверстия, проходят в нижней части кольцевой шахты в противотоке с материалом [39].

Противоточно-прямоточная схема движения газов позволяет: снизить разрежение в верхней части шахты до 0,5—0,8 кПа, использовать типовой механизм загрузки известняка, разработанный для шахтных печей; снизить потери напора газов до 2,8 кПа; уменьшить диаметры шахты и керна и ширину кольцевого зазора до 1,4 м при той же производительности (см. табл. 67). Колебания

уровня материала в шахте в пределах $\pm 0,5$ м не влияют на величину потери напора в подогревателе.

Шахтный противоточный подогреватель сырья падающего слоя конструкции ВНИИстрема представляет собой полую круглую теплоизолированную шахту переменного сечения высотой 10 м. Внутренний диаметр трех пережимов 1,2 м. Внутри шахты смонтирован

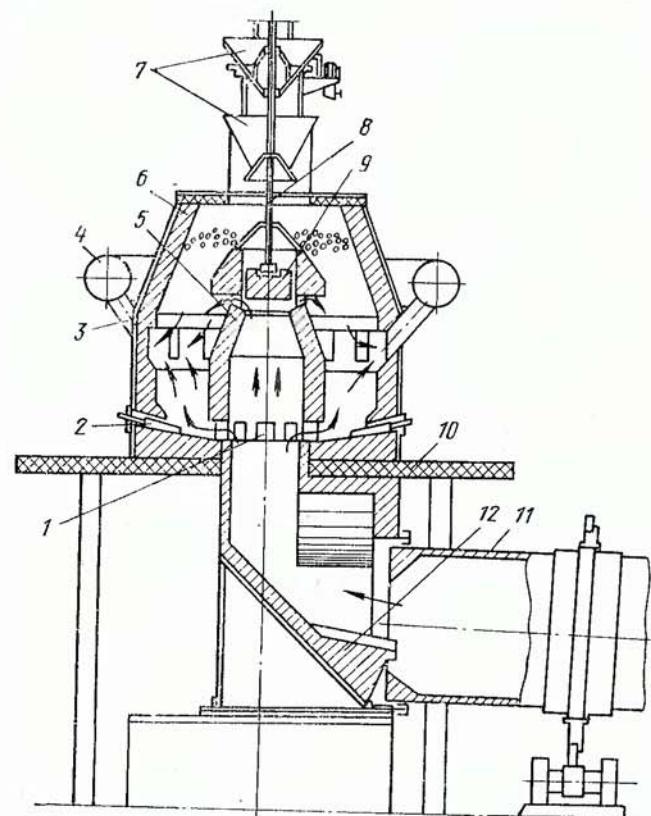


Рис. 61. Шахтный прямоточно-противоточный подогреватель сырья конструкции ВНИИстрема;

1 — выгрузочное отверстие; 2 — механизм выгрузки; 3 — патрубок; 4 — кольцевой газоход; 5 — керн; 6 — шахта; 7 — двухклапанный механизм загрузки; 8 — тяга; 9 — клапан; 10 — плита; 11 — вращающаяся печь; 12 — течка

полый металлический керн переменного сечения, закрытый снизу конусом.

Материал фракции 0—3 мм питательем подается в кольцевое пространство шахты сверху. Печные газы входят в кольцевое пространство подогревателя снизу и поднимаются вверх в противотоке с материалом. Частицы материала размером менее 0,3 мм выносятся

газами из теплообменника в пылеосадительную установку, где выделяются из потока. Частицы крупнее 0,3 мм опускаются в кольцевом пространстве шахты, подогреваются газами и выделяются в футерованном (горячем) циклоне, расположенным ниже подогревателя, и из под него по течке поступают в печь.

Показатели работы печи $2,7 \times 52$ м с подогревателем сырья падающего слоя приведены в табл. 84.

Вращающиеся печи с котлами-utiлизаторами нашли распространение в черной металлургии и промышленности строительных материалов. Технические характеристики применяемых котлов даны в табл. 69.

Основными элементами котла-utiлизатора являются: пароперегреватель, поверхности нагрева и экономайзер. Котел комплектуется установкой для химической подготовки питательной воды, сое-

Таблица 69

Техническая характеристика котлов-utiлизаторов, устанавливаемых за вращающимися печами

Показатели	Тип котла-utiлизатора			
	УЭЧМ-34	УЭЧМ-67	КУ-60-2	КУ-80-3
Производительность по пару, т/ч	6	8	19—20	26—27
Давление перегретого пара абсолютное, МПа	1,1	1,3	1,8	1,8
Температура перегретого пара, °С	183 (насыщ.)	191	366—392	358—385
Объемный расход печных газов при нормальных условиях, м ³ /ч	34200	66600	60000	80000
Температура печных газов, °С:				
на входе в котел	400—650	400	850	850
на выходе	180—190	190	230—250	230—250
Температура питательной воды, °С	50	50	102	102
Поверхность нагрева, м ²	303,5	Нет. св.	903	1201
В том числе:				
пароперегреватель	—	—	70	87
испарительная поверхность	242	Нет. св.	586	744
экономайзер	61,5	То же	247	370
Диаметр котельных труб, мм	32×3	32×3	32×3	32×3
Габаритные размеры, м:				
длина	4,5	5,5	11,3	11,3
ширина	3,5	4,5	7,3	8
высота	15	14	11	11
Масса металлических частей котла, т	23,5	Нет. св.	83,5	91,9

Примечание. Расположение труб горизонтальное.

длятся с печью через пылеосадительную камеру или газоход, часто его устанавливают за подогревателем сырья, после которого температура газов достигает 400—500°C.

Котел-utiлизатор экономит до 100 кг условного топлива на 1 т выпускаемой извести и снижает температуру отходящих газов коротких вращающихся печей до величины, позволяющей использовать электрофильтры для их обеспыливания.

Из-за высокой запыленности и агрессивности (при работе на мазуте) отходящих из печей газов эксплуатация котлов-utiлизаторов менее эффективна, чем использование подогревателей сырья.

5. ГОРЕЛОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА

В отечественной практике во вращающихся печах, служащих для обжига карбонатных пород на известь, используют газообразное и жидкое топливо.

Для сжигания газообразного топлива распространены двухканальные горелки, одноканальные нерегулируемые горелки и одноканальные регулируемые горелки.

Двухканальные горелки [3, 35] работают при давлении топлива перед горелкой 19—50 кПа с подачей в горелку под давлением 1,6—2,5 кПа холодного или подогретого первичного воздуха отдельным вентилятором. В газовом и воздушном каналах установлены спиральные завихрители, способствующие улучшению перемешивания топлива с воздухом. Диаметры труб выбирают такими, чтобы обеспечить истечение топлива со скоростью 40—75 м/с, а воздуха 30—60 м/с.

Одноканальные нерегулируемые горелки [3, 9] работают при избыточном давлении топлива 30—100 кПа. Скорость истечения газа из сопел горелки составляет 200—300 м/с. Примущества горелок состоят в простоте, надежности и экономии электроэнергии на подачу первичного воздуха.

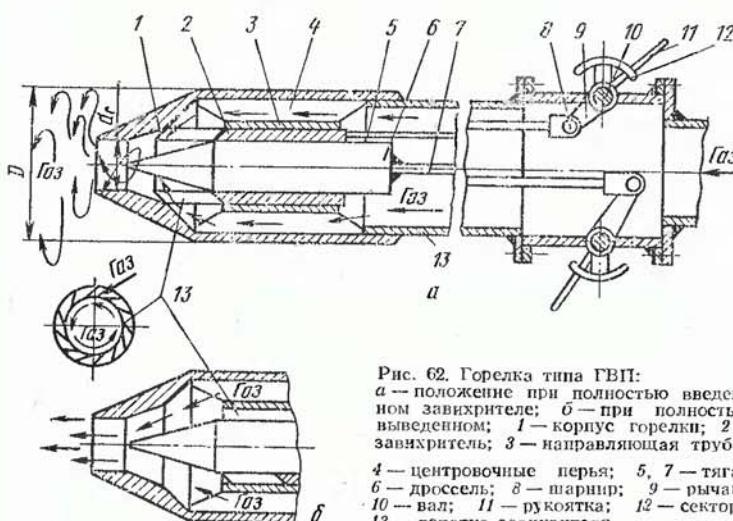


Рис. 62. Горелка типа ГВП:
а — положение при полностью введенном завихрителе; б — при полностью выведенном; 1 — корпус горелки; 2 — завихритель; 3 — направляющая труба;
4 — центровочные перья; 5, 7 — тяга;
6 — дроссель; 8 — шарнир; 9 — рычаг;
10 — вал; 11 — рукоятка; 12 — сектор;
13 — лопатка завихрителя

Горелка типа ГВП конструкции Гипронингаза (рис. 62) состоит из корпуса, дросселя, завихрителя и механизма изменения положения дросселя и завихрителя. При помощи дросселя изменяется площадь сечения сопла и тем самым скорость истечения газа в пределах 200—750 м/с. Положением завихрителя потоку газов сообщается определенная степень вращательного движения. Лопатки завихрителя имеют постоянный угол наклона, равный 90°. При крайнем положении введенного завихрителя угол раскрытия факела достигает 60°. Давление газа перед горелкой 100—300 кПа. Положением дросселя и завихрителя устанавливается необходимая форма факела без повышения коэффициента расхода воздуха (табл. 70, 71).

Таблица 70

Техническая характеристика горелок типа ГВП

Тип	Номинальная тепловая нагрузка, МВт	Номинальный расход газообразного топлива, м³/с	Пределы регулирования расхода газа, м³/с	Размеры, мм (см. рис. 62)	
				d_c	D
ГВП-4	5	0,139	0,014—0,139	20	60
ГВП-6	5	0,139	0,014—0,139	22	75
ГВП-3	20	0,556	0,056—0,556	44	98
ГВП-1	50	1,390	0,14—1,39	70	140
ГВП-5	80	2,222	0,22—2,222	90	170
ГВП-2М	120	3,335	0,33—3,335	120	219
ГВП-8	200	5,560	0,56—5,56	160	325
ГВП-7	300	8,340	0,83—8,34	200	351

Таблица 71

Испытания горелочных устройств на вращающейся печи 3,6×81 м с рекуператорным холодильником, работающей по сухому способу обжига мела (Белгородский КСМ) [40]

Показатели	Тип горелки	
	нерегулируемая одноканальная	ГВП-5
Производительность печи по извести, т/ч	11,5	11,5
Удельный расход топлива на 1 т извести, кг	358	355
Теплота сгорания 1 м³ природного газа при нормальных условиях, МДж	35,5	35,5
Избыточное давление газа перед горелкой, МПа	0,05—0,09	0,11—0,18
Состав отходящих газов за образец печи, %:		
CO ₂	18,10	22,50
H ₂	0,00	0,00
O ₂	2,30	1,65
CH ₄	0,80	0,00
CO	0,00	0,00
Среднее содержание CaO в извести, %	84,8	85,10

Горелка типа ВРГ конструкции Средазнингаза (рис. 63) состоит из корпуса, сопла, дросселя, завихрителя с поворотными лопатками и органов управления горелкой. Лопатки завихрителя поворачиваются в обе стороны от нулевого положения (вдоль обра зующей) на угол $\pm 60^\circ$. Скорость истечения газа изменяется в пределах 80—120 м/с. Избыточное давление газа перед горелкой 30—300 кПа (табл. 72).

Горелка типа ГРЦ конструкции ВНИИпромгаза (рис. 64) состоит из корпуса, сопла, трубчатого дросселя с расположенным внутри него шиековым завихрителем и механизмом перемещения дросселя. При полном перекрытии отверстия сопла дросселем весь поток топлива через окна поступает во внутреннюю полость дрос селя и получает максимальное завихрение. При промежуточном по

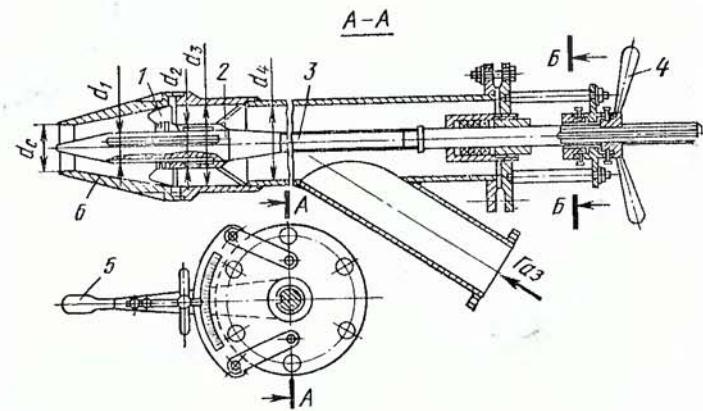


Рис. 63. Горелка типа ВРГ:

1 — лопатка завихрителя; 2 — дроссель; 3 — шток; 4 — рукоятка дросселя; 5 — рукоятка завихрителя; 6 — сопло

Таблица 72

Техническая характеристика горелок типа ВРГ

Поминальная тепловая нагрузка, МВт	Номинальный расход газообразного топлива, м ³ /с	Пределы регулирования расхода газа м ³ /с	Размеры, мм (см. рис. 63)					
			d _c	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	h
15	0,417	0,042—0,46	42	30	44	64	90	10, ¹ ₅
20	0,556	0,056—0,61	48	34	48	72	100	12, ¹ ₅
50	1,390	0,14—1,53	77	54	68	110	100	21
80	2,222	0,22—2,45	97	68	82	136	125	27
100	2,780	0,28—3,06	108	76	90	150	140	30
120	3,335	0,34—3,67	119	83	97	164	150	33, ¹ ₅
150	4,170	0,42—4,45	133	93	107	181	170	37
200	5,560	0,56—6,12	154	108	122	211	200	44, ¹ ₅
300	8,340	0,84—9,17	188	132	146	256	244	55

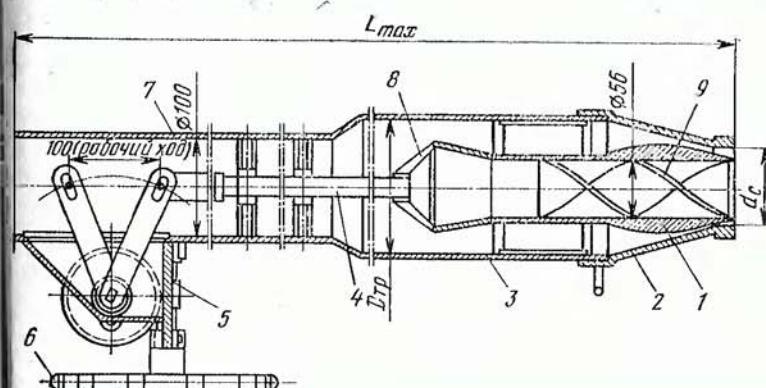


Рис. 64. Горелка типа ГРЦ:

1 — дроссель; 2 — сопло; 3 — корпус горелки; 4 — тяга; 5 — механизм управления дросселем; 6 — крепление; 7 — труба; 8 — окно дросселя; 9 — завихритель

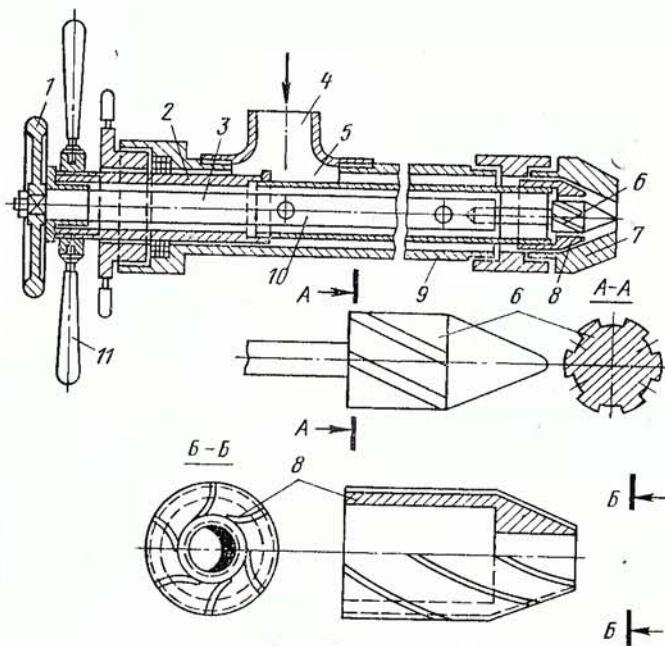


Рис. 65. Механическая форсунка с впрысками распылителями.

1 — пистон; 2, 3 — штоки распылителей; 4 — патрубок для ввода мазута; 5, 10 — каналы для мазута; 6, 8 — распылители; 7 — сопло; 9 — корпус форсунки; 11 — рукоятка

Таблица 73
Техническая характеристика горелок типа ГРЦ

Тип	Номинальная тепловая нагрузка, МВт	Пределы регулирования расхода газа, м ³ /с	Размеры, мм (см. рис. 64)			Масса, кг
			d _c	D _{тр}	L _{тпах}	
ГРЦ-13	3	0,08—0,11	25	60	2000	15
ГРЦ-8	23	0,64—0,75	65	108	5500	88
ГРЦ-9	30	0,83—1	70	133	9000	160
ГРЦ-5М	40	1,11—1,25	80	133	9000	162
ГРЦ-11	50	1,39—1,53	85	133	9000	186
ГРЦ-12	54	1,53—1,81	95	159	9000	202
ГРЦ-10	64	1,81—2,1	105	133	9000	164
ГРЦ-7	100	2,78—3,33	120	159	10000	230
ГРЦ-6М	120	3,33—4,17	150	219	12000	518

ложении центральный завихренный поток газа обтекается незавихренным кольцевым потоком, ограничивая угол раскрытия факела. Угол раскрытия факела изменяется в пределах 17°—30°, скорость истечения газа 200—450 м/с, что обеспечивает изменение длины факела на 50%. Давление газа на входе в горелку 20—200 кПа (табл. 73).

Испытания горелок ГРЦ на печах цементной промышленности размером 4,5×170 м и 5×185 м показали эффективность их работы ($\alpha=1,05$), надежность и простоту обслуживания.

Для сжигания мазута применяют механические форсунки с винтовыми распылителями. Распространены двухканальные и одноканальные форсунки с винтовыми (игольчатыми) распылителями.

Двухканальная механическая форсунка (рис. 65) состоит из корпуса, съемного сопла, съемных распылителей и механизма для перемещения распылителей. На боковой поверхности игольчатого распылителя и внутренней поверхности трубчатого распылителя нарезаны винтовые канавки, проходя по которым струя мазута закручивается. Меняя при помощи штурвала, рукоятки и соответствующих штоков положение завихрителей, получают различную степень закручивания струи и угол раскрытия факела в печи. Скорость вылета мазутных капель из сопла форсунки около 60 м/с, давление топлива на входе 1,5—2 МПа.

6. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ПЕЧНЫХ ГАЗОВ

Для обеспечения необходимой по нормам СН 245—71 степени очистки печных газов и аспирационного воздуха применяют одно-, двух- и трехступенчатые схемы пылеочистных установок. В качестве первой ступени при двухступенчатой или первой и второй при трехступенчатой схеме устанавливают циклоны, на последней ступени обычно устанавливают электрофильтры.

К. п. д. пылеулавливающего аппарата (%) или степень очистки газов η_{CO} определяют по разности количества пыли на входе в аппарат и выходе из него:

$$\eta_{CO} = \frac{z_{vx} Q_{vx} - z_{vых} Q_{vых}}{z_{vx} Q_{vx}} 100, \quad (28)$$

где z_{vx} , $z_{vых}$ — запыленность газов до и после аппарата, г/м³; Q_{vx} , $Q_{vых}$ — количество газов на входе и выходе из аппарата, м³/с. При отсутствии подсосов или утечки газов в аппарате:

$$\eta_{CO} = (1 - z_{vых}/z_{vx}) 100. \quad (29)$$

Общий к. п. д. установки, состоящей из трех ступеней очистки газов:

$$\Sigma \eta_{CO}^{I, II, III} = \left[1 - \left(1 - \frac{\eta_{CO}^I}{100} \right) \left(1 - \frac{\eta_{CO}^{II}}{100} \right) \left(1 - \frac{\eta_{CO}^{III}}{100} \right) \right] 100, \quad (30)$$

где η_{CO}^I , η_{CO}^{II} , η_{CO}^{III} — соответственно к. п. д. первой, второй и третьей ступеней.

Аэродинамическое сопротивление (потери давления) ΔP (Па) обеспыливающего аппарата определяют по формуле

$$\Delta P = \xi \rho_t w^2 / 2, \quad (31)$$

где ξ — коэффициент гидравлического сопротивления аппарата; w — скорость газа, отнесенная к входному сечению аппарата, м/с; ρ_t — плотность газа, кг/м³.

Циклоны. Циклоны являются механическими пылеулавливателями, в которых выделение частиц из газового потока осуществляется под действием центробежной силы. Широкое применение нашли циклоны типа ЦН и «Крейзеля» (ГДР).

Циклоны НИИОгаза типа ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У изготавливают диаметром от 200 до 2000 мм, а типа ЦН-24, СДК-ЦН-33 и СК-ЦН-34 — диаметром от 400 до 3000 мм. При очистке больших объемов газа отдельные циклоны объединяют в группы (табл. 74); в этом случае применяются циклоны с диаметром корпуса до 1800 мм (при прямоугольной компоновке) и до 1000 мм (при круговой). Циклоны рассчитаны на входную запыленность газов до 400 г/м³, давление (разрежение) в аппарате до 2,5 кПа, температуру газов не выше 400°C.

При одинаковой эффективности очистки лучшие технико-экономические показатели имеют циклоны ЦН-11 (табл. 75); циклоны ЦН-15 отличаются меньшими габаритами, более устойчивой работой на пыли, склонной к налипанию; циклоны ЦН-24 применяют при улавливании грубой пыли (в качестве первой ступени); циклоны СДК-ЦН-33 и СК-ЦН-34 — при улавливании тонкодисперсной пыли (5—6 мкм) и высоких требованиях к качеству очистки.

Циклоны «Крейзель» диаметром 1410 мм отличаются меньшей высотой и высокой эффективностью обеспыливания газов (до 90%). Используются как по одному, так и соединенными в группы (табл. 76).

Электрофильтры. На предприятиях по производству известняка применяют горизонтальные, двух-, трех- и четырехпольные электрофильтры ДГПИ, ПГДС, Ц, УГ и УГТ. Сочетания букв обозначают: Ц — цементный, Г — горизонтальный, П — пластинчатый, Д — дымовой, У — унифицированный, Т — температурный. После 1975 г. выпускаются электрофильтры УГ и УГТ.

Таблица 74

Производительность циклонов ЦН

Число циклонов в группе, шт.	Производительность (м ³ /с) при диаметре			
	400	500	600	760
1	0,4—0,47	0,63—0,74	0,9—1,06	1,22—1,44
2	—	1,26—1,47	1,81—2,12	2,45—2,88
3	—	—	—	3,67—4,32
4	1,61—1,88	2,53—2,94	3,63—4,23	4,89—5,76
6	—	3,79—4,4	5,43—6,35	7,34—8,64
8	—	—	—	—

Таблица 75

Сравнительные технико-экономические показатели циклонов НИИОгаза

Показатели	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-16У	ЦН-24	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34
Степень очистки газов при $\Delta P=1500$ Па, % . . .	87,5	86,5	84,5	80	90,5	91
Относительный расход энергии на очистку 1000 м ³ /ч газа при эффективности очистки 86%	1	1,15	1,9	0,86	0,9	1,25
Относительные затраты металла на очистку 1000 м ³ /ч газа при эффективности очистки 86%	1	0,42	0,75	0,73	1,36	1,4

Электрофильтры типа УГ и УГТ — унифицированные горизонтальные, двух-, трех- и четырехпольные аппараты в стальном корпусе. Электрофильтры предназначены для сухой очистки от пыли неагрессивных газов с температурой до 250°C (УГ) и до 425°C (УГТ). Электрофильтры УГ снабжены осадительными электродами пластинчатой формы (С-образные пластины); типа УГТ — прутковыми; типа УГ — коронирующими электродами рамного типа (проволочно-спирального, штыкового и игольчатого профиля); УГТ — свободно висящими (никромовая проволока диаметром 2,5 мм с подвешенными

грузами). По условиям прочности корпуса допускаемое разрежение для электрофильтров УГ до 3 кПа, для УГТ до 4 кПа. Технические характеристики электрофильтров даны в табл. 77.

Повысительно-выпрямительный агрегат служит для питания электрофильтра током высокого напряжения. Наиболее совершенными агрегатами являются полупроводниковые с автоматическим регулированием напряжения типов АИФ и АУФ.

В табл. 78 приведены данные об эффективности двухступенчатой очистки отходящих газов вращающейся печи при обжиге мела сухим способом. Первая ступень состоит из четырех циклонов типа ЦН-15 диаметром 800 мм, вторая — из электрофильтра типа ПГДС-3-24 с игольчатыми коронирующими электродами с фиксированными разрядными точками (агрегат типа АРС-250). Из табл. 78 следует, что степень очистки газов в электрофильтре от известковой пыли размером до 10 мкм зависит от влажности газов: с повышением влажности сырья растет влагосодержание газов и удельное электрическое сопротивление пыли снижается, что приводит к увеличению степени очистки газов с 94 до 98,5% и снижению конечной запыленности газов с 0,15 до 0,036 г/м³.

Эффективность очистки газов вращающихся печей приведена в табл. 83 и 84.

Таблица 76

Техническая характеристика циклонов типа «Крейзель»

Показатели	Число циклонов в группе					
	1	2	4	6	8	10
Производительность при $\omega=2,5 \div 3,2$ м/с, м ³ /с . . .	3,9—5 10	7,8 20	15,6	23—30	31—40	39—50
Степень очистки газов при $\Delta P=0,9 \div 1,6$ кПа, % . . .	85—90	85—90	85—90	85—90	85—90	85—90
Допустимая запыленность газов на входе, г/м ³ . . .	600	600	600	600	600	600
Допустимая температура газов, °С	450	450	450	450	450	450
Допустимое давление (разрежение) газов, кПа . . .	5	5	5	5	5	5

Таблица 77

Техническая характеристика электрофильтров типа УГ
(температура газов до 250°C) и УГТ
(температура газов до 425°C)

Тип	Число, шт.		Площадь активного сечения, м ²	Площадь поверхности осаждения, м ²	Активная высота осадительных электродов, м	Габариты (без форкамеры, диффузора и конфузора), м	
	полей	газовых проходов				длина	ширина
УГ-1-2-10	2	—	10	232	4,2	9,6	3,49
УГ-1-3-10	3	—	10	348	4,2	14,1	3,49
УГ-1-2-15	2	—	15	337	4,2	9,6	4,84
УГ-1-3-15	3	—	15	506	4,2	14,1	4,84
УГ-2-3-26	3	—	26	900	7,5	14,1	5,16
УГ-2-4-26	4	—	26	1200	7,5	18,6	5,16
УГ-2-3-37	3	—	37	1236	7,5	14,1	6,81
УГ-2-4-37	4	—	37	1650	7,5	18,6	6,81
УГ-2-4-53	4	—	53	2322	7,5	18,6	9,31
УГТ-1-30-3	3	16	30	1843	7,5	14	4,5
УГТ-1-40-3	3	22	40	2509	7,5	14	6
УГТ-1-60-3	3	33	60	3727	7,5	14	9
УГТ-1-80-3	3	44	80	4945	7,5	14	12

Таблица 78

Эффективность очистки газов вращающейся печи размером 3×49 м с подогревателем сырья типа колосниковой конвейерной решетки на Черниговском комбинате стройматериалов (по данным ВНИПИчерметэнергоочистки)

Показатели	Первая ступень, на входе	Вторая ступень	
		на входе	на выходе
<i>Влагосодержание 80—98 г/м³*</i>			
Расход газов, м ³ /с	10	11,95	12,78
Запыленность, г/м ³	8,7	1,8	0,15
Температура, °С:			
газов	220—230	190	130
точки росы газов	50—55	46—50	45—47
Скорость газов, м/с	—	0,7	0,8
Степень очистки газов, %:			
циклонов	77,5	—	—
электрофильтра	—	—	94,0
всей установки	—	—	98,3

Продолжение табл. 78

Показатели	Первая ступень, на входе	Вторая ступень	
		на входе	на выходе
<i>Влагосодержание 144—158 г/м³**</i>			
Расход газов, м ³ /с	9,72	11,12	11,95
Запыленность, г/м ³	6,4	1,4	0,036
Температура, °С:			
газов	220—230	190	130
точки росы газов	60—66	58—60	50—52
Скорость газов, м/с		0,7	0,8
Степень очистки газов, %:			
циклонов	78	—	—
электрофильтра	—	—	98,5
всей установки	—	—	99,7

* При электрических параметрах: напряжении на низкой стороне агрегата (первое поле 240—270 В, второе 250—290 В, третье 250—270 В); силе тока (первое поле 20—25 А, второе 20—40 А, третье 18—35 А); силе тока на высокой стороне (первое поле 160—200 мА, второе и третье 110—180 мА).

** При напряжении на низкой стороне агрегата (первое поле 260—300 В, второе 290—310 В, третье 280—300 В); силе тока (первое поле 25—35 А, второе 28—45 А, третье 22—38 А); силе тока на высокой стороне (первое поле 180—220 мА, второе 140—220 мА, третье 160—220 мА).

7. ТЯГОДУТЬЕВЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ

Новая серия консольных вентиляторов типа ВДН, ВГДН и дымососов одностороннего всасывания типа ДН имеет к. п. д. 80—82%. Машины снабжены осевым направляющим аппаратом с дистанционным управлением. Вентиляторы ВГДН и дымососы ДН перемещают воздух или газы с запыленностью до 1 г/м³ (табл. 79).

Тягодутевые машины типа ВДН, ВГДН и ДН приводятся в действие при помощи двухскоростных асинхронных двигателей с синхронной частотой вращения 750 и 1000 об/мин. Для машин, выбранных на номинальную нагрузку при частоте вращения 1000 об/мин, частота вращения 750 об/мин используется для регулирования. Машины с частотой вращения 1500 об/мин комплектуются односкоростным электродвигателем.

Техническая характеристика дымососов двустороннего всасывания типа ДН и ГД приведена в табл. 80.

8. ЭКСПЛУАТАЦИЯ АГРЕГАТОВ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧЬЮ

Особенности сжигания топлива во вращающихся печах

Попытки применения твердого топлива в отечественной практике производства известны во вращающихся печах не имели успеха. При сжигании пылеугольного топлива в печи наблюдается образование

Таблица 79

Технические характеристики вентиляторов ВДН, ВГДН и дымососов ДН при частоте вращения 1000 об/мин

Тип	К.п.д., %	Напор, кПа	Объемный расход, м ³ /с	Мощность, кВт	Предельная температура газов, °С
ВДН-8	82	1,05	1,75	2,4	40
ВДН-9	82	1,32	2,64	4,3	40
ВДН-10	82	1,63	3,61	7,2	40
ВДН-11,2	82	2,06	5	12,8	40
ВДН-12,5	82	2,57	6,94	22	40
ВГДН-17	82	2,1	18,87	50	400
ВГДН-19	82	2,71	29,50	98	400
ВГДН-21	82	3,31	40	162	400
ДН-9	80	0,85	2,59	2,7	250
ДН-10	80	1,05	3,56	4,6	250
ДН-11,2	80	1,31	4,89	8,2	250
ДН-12,5	80	1,62	6,72	14	250
ДН-15	80	2,30	13,98	40	250

Таблица 80

Техническая характеристика дымососов двустороннего всасывания при запыленности газов до 1 г/м³

Показатели	Тип дымососа				
	ДН-18Х Х2-А	ДН-21Х Х2-А	ДН-22Х Х2-0,62	ДН-24Х Х2-0,62	ГД-15,5Х ²
Напор, кПа . . .	1,5	2	3—4,7	3—4,7	8
Объемный расход при рабочей температуре, м ³ /с . . .	66,7	100	79,2	105,5	83,4
Максимальная допустимая температура, °С . . .	250	250	200	200	300
Частота вращения, об/мин . . .	740	740	750	750	1490
Мощность, кВт . . .	160	250	345	525	1000

Примечание. Во всех приведенных дымососах имеется направляющий аппарат.

настялей в виде трудноразрушающихся колец. Возможно, что неудачи обусловлены использованием твердого топлива повышенной вязкости и его грубым помолом. Остаток топлива на сите № 009 не должен быть более 10%.

При сжигании газообразного топлива применяют двухканальные и одноканальные горелки. В двухканальную горелку отдельным

вентилятором подается первичный воздух в количестве 15—25% от его общего расхода на горение.

На вращающихся печах металлургических заводов применяют двухканальные горелки труба в трубе, в которых природный газ поступает по центральной трубе под давлением 250—300 кПа, а по внешней под давлением 200—250 кПа подается кислород. Использование кислорода позволяет повысить на 10—15% производительность печи.

Одноканальные горелки обеспечивают полное смешивание топлива с воздухом за счет интенсивной турбулизации потока при высоких скоростях истечения газообразного топлива из сопла (200—300 м/с). Сопло горелки не обгорает при работе, так как длина зоны воспламенения газа остается достаточно большой. Воздух в горелку не подается, поэтому весь воздух на сжигание топлива проходит через холодильник печи, что улучшает использование физического тепла извести. Недостатком одноканальных горелок является ограниченная возможность регулирования положения факела, в связи с чем на одну печь необходимо устанавливать две горелки. Одноканальные регулируемые горелки типа ГРЦ, ВРГ, ГВП лишены недостатков одноканальных горелок, сохранив их преимущества [40].

При сжигании мазута в отечественной практике применяют механические форсунки с игольчатыми распылителями (см. рис. 65). В зарубежной практике форсунки, в которых топливо распыляется при помощи распылителя с тангенциальным вводом, показали лучшие эксплуатационные свойства по сравнению с форсунками, имеющими игольчатый распылитель с винтовыми каналами для закручивания струи мазута. Форсунка с тангенциальным вводом позволяет регулировать угол распыла в широких пределах и более тонко распылять топливо. Необходимое распыление мазута достигается при давлении 5—7 МПа. Скорость истечения топлива при этом равна 50—70 м/с.

Мазут марок 100, 100В (ГОСТ 10585—75) для обеспечения полного распыления следует нагревать до 100—105°C (за рубежом до 150°C), а марки 40 до 80°C. Постоянная температура подогрева мазута перед его подачей в форсунку способствует его полному сжиганию. Более эффективным является стабилизация вязкости мазута. Измерение вязкости мазута при этом осуществляется автоматическим прибором.

Особенности передачи тепла в барабане печи и запечных теплообменных устройствах

Рабочее пространство барабана печи по температурному уровню и характеру теплообмена можно разделить на три зоны: реакционную высокотемпературную зону со свободным пространством, расположенную в средней части барабана (ближе к разгрузочному концу), где сжигается топливо и обжигается сухой материал; зону предварительного охлаждения продукта со свободным пространством барабана, расположенную со стороны разгрузочного конца, где известье охлаждается вторичным воздухом, подводимым к основанию факела горящего топлива; подготовительную зону с умеренной и низкой температурой, расположенную со стороны загрузочного конца барабана, с встроенными внутри корпуса печи теплообменными устройствами, служащими для испарения влаги сырья и подогрева материала.

В реакционной зоне тепловой поток состоит из теплового излучения газов и конвекции тепла. Футеровка барабана выполняет роль регенератора тепла, поглощая часть лучистой энергии факела и передавая ее материалу как излучением, так и теплопроводностью. При этом существенная часть поглощенного футеровкой тепла теряется через корпус печи в окружающую среду (в длинных печах до 18—23% общего расхода тепла на обжиг).

Плотность теплового потока излучением факела $q_{\Phi}^{\text{изл}}$ на открытые поверхности слоя материала и футеровки выражается уравнением:

$$q_{\Phi}^{\text{изл}} = 0,015 \epsilon_{\Phi} D_0 \left\{ \left(\frac{T_{\Phi}}{100} \right)^4 - 0,38 \left[\left(\frac{T_c}{100} \right)^4 + 2,5 \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \frac{\sqrt{T_g T_c}}{100} \right]^4 \right\}, \quad (32)$$

где ϵ_{Φ} — степень черноты факела; D_0 — диаметр футерованного барабана в свету; T_{Φ} , T_g , T_c — соответственно усредненные абсолютные температуры факела, газов, слоя материала.

В зоне предварительного охлаждения извести теплообмен между материалом и воздухом происходит преимущественно конвекцией и выражается уравнением:

$$q_B^M = 0,023 \lambda_B R e^{0.8} P r^{0.4} (T_B/T_m)^{0.55} \Delta t \sin \varphi / 2, \quad (33)$$

где Re — критерий Рейнольдса, $Re = \omega_v D_0 / v_v$; Pr — критерий Прандтля, $Pr = v_v / a_v$; λ_B , a_v , v_v , T_B , ω_v — соответственно теплопроводность, температуропроводность, вязкость, абсолютная температура, скорость воздуха; T_m — абсолютная температура материала; Δt — разность температуры материала и воздуха, $\Delta t = t_m - t_v$; φ — центральный угол сегментного поперечного слоя извести.

В подготовительной зоне влияние лучистого теплообмена резко уменьшается, существенно снижается и составляющая потока тепла за счет регенерации футеровки. В этой зоне тепло от газов к материалу поступает преимущественно конвекцией.

На рис. 66 изображены кривые распределения температуры газового потока по длине барабана печи, температуры поверхности материала и содержания активных окислов кальция и магния в извести при обжиге мела влажностью 20%.

В результате недостаточной поверхности теплообмена в печи без внутренних теплообменных устройств материал забирает существенно меньше тепла, чем он мог бы принять от газов, и температура газов на выходе из печи с отношением $L/D_0 = 23,5 / 25,3$ при обжиге известняка влажностью 2—4% составляет 850—900°C, при обжиге мела влажностью 22—28% 700—750°C.

Высокая температура газов на выходе из печи приводит к значительным потерям тепла с отходящими газами. Так, для печей с отношением $L/D_0 \leq 30$ потери тепла с отходящими газами составляют до 50% общего расхода тепла на обжиг. При отношении $L/D_0 = 35-45$ и использовании внутренних теплообменников потери тепла с отходящими газами снижаются до 32—25%, т. е. почти вдвое [34].

Потери тепла через стенку для длинных печей оказывают влияние как на распределение температуры газов и материала по дли-

не печи, так и на экономичность обжига. Эти потери трудно уменьшить, так как применение теплоизоляции футеровки в зоне подогрева обычно сокращает срок ее службы. На потери тепла через стенку влияют температура и скорость внешней среды (табл. 81).

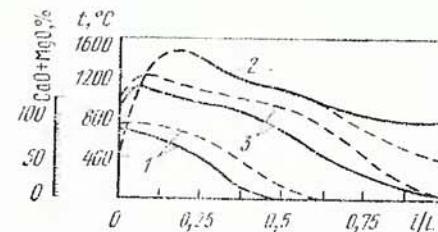


Рис. 66. Распределение по длине барабана печи температуры и содержания активных $\text{CaO}+\text{MgO}$ в извести при обжиге мелового сырья (сплошная линия — печь без внутреннего теплообменного устройства, пунктируемая — с теплообменным устройством): 1 — содержание в извести активных $\text{CaO}+\text{MgO}$; 2 — температура газов; 3 — температура поверхности материала; L — переменная длина печи; L — общая длина печи

Таблица 81

Зависимость коэффициента теплоотдачи корпуса печи в окружающую среду $\alpha_{\text{кор}}$ от скорости воздуха [9]

Разность температур, °C	Коэффициент теплоотдачи [Вт/(м·К)] при скорости воздуха, м/с				
	0	2	4	6	8
40	9,78	20,97	26,8	31,7	36,1
50	10,48	22,60	27,6	32,5	37,1
100	14,00	25,63	31,9	36,8	41,2
150	17,47	29,50	36,4	41,2	45,6
200	20,97	33,70	40,75	—	—
250	24,6	—	—	—	—

Потери тепла корпусом печи в окружающую среду $Q_{\text{кор}}$ (кДж/ч) определяют по формуле [9]:

$$Q_{\text{кор}} = 15,15 \alpha_{\text{кор}} D_n L_p (t_{\text{кор}} - t_v), \quad (34)$$

где $\alpha_{\text{кор}}$ — коэффициент теплоотдачи корпуса печи в окружающую среду, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, при открытой установке печей определяется по табл. 81, при закрытой определяется по формуле

$$\alpha_{\text{кор}} = 14,67 + 0,26 t_{\text{кор}}, \quad (35)$$

где D_n — наружный диаметр корпуса, м; L_p — длина печи (зоны, участка), м; $t_{\text{кор}}$, t_v — соответственно температура корпуса, воздуха, °C.

Количество тепла, получаемого материалом в цепном теплообменнике q_m^H , определяется по формуле

$$q_m^u = 0,455 \cdot 10^{-2} \lambda_r \left[R e^{0,8} \left(4,25 - \frac{T_c}{T_r} \right) (T_r - 1,1 T_c) + \right. \\ \left. + B R e_{\eta}^{0,6} / T_r - 1,05 \sqrt{T_r T_c / k_u} \frac{D_0}{D_{\text{экв}}} \right], \quad (36)$$

где B — коэффициент, учитывающий вид навески цепей, равный 120 при тирольской навеске, 160 при навеске цепей со свободно висящими концами; k_u — плотность навески цепей; $k_u = S_u / 3,14 D_0$; S_u — площадь поверхности цепей; $D_{\text{экв}}$ — эквивалентный диаметр стержня, равный для цепей с овальными звенями $D_{\text{экв}} = 3d_u$, с круглыми $D_{\text{экв}} = 4,3 d_u$; d_u — диаметр прутка звена цепи.

Количество тепла, получаемого материалом в металлическом теплообменнике (ячейковом, шарниро-винтовом, циклоидном), определяется по формуле

$$q_m^t = 0,015 \lambda_r R e^{0,8} \left[0,3 \left(4,25 - \frac{T_c}{T_r} \right) (T_r - 1,1 T_c) + \right. \\ \left. + 0,85 \left(4,5 - \sqrt{\frac{T_c}{T_r}} \right) (T_r - 1,05 \sqrt{T_r T_c}) \right] \left(1 + \frac{S_t}{3,14 D_0} \right), \quad (37)$$

где S_t — рабочая площадь поверхности теплообменника на участке печи длиной 1 м.

Установка в подготовительной зоне печи внутренних теплообменных устройств на 10—15% увеличивает ее производительность и на 15—20% снижает удельный расход топлива на обжиг [3, 9, 34, 41].

При движении материала в барабане печи происходит его перемешивание по поперечному сечению (сегменту). Особенность движения материала многофракционного состава заключается в том, что наиболее крупные и тяжелые куски материала выходят на поверхность сегмента, а в его центре располагаются более мелкие и легкие фракции.

В связи с тем что расположенный в центре сегмента материал прогревается только за счет тепла смежных слоев, его температура всегда ниже. Чем лучше перемешивание материала в слое, тем выше средняя по сечению слоя температура и ниже температура поверхностных слоев. Это обусловлено тем, что с повышением температуры поверхностного слоя количество передаваемого материала от газов тепла снижается за счет уменьшения температурного напора $\Delta t = t_{\text{газ}} - t_m$. При ухудшении перемешивания материала его поверхностный слой подвергается длительному воздействию потока газов и нагревается до слишком высокой температуры. В результате снижается количество передаваемого материала тепла. Например, по данным зарубежных исследований, при увеличении температуры поверхностного слоя материала с 1205 до 1260°C количество тепла, передаваемого от газов материалу, снизилось на 42% (при средней температуре газового потока 1371°C). Улучшение перемешивания материала в слое достигается повышением частоты вращения печи, применением для обжига фракционированного сырья и установкой в печи пересыпных и перелопачивающих материал устройств [41].

В запечном подогревателе сырья или холодильнике известны передача тепла от газов к материалу и происходит конвекцией. Количество тепла, получаемого материалом в подогревателе (холодильнике) $q_m^{\text{под}}$, определяется по уравнению [39]:

$$q_m^{\text{под}} = k_u m a_{\text{сл}} f_{\text{уд}} \Delta t_{\text{л}} \tau_{\text{п}}, \quad (38)$$

где k_u — коэффициент неравномерности распределения в слое материала; m — коэффициент неравномерности распределения температуры по толщине кусков сырья; $a_{\text{сл}}$ — коэффициент теплоотдачи от газов к материалу; $f_{\text{уд}}$ — удельная поверхность теплообмена кусков материала, $\Delta t_{\text{л}}$ — средний логарифмический температурный напор в подогревателе (холодильнике); $\tau_{\text{п}}$ — время пребывания материала в подогревателе (холодильнике).

Из приведенного уравнения следует, что интенсивность передачи тепла материалу зависит от режимных и конструктивных параметров подогревателя (холодильника). В подогревателях сырья осуществляется более интенсивный теплообмен между газами и материалом, чем в барабане печи, в результате чего происходит более полная утилизация тепла отходящих газов. Стенки подогревателя снабжены эффективной теплоизоляцией, поэтому потери тепла в окружающую среду ничтожны (менее 2% общего расхода тепла на обжиг).

Тепловой баланс современных вращающихся печей приведен в табл. 82.

Таблица 82

Тепловой баланс современных вращающихся печей
при обжиге фракционированного известия
(составлен по результатам их теплотехнических испытаний)

Статьи баланса	Печь $L/D_0 = 42$ с теплообменными устройствами внутри корпуса	Печь $L/D_0 = 16,7$ со слоевым подогревателем сырья
Приход тепла, кДж/кг (%)	7040 (100)	5490 (100)
В том числе:		
тепло сгорания топлива	7000 (99,5)	5450 (99,5)
физическое тепло топлива	23 (0,3)	23 (0,3)
физическое тепло сырья	10 (0,1)	10 (0,1)
физическое тепло воздуха	7 (0,1)	7 (0,1)
Расход тепла, кДж/кг (%)	7040 (100)	5490 (100)
В том числе:		
на реакцию диссоциации карбонатов	3100 (44)	3100 (56,5)
на испарение влаги сырья	574 (8,2)	545 (10,1)
потери тепла в окружающую среду	1258 (17,9)	713 (12,6)
потери тепла с отходящими газами	1940 (27,6)	1005 (18,4)
потери тепла с выгружаемой известью	9 (0,1)	9 (0,1)
потери тепла от недожога топлива	46 (0,6)	46 (0,9)
потери тепла с уносом пыли	113 (1,6)	72 (1,3)
Тепловой к. п. д. печной установки η_t , %	52,2	66,6

На рис. 67 приведены кривые распределения температуры газов и материала, разрежения в печи и содержания CaO в извести во вращающейся печи с подогревателем сырья типа колосниковой конвейерной решетки (активная площадь $2,8 \times 9,5 = 26,6 \text{ м}^2$). Из рис. 67 следует, что подогрев мела влажностью около 25% до температуры 650—700°C происходит на решетке длиной 14,5—15 м. Сушка и по-

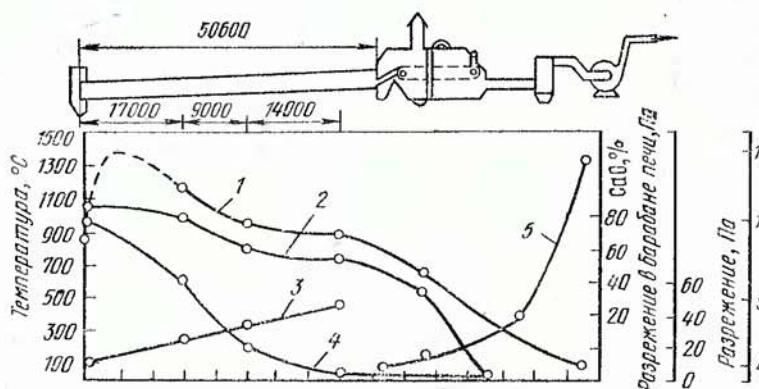


Рис. 67. Распределение температуры, разрежения и содержания CaO в извести при обжиге мела во вращающейся печи 2,7×50,6 м с подогревателем сырья типа колосниковой конвейерной решетки (при производительности 7—7,5 т извести в час):

1, 2 — температура газов и материала; 3, 5 — разрежение; 4 — содержание CaO в извести

догрев мела до такой температуры в барабане печи происходит на участке длиной 40—50 м [39].

В печах отечественной конструкции известь из зоны обжига поступает в зону предварительного охлаждения (длиной около 5%), а затем с температурой около 1000°C в холодильник, где охлаждается до 100—200°C. В зарубежных конструкциях известь после выхода из печи выдерживают в течение 30—35 мин в теплоизолированной камере декарбонизации, после чего она охлаждается в холодильнике. При этом в зоне обжига не стремятся обеспечить полного разложения карбонатов. Окончательное удаление остаточной углекислоты из материала («дозревание») осуществляется в камере декарбонизации за счет его физического тепла. При такой организации процесса производительность печи повышается, а удельный расход топлива на обжиг уменьшается [37].

Методика расчета вращающихся печей для производства извести до настоящего времени не разработана. Для расчета длинных печей, работающих по мокрому и сухому способам обжига, можно использовать методы расчета печей цементной промышленности [9, 42]. При этом следует иметь в виду, что производительность вращающейся печи для производства извести будет на 25—30% ниже производительности печи тех же размеров, служащей для выпуска цементного клинкера (табл. 83, 84).

Таблица 83
Технико-экономические показатели работы агрегатов с длинными вращающимися печами

Показатели	Размер печи, м		Проектные Ленгипротстом, 1972 Минское отделение Союзгипротстома, 1969 Эксплуатационные Сухой	Проектные Ленгипротстом, 1970 Минское отделение КБ Луганскхимстрой, 1962
	4,5×170	3,6×110		
Вид данных				
Способ обжига	Мокрый			
Отношение L/D_0	41,5	34,4	41,7	23,5
Производительность, т/ч	31,8	13,5	24	4,9
Расход условного топлива, кг/т	270	280	240	308
Расход электроэнергии, кВт·ч/т	21,6	20	20	16,7
Удельный стек извести:				
$T/(м^2\cdot сут)$	57,8	42,2	55	28,3
$T/(м^3\cdot сут)$	0,34	0,38	0,37	0,43
Вид сырья	III, 5, 7, 8			
Химический состав, %:				
$\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$	97	94,1	94,4	95,3
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$	3	5,5	5,6	4,7
Влажность сырья, %	37	40	10	22—26
Размер кусков, мм	—	—	—	
Удельный расход сухого сырья, кг/т извести	1,66	1,88	1,92	1,95
Пылеучнос (от сухого сырья), %	8	Г.2250-75.743	2,6	12
Вид основного топлива				
Теплота сгорания, топлива, МДж/кг	35,6	35,6	10	Мазут (39,8)
Тип горелочного устройства	Горелка ГВП-1 БРГ	Горелка ГВП-1	Форсунка механическая с винтовым распылителем	Двухканальная газовая

Продолжение табл. 83

Показатели	Размер печи, м				
	4,5×170	3,6×110	4×150	2,7×65,6	
Вентилятор первичного воздуха (при работе на мазуте)	ВМ-50/1000-11-У	ВОД-9	ВМ-50/1000-11-У	Нет сб.	
Известь: содержание активных CaO+MgO, %	90	86—75	85	86—89	
остаточной CO ₂ , %	2—3	3—8	4—5	4—6	
Тип внутреннего теплообменника	Цепной на участке Цепной на участке Цепной на участке Цепной на участке	30 м и металлический 31 м	30 м и металлический 25 м	30 м и металлический 25 м	
Холодильник	Колосниковый 25 м «ВолгоКолесников» X36,5 м	Однобарabanный 2,5× X36,5 м	Однобарabanный 2,5× 3,6×56 м	Многобарabanный (12 барабанов длиной 4,7 м) Восемь циклонов ГИИС-Газ 800 м ³ /мин	
Установка для очистки газов	Электрофильтр типа УГ-24-37		Восемь циклонов Креизель и электрофильтр УГ-1-10-3		
Запыленность газов, г/м ³ :					
на входе	15	3,55	30	4,5	
на выходе	0,07	0,155	0,06	0,65	
Количество уловленной пыли, кг/ч	3600	560	4500	920	
Тип дымососа	ДН-21×2-А	Д-21,5×25	ГД-15,5×2	Д-15,5	
Температура, °С: газов на выходе из барабана печи	210	165	300	560	
извести на выходе из холостого рабочего	150	50	150	150	
известковый, %	90	88	90	92	
Футеровка печи в зоне обжига (длина участка, м)	Кирпич многошамотный (40)	Кирпич марки ХМЛ-4 (40)	Кирпич марки АМП Кирпич марки 5, ЦМ-4 (13,5)	ЦМ-5	
Срок службы футеровки, сут	330	330	330	240	

9. АВТОМАТИЗАЦИЯ АГРЕГАТОВ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧЬЮ

На современных вращающихся печах автоматизированы подача сырья и топлива в печь и отдельные режимные процессы подогрева сырья, обжига сырья и охлаждения извести (см. табл. 88).

Дозирование сырья во вращающуюся печь, работающую по мокрому способу. Дозирование осуществляется преимущественно ковшовым питателем. Ковшовый питатель представляет собой сварной резервуар, в котором вращается вал с 2—3 ковшами емкостью 20—35 л каждый. Привод вала осуществляется от электродвигателя постоянного тока мощностью 1—6 кВт, который через регулятор сблокирован с датчиком частоты вращения барабана печи. Производительность питателя изменяется от 12,5 до 125 м³/ч в зависимости от частоты вращения вала и уровня шлама в резервуаре (сливном устройстве). Для контроля расхода шлама в печь используется контрольный бачок, протарированый заранее для шлама различной влажности, и специально составленные таблицы. Точность дозирования шлама не установлена.

В опытном порядке эксплуатируются более эффективные по сравнению с ковшовым питателем автоматические дозаторы шлама (табл. 85), выпуск которых осуществляется малыми сериями опытными заводами разработчиков. Наиболее высокие технические показатели имеет автоматический дозатор типа АДШ, разработанный институтом «Южгипроцемент» с использованием серийно выпускаемых приборов ИР-11 и регуляторов РПИИБП.

Дозирование сыпучих материалов по пращающейся печи, работающей по сухому способу, производится при помощи автоматических дозаторов.

Двухагрегатный весовой автоматический дозатор типа ЛДА состоит из электровибрационного питателя и ленточного весонизмерителя типа ВЛ-1059М с весами ВШП-150. Техническая характеристика ленточных дозаторов приведена в табл. 86. Изготовитель — завод тяжелого весостроения им. Старостина (г. Одесса).

Одноагрегатные весовые автоматические ленточные дозаторы типа СБ-42А, СБ-110, СБ-111, СБ-71 и СБ-90 (табл. 87) сконструированы по принципу регулирования по скорости и имеют вариаторный привод для изменения скорости движения ленты в зависимости от массы материала на ней. В дозаторе СБ-111 применен привод постоянного тока с тиристорным управлением и устройство подключения к групповому задатчику и УВМ.

Для взвешивания извести на выходе из вращающейся печи можно использовать дозаторы для горячего клинкера типа СБ-105 производительностью 32 т/ч и СБ-106 производительностью 63 т/ч, выпускаемые Киевским заводом цементного машиностроения. В этих дозаторах лента конвейера металлическая сборная. Привязочные и габаритные размеры дозаторов СБ-105 и СБ-106, а также принцип работы и устройство аналогичны дозаторам СБ-42А и СБ-110 (см. табл. 87).

Автоматическое дозирование мазута в форсунку. Система состоит из датчика расхода мазута (двойная диафрагма и дифманометр типа ДМ-3564), датчика вязкости мазута типа АВШ конструкции

Таблица 84

Технико-экономические показатели работы агрегатов с короткой вращающейся

Наименование	Размеры печи, м			Размеры печи, м			
	4×60	3,6×75	3,6×75	3,6×75	3×52,7	2,7×65,6	2,7×52
	1	2	3	4	5	6	7
Проектная организация	Южгипрострой	Союзгипрострой	Гипромез	Укргипромез	Союзгипрострой	ВНИПИЧермет-энергоочистка	Ленгипрострой
Год выпуска проекта	1974	1972	1974	1972	1960	1968	1964
Вид данных	Проектные	Достигнутые при эксплуатации					
Отношение L/D_0	16,7	23,5	23,5	23,5	20	28,5	23
Частота вращения барабана, об/мин	1,0	1,36	0,8—1	0,9—1	0,9—1	1,1	1,5
Производительность, т/ч:							
по извести	19	10,7	16	16	8,45	8,5	6,1
по извести и пылеуносу	21,5	12,6	17,5	17,6	9,79	10,5	8,1
Удельный расход условного топлива, кг/т извести:							
общий	195	279	270	316	263	276	229
с учетом выработки пара	—	210	216	215	—	212	—
Потребляемая электроэнергия, кВт·ч/т	20	20	32	30	35	45	36
Удельный съем извести:							
т/(м ² ·сут)	44,3	32,1	48	48	38,4	49	35,3
т/(м ³ ·сут)	0,74	0,43	0,64	0,64	0,73	0,75	0,68
Вид сырья		Известняк		Известняк		Известняк	
Фракция сырья, мм	40—15	70—30, 30—10	40—10	40—25	50—10	40—10	Карбонатит 10—0,3
Химический состав, %:							
CaCO ₃	94,0	95,6	95,8	97,0	94,3	97,8	80,4
MgCO ₃	4,0	0,7	2,0	1,2	0,8	1,1	4,6
SiO ₂ +R ₂ O ₃	2,0	3,7	2,17	1,41	4,9	1,1	10,0
SO ₃	Нет св.	0,03	0,03	Нет св.	Нет св.	0,05	Нет св.
Влажность сырья карьерная, %	6,0	3	2	4	23	4	7
Удельный расход сухого сырья с учетом пылеуноса, кг/кг извести	1,88	1,9	2,0	2,0	2,16	2,0	2,1
Пылеунос (от расхода сухого сырья), %	8	8	8	12	16	10	18
Вид топлива (основного)							
Теплота горания, МДж/м ³ (МДж/кг)	35,6	Природный газ 35,6	35,6	Природный газ 35,2	33,52	Коксовый газ 16,8	Мазут М-40 (40,6)
Тип горелочного устройства	ВРГ	ГВП-1	Двс	двуихканальные горелки		Двухканальная горелка 0,005	Механическая форсунка 1,1—1,4
Давление топлива на входе, МПа	0,15	0,1—0,07	0,004	0,25—0,3	0,064		
Тип вентилятора первично-го воздуха	—	—	ВВД-11у	ВВД-11у	ВВД-8у	ЦП-7-40	ЦП-7-40
Напор, кПа	—	—	4—5	4—5	4	2,5	2,5
Производительность, м ³ /ч	—	—	10000	10500	5000	10000	5000
Объемный расход кислорода, м ³ /ч	—	—	—	500	—	—	—
Содержание CaO+MgO в извести, %:	92—93	90—92	92—95	91—94	82—83	92—95	72—73
в том числе активных	90	88—80	88—90	88—90	75	88—90	70,8
Содержание остаточной CO ₂ , %	2,03	6—8	3,5—5,5	3—5	6	2,6—3	1,6—2
Время гашения, мин	3—5	2—5	2—5	4—5	1,5—6	3—5	4—8
Степень диссоциации сырья, %	97	90—95	94	95	90	96	97

Продолжение табл. 84

1	2	3	4	5	6	7	8
Тип подогревателя сырья или теплоутилизатора	Шахтный противоточный конструкции Южногорстрома	Шахтный с попечечно-перекрестным движением материала и газов конструкции Сочиэнергостроя Котел-утилизатор УМЧ-67, пар давлением 1,3 МПа, 7 т/ч	Шахтный с попечочно-перекрестным движением материала и газов конструкции Гипромеза и ВНИИПиЧерметэнергочистки	Два котла угольизатора КУ-60-2 производительностью 20 т/ч пара давлением 1,8 МПа	Колосниковая конвейерная решетка размером 3Х×11,44 м	Шахтный с попечечно-перекрестным движением газов и материала конструкции Южногорстрома Котел-утилизатор КУ-40 (подключен параллельно)	Шахтный падающего слоя конструкции ВНИИструма
Температура подогрева сырья, °С	725	350—440	550—650	—	620	350—400	400
Температура газов, °С: на входе подогревателя (котла)	850	570 (320)	850—890	(850—890)	800—900	750—800	620—650
на выходе подогревателя (котла)	345	320	290—330	(290—330)	250	250—300	500
Тип холодильника	«Волга-25СИ»	Барабанный 2,5×38,5 м	Шахтный конструкции ВНИИПиЧерметэнергочистки	«Волга-25СИ»	Барабанный 2,25×20 м	Рекуператорный, 12 барабанов диаметром 0,88 м, длиной 4,7 м	Барабанный 1,8×20,7 м
Температура извести, °С	40	80	70	40	130	130—150	100—150
Установка для очистки газов	Восемь циклонов типа Крейзель; электрофильтр типа УГТ-1-40-3	Две ветви по восемь циклонов НИИОгаз типа ЦН-15 диаметром 800 мм, электрофильтр типа ПГДС-3-38	10 циклонов типа Крейзель; два электрофильтра типа УГТ-3-53-03	Два батарейных циклона типа БЦ-250	Восемь циклонов НИИОгаз типа ЦН-15 диаметром 800 мм; электрофильтр ПГДС-3-24	Восемь циклонов НИИОгаз типа ЦН-15, диаметром 760 мм, типы трубы 1,0, 1+30	
Запыленность газов, г/м³: на входе	23,6	10,4	5,0	13—15	10,8	10,5	16,2
на выходе	0,041	0,17—0,22	0,24	0,2—0,3	6,44	0,1—0,2	6,75
Количество уловленной пыли, кг/ч: в том числе в пылеосадительной установке	2500	1900	1500	1600	1340	2000	2000
2000	420	500	600	400	600	600	400
Тип дымососа	ГД-15,5×2	ВМ-160/850-У (после циклонов) и Д-20 (после электрофильтра)	ВМ-160/850-У	Д-21,5×2	Д-18	Д-15,5 и Д-12 (за подогревателем сырья)	ВМ-40/750-1Б
Электродвигатель дымососа: тип	А-313-59-4	Нет св.	ДА 30-13-67-6	ДА 30-14-59-8	Нет св.	Нет св.	A02-92-4
мощность, кВт	1000	630; 160	630	630	125	100; 55	100
Футеровка в зоне обжига печи (длина участка, м)	Кирпич высокоглиноземистый ВГО-62 (40) 330	Кирпич марки на цементном растворе (15) 252	ХМЦ-4 на пластинках (25) 330	на пластинах (15)	Кирпич марки ЦМ-4 на цементном растворе (15,5) 360	Кирпич марки ХМЦ-4, ХМЦ-6 (13,5) 330	Кирпич марки Ц-2, Ц-3 (18) 330
Срок службы футеровки, сут	90	80	90	95	90	92	65
Коэффициент использования рабочего времени печи, %							

Таблица 85

Техническая характеристика автоматических дозаторов мелового шлама для вращающихся печей

Показатели	Тип дозатора			
	щелевой	КРШ-74к	АРПШ	АДШ
Разработчик дозатора	Свердловский химмаш	Союзавтоматстрой	НИИцемент	Южгипроцемент
Производительность по шламу, м ³ /ч	20—40	20—125	20—125	10—2000
Точность дозирования, %	4	2,5	1,5	1
Тип датчика расхода	Щелевой расходомер	РМ-300М	Реактивный расходомер	ИР-11
Тип регулятора	Пневматический	РПИБ-III	РПИБ-III	РПИБ-III
Тип исполнительного механизма	Мембранный МПП-25	МЭО-63	МЭО-63	МЭО-63
Тип регулирующего органа	Шибер	Пережимное устройство	Поворотная регулирующая заслонка	

Таблица 86

Техническая характеристика ленточных весоизмерителей

Показатели	Тип весоизмерителя			
	ВЛ-1059		ВЛ-1058	
Производительность, т/ч . . .	1,3	5	30	75
Ширина ленты, мм	400	400	720	720
Диаметр барабанов, мм	200	200	320	320
Расстояние между осями барабанов, м	1	1	1,5	1,5
Частота вращения приводного барабана, об/мин	2,67	8	7,4	8,5
Точность измерения, %	1,5	1,5	1,5	1,5
Габаритные размеры, мм:				
длина	1290		2150	
ширина	760		1500	
высота	780		1400	
Масса, кг	190		130	

Таблица 87

Техническая характеристика автоматических ленточных весовых дозаторов сыпучих материалов непрерывного действия

Показатели	Тип дозатора				
	СБ-42 (С-864)	СБ-110	СБ-111	СБ-71	СБ-90
Дозируемый материал	Кусковой (известняк, холодная известь, сухой мел)				Пылевидный (известняковая мука, пылеунос)
Предельный размер кусков, мм	70	70	130	—	—
Максимальная производительность, т/ч	75	20	6,3—200	20	63
Кратность изменения производительности	4	4	10	4	4
Класс точности, %	2	2	2	1	1
Ширина ленты, мм	650	650	1200	650	800
Размеры впускного отверстия приемной воронки, мм	500×350	500×350	1000×540	—	—
Высота слоя материала на ленте, мм	240	240	до 400	150	150
Установленная мощность, кВт	1,1	1,1	1,1(2,7)	1,1	2,2
Габаритные размеры одноагрегатного (двухагрегатного) исполнения, мм:					
длина	2050	2050	2450(4000)	2010	2010
высота	1065	1065	880(2500)	1465	1465
ширина	965	965	1640(1640)	1025	1270

Уральского филиала Всесоюзного теплотехнического института, двух регуляторов типа РПИБ и регулирующего клапана. Система поддерживает заданный расход мазута при стабилизации его вязкости в пределах 4—5 ВУ, что для мазута М100 соответствует подогреву его до температуры 110—115°C. С этой целью регулятор стабилизации вязкости мазута воздействует исполнительным механизмом на источник подогрева мазута (расход пара или горячего воздуха).

Следует отметить, что в цементном производстве применяют ряд приборов, которые могут быть успешно использованы при выпуске извести во вращающихся печах. При мокром способе производства применяют устройство для определения критической точки влажности шлама в зоне сушики печи (УТКВ), нейтронный влагомер НИВА-2 для определения влажности материала за цепным теплообменником. Во вращающихся печах любого типа можно использовать телевизионные установки для определения гранулометрического состава извести на выходе из зоны обжига (ТУК-1М), пылемер весовой типа ПВ-2М для определения концентрации пыли в отходящих газах, устройство для измерения температуры опорных подшипников печей типа УКТ-120К, УКТ-150, цветовой пиromетр типа «Спектропир 4-01» (табл. 88).

Таблица 88
Контролируемые и регулируемые параметры при обжиге

Измеряемая величина	Место отбора импульса	Печь размером				карбонатных пород в агрегатах с вращающейся печью					
		4×150 м		Печь размером 3,6×75 м							
		верхний предел измеряемой величины	тип датчика	тип вторичного прибора	тип регулятора	верхний предел измеряемой величины	тип датчика	тип вторичного прибора	тип регулятора		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Temperatura, °C: отходящих газов	Загрузочная головка печи	600	Термометр ТХК-0515	Потенциометр КСП2	РП2-Т3	1100	Термометр ТПП-0555	Потенциометр КСП2-005	РП2-Т3		
	Перед подогревателем сырья	—	—	—	—	1000	То же	—	—		
	После подогревателя	—	—	—	—	400	TXK-0515	KСП2-004	—		
	Перед электрофильтром	250	Термометр сопротивления ТСП-175	Мост KCM2	—	300	TXK-0515	KСП2-004	—		
	Перед дымососом	250	То же	Логометр Л-64	—	300	TXK-0515	KСП2-004	—		
	природного газа	Газопровод цеха	45	Термометр сопротивления TCM-6097	Логометр Л-64	45	Термометр сопротивления TCM-6097	Логометр Л-64	—		
	пыли в бункерах	Сборный бункер	200	Термометр TXK-У111	Потенциометр КСП2-026	200	Термометр TXK-У111	Потенциометр KСП2-026	—		
	насыщенного пара питательной воды	Трубопровод пара после циклонов	—	—	—	206	То же	Милливольтметр М-64	—		
	вторичного воздуха известняка	Перед экономайзером	—	—	—	100	» »	То же	—		
	известни	За экономайзером	—	Потенциометр КСП2	—	180	» »	» »	—		
известни	Разгрузочная головка печи	600	Термометр ТГО-2	—	—	600	Термометр ТГО-2	Потенциометр КСП2	—		
	После подогревателя	—	—	—	—	900	Термометр ТХА-0515	Потенциометр КСП2	—		
	известни	В зоне обжига печи	1800	Цветовой «Спектропир 4-01»	Логометр KCL	1800	Цветовой спрометр «Спектропир 4-01»	Логометр KCL	—		
известни	На выходе из ходильника	150	Термометр сопротивления ТСП-175	Мост KCM2	—	150	Термометр сопротивления ТСП-175	Мост KCM2	—		
	Расход массовый, т/ч	Дозатор сырья «ЛДА»	60	ВФС	РП2-П3	40	ВЛ-1058	ВФС	РП2-П3		
Объемный расход при нормальных условиях, м ³ /ч:				KСД-2	—	5500	ДМ-3537Ф	ВФС-24000	—		
природного газа	Газопровод печи	6300	ДКО-3701					KСД-2			

Продолжение табл. 88

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
питательной воды	Трубопровод воды после регулирующего клапана	—	—	—	—	35	Дифманометр ДМ-3537Ф	ВФС-20000	—
воздуха вторично-го воздуха в верхнюю камеру холо-дильника	Трубопровод воз-духа	100000	ДКО-370II	КСД-2	—	—	—	—	—
воздуха в нижнюю камеру холо-дильника	То же	—	—	—	—	50000	Дифмано-метр ДМ-3537Ф	ВФС-24000	—
» »	—	—	—	—	—	20000	То же	ВФС-20000	—
Расход, т/ч:									
насыщенного пара	Трубопровод пара после подогревателя	—	—	—	—	8	» »	ВФС-20000	—
перегретого пара	Трубопровод пара	—	—	—	—	25	» »	ВФС-20000	—
Давление, кПа:									
природного газа	Трубопровод газа	250	ДМ-3573	КСД-2	РП2-ПЗ	250	» »	ВФС-200РО	—
воздуха вторично-го	На выходе из дутьевого вентилятора	4	ДМ-3573	КСД-2	—	7	» »	ВФС-200РО	—
насыщенного пара	После холодильни-ка (разгрузочная головка печи)	—	—	—	—	0,15	Реле напора ДН-40, прибор ДКОФМ-1	ВФС-20000	—
перегретого пара	Трубопровод пара после циклонов	—	—	—	—	1800	Дифмано-метр ДМ-3537Ф	Прибор ВФП-20000	—
питательной воды	Трубопровод воды на входе в эконо-майзер	—	—	—	—	2500	Манометр ОБМ1-100	—	—
питательной деа-эрированной воды	Трубопровод воды перед регулирующим клапаном	—	—	—	—	2200	Дифмано-метр ДМ-3537Ф	Прибор ВФП-20000	—
Разрежение, Па:									
отходящих газов	Разгрузочная го-ловка	±10	ДКО-370I	КСД-3	РП2-ПЗ	—	—	—	—
	Загрузочная голов-ка	630	Труба им пульсная	Тягомер ТММП-52	—	250	Тягомер ФМ-Т	Прибор ВФС-240РО	РП2-ПЗ
	Перед подогревателем	—	—	—	—	700	Труба им пульсная	Тягомер ТМ-П1	—
	После подогревателя	—	—	—	—	2400	То же	Тягомер ТМ-П1	—
	Перед электро-фильтром	2000	Труба им пульсная	Тягомер ТММП-52	—	3000	» »	» »	—
	Перед дымососом	2500	Труба им пульсная	Тягомер ТММП-52	—	4000	Труба им пульсная	Тягомер ТМ-П1	—

Продолжение табл. 88

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Содержание кислорода в отходящих газах, %	Загрузочная головка печи	10	Газозаборное устройство УГ-5	Газоанализатор МН-5130	—	10	Газозаборное устройство УГ-5	Газоанализатор МН-5130	—
Солесодержание котловой воды	—	—	—	—	—	4000	Прибор СКВ	Солемер КСКВ	РПИБ-НБ
Уровень известняка	Бункер перед подогревателем сырья	—	—	—	—	—	Источник излучения	Реле ГР-8	—
Уровень извести	Шахтный ходильник	—	—	—	—	—	То же	То же	—
Уровень пыли	Камера пыли	Верхний нижний	Источник излучения	Реле ГР-8	—	—	» »	» »	—
Содержание пыли в отходящих газах, г/м ³	Загрузочная головка печи	50	Заборное устройство	Пылемер ПВ-2М	—	—	—	—	—
Частота вращения печи, об/мин	Главный привод печи	1,5	Тахогенератор ТМГ-30П	топ тира	—	1,5	Преобразователь ПАВК 460Х0630	типа	Асинхронный вентильный каскад «АВК» РП2-П3
Регулирование соотношения «газ — воздух»	Воздействие на подачу воздуха в верхнюю камеру ходильника	—	—	—	—	50000	Дифманометр ДМ-3537Ф	Прибор ВФС-24000	—
Отключение подачи топлива в печь при падении давления газа	Газопровод печи	—	Воздушная головка ВГ-2	Клапан электропневматический ЭПК-1/4	ПКВ-200	—	Воздушная головка ВГ-2	Клапан электропневматический ЭПК-1/4	ПКВ-200

Автоматизированная система управления (АСУ) известковым цехом Оскольского электрометаллургического комбината. Известковый цех включает три агрегата с вращающимися печами размером 3,6 × 75 м, оборудованных шахтными подогревателями сырья и ходильниками извести, общей производительностью 400 тыс. т извести в год. Топливом служит природный газ, поступающий из ГРП. Воздух для охлаждения извести и сжигания топлива поступает на печи из компрессорной станции. Локальная АСУ известкового цеха входит в состав АСУ комбината, вычислительный комплекс которой решает задачи учета, планирования и отчетности. Для управления цехом предусмотрен операторский пункт, расположенный в отделении разгрузочных головок вращающихся печей. В помещениях отделения расположен мнемоцент с сигнализацией состояния основного оборудования цеха, машина централизованного сбора информации типа М 40/3 и терминальное устройство для связи с АСУ комбината.

Вычислительная машина с периодичностью 4 раз в час опрашивает датчики и печатает результаты опроса, формируя отчетные документы за смену, сутки (табл. 89). Планирование работы цеха, расчеты себестоимости извести, бухгалтерские и другие документы формируются в АСУ комбината на основании данных, передаваемых ей АСУ цеха.

Контроль и регулирование технологических процессов осуществляются на всех основных участках известкового цеха, включая вагонопрокидыватель, склад известняка, печные агрегаты, компрессорную станицу и газорегуляторный пункт.

Таблица 89

Контроль и регулирование параметров технологического процесса в АСУ известкового цеха Оскольского электрометаллургического комбината

Параметры	Контроль	Регистрация	Регулирование	Сигнализация	Выход на печать
Расход на печной агрегат:					
известняка	+	+			+
природного газа	++	++			++
сжатого воздуха	++	++			++
электроэнергии	++	++			++
выгружаемой извести	++	++			++

Продолжение табл. 89

Параметры		Контроль		Регистрация		Регулирование		Сигнализация		Выход на печать	
Расход:											
насыщенного пара потребителям	+++	++	+++	++	++	++	+	+	+	+	
насыщенного пара из подогревателя	+++	++	+++	++	++	++	+	+	+	+	
питательной воды	+++	++	+++	++	++	++	+	+	+	+	
масла в системе смазки	+++	++	++	+	+	+					
охлаждающей воды в системе смазки	+++	++	++	+	+	+					
Давление:											
природного газа	+++	++	+++	++	++	++					
пара во внешнем трубопроводе	+++	++	+++	++	++	++					
насыщенного пара	+++	++	++	+	+	+					
воды	+++	++	++	+	+	+					
сжатого воздуха	+++	++	++	+	+	+					
перепад давления на фильтрах	+++	++	++	+	+	+					
масла в системе смазки	+++	++	++	+	+	+					
Разрежение по тракту печного агрегата	+++	++	++	+	+	+					
Температура:											
дымовых газов перед очисткой	+++	++	++	+	+	+					
дымовых газов по тракту известняка после подогревателя	+++	++	++	+	+	+					
извести до и после холодильника	+++	++	++	+	+	+					
воздуха после холодильника	+++	++	++	+	+	+					
масла в системе смазки	+++	++	++	+	+	+					
Частота вращения печи	+++	++	++	+	+	+					
Соотношение «газ-воздух»	+++	++	++	+	+	+					
Заполнение и опорожнение бункеров материалом	+++	++	++	+	+	+					
Наличие материала на конвейерах	+++	++	++	+	+	+					
Забивка течек	+++	++	++	+	+	+					
Содержание метана в помещении	+++	++	++	+	+	+					

10. УСТРОЙСТВО И ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ АГРЕГАТОВ С ВРАЩАЮЩИМИСЯ ПЕЧАМИ ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

В США, Англии, Бельгии, ФРГ, ЧССР широко применяют вращающиеся печи для обжига мелкокускового известняка, несмотря на значительные капитальные затраты и повышенный расход топлива

Основные показатели работы вращающихся печей зарубежных стран

Показатели	Длинные печи с теплообменным устройством		Короткие печи с запечными телями сырья		5
	1	2	3	4	
Страна Завод, фирма-разработчик	ФРГ Известковый завод	ЧССР Завод в «Нойпфалье», Фирма Кирр	ЧССР Завод в Мюнхене, объединение «ЧКД»	Бельгия Завод в Мёс-Сен, фирма «Fellner — Ziegler» (ФРГ)	ФРГ Комбинат «Wülfslath», фирма «Polysius»
Размер корпуса, м:					
диаметр	3,15	3,5	3,6	3,75	4,4
длина	135	123	48	55	90
Уклон корпуса, %	3	3	3	4	3
Отношение L/D_0	49,2	39,7	1,5	1,5	22,5
Частота вращения корпуса, об/мин	0,5—1,5	0,5—1,5	0,41—1,6	0,5—1,5	0,5—1,5
Производительность, т/ч	17,5	18	12,5	18,7	41,7
Удельный расход условного топлива, кг/т извести	231	202	204	172	179—186
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т извести	14	21	17	20	22—23
Удельный съем известняка:					
$T/(m^2 \cdot \text{сут})$	70,8	57,3	37,5	50,5	79,7
$T/(m^3 \cdot \text{сут})$	0,53	0,47	0,55	0,92	0,87
Характеристика известняка:					
содержание активных $\text{CaO} + \text{MgO}$, %	94	94	90	96	93

	1	2	3	4	5
содержание остаточной CO_2 , %:	0,5—1,5	0,5—1,5	0,5—0,8	1—2	0,5—0,6
фракционный состав (мм), %:	16 76 8 20—40 более 40	10 70 20 —	10 26 60 4	2 73 —	0,8 7 85 7,2
Характеристика известника: содержание CaCO_3 , %	98,8 4—50	98,8 8—25	98,8 2,5—65	97—98 20—40	98,5—99,2 20—50
Коэффициент расхода сухого сырья, кг/кг известки	2,0	2,0	2,0	1,87	1,93
Пылеунос, %	10—12	12	12	5	8
Характеристика топлива: вид.	Мазут «Е»	Мазут	Природный газ	Мазут	Газообраз- ное (35,5)
размеры полезного объема, м: диаметр (ширина) длина (высота)	—	—	42	43,8	Шахтный противоточ- ный
Многобарашинский	Конвейерная колосниково-решетка	Шахтный с попечечно-перекрестным током, с наклонными решетками	Шахтный с попечечно-перекрестным током, с наклонными решетками	5 (4,2)	Колосниково-решетка конвейерная
	—	(4) 16	3,6 (4,9)	4,67×4,67 (5,3)	(4) 20

размеры полезного объема, м:
диаметр (ширина)
длина (высота)

8*	Температура, $^{\circ}\text{C}$: выгружаемой извести подогретого воздуха	250 200	40 500	38 530	80—100 500—520	50 500—550	100 500—550
Зак. 478	Внутрипичной теплообменник	Прямые стальные полки на участке 19 м	Прямые стальные полки на участке 37 м	Изогнутые стальные полки на участке 55 м, керамический теплообменник 2×6 м	Нет	Нет	Нет
	Характеристика подогревателя сырья, тип	—	—	—	Шахтный противоточный с колывевым слоем	Шахтный противоточный с колывевым слоем	Шахтный противоточный с колывевым слоем
	размеры активной части подогревателя: диаметр (ширина), м длина (высота), м	—	—	—	—	—	—
	Temperatura газов, $^{\circ}\text{C}$:	550 —	400 —	380 —	4,5/2,5 (9)	7,415/4,347 (6)	(4) 20
	на выходе из барабана печи на входе в подогреватель на выходе из подогревателя	—	—	—	1000—1020 950 280—350	1060—1080 1020 250—275	203

Продолжение табл. 90

204

1	2	3	4	5
Температура подогрева материала, °С	—	750—800	850—900	800
Потери напора газов в подогревателе, Па	—	4500—5000	6500	800—900
Установка для очистки газов	Электрофильтр	Кондиционер с увлажнением газов и электрофильтр	Электрофильтр	Группа циклонов и электрофильтр
Концентрация пыли при нормальных условиях, г/м³; на входе на выходе	20—30 0,1	30—45 0,1	15 0,05	5 0,5—1
Температура газов перед электрофильтром, °С	250	250	200	250
Футеровка в зоне обжига	Магнезитовый кирпич на шинельной связке	Магнезитовый кирпич на шинельной связке	Высокоглиноземистый кирпич марки «А-65»	Магнезито-вый кирпич

на обжиг. Причина этого заключается в возросших требованиях потребителей к качеству извести и необходимости вследствие этого использования печного агрегата с широкими возможностями регулирования процесса обжига.

В табл. 90 приведены основные показатели работы длинных и коротких вращающихся печей ряда зарубежных стран, подтверждающих высокое качество выпускаемой извести (CaO 90—96 %, остаточной CO_2 0,5—2 %, содержание серы менее 0,025 %) при умеренном расходе топлива (172—231 кг условного топлива на 1 т извести). Это стало возможным благодаря ряду технологических приемов, совершенствованию элементов печного агрегата, использованию высококачественных огнеупоров, контрольно-измерительной и регулирующей аппаратуры [41].

Холодильники извести. Одним из основных технологических приемов, применяемых при производстве извести во вращающихся печах за рубежом, является выдержка ее перед охлаждением при температуре 1050—1100°C в специальной теплоизолированной камере в течение 30—40 мин. При этом происходит диссоциация 5—6 % карбоната кальция, находящегося в центре кусков извести, за счет физического тепла поверхностных слоев. Таким приемом достигается значительное улучшение качества извести без дополнительных затрат тепла на обжиг [37].

Шахтный холодильник с лоперечно-перекрестным движением газов и материала конструкции фирмы «Krupp — RWK» (ФРГ) представлен на рис. 68. Холодильник включает футерованную цилиндрическую камеру дополнительной декарбонизации извести объемом 15 м³ и шахту собственную холодильника объемом 18 м³. В шахте холодильника соосно смонтированы наружная и внутренняя цилиндрические колосниковые решетки из металла. В средней части решетки разделены цилиндрическими кольцами. Сверху внутренняя решетка перекрыта круглой плитой из огнеупора, которая опирается на стальную трубу, охлаждаемую воздухом. В нижней части холодильника расположен механизм выгрузки с вращающимися скребками.

Шахтный противоточный холодильник фирмы «Fellner — Ziegler» (ФРГ) сконструирован для вращающихся печей производительностью 300—600 т/сут. Технологические линии для производства извести с вращающимися печами фирмы «Fellner — Ziegler» эксплуатируются в ФРГ, Англии, Бельгии и других странах [37].

Шахтный противоточный холодильник извести (рис. 69) представляет собой выложенную из огнеупорного кирпича цилиндрическую шахту полезным объемом 9 м³, заключенную в сварной кожух и установленную на четырех опорах. В нижней части шахты смонтирована шесть разгрузочных воронок с вибропитателями, бункер извести и шлюзовой затвор.

Из вращающейся печи известьсыпается в камеру дополнительной декарбонизации, опускается в шахту в противотоке с воздухом, охлаждается и через разгрузочные воронки вибропитателями подается в бункер, из которого через шлюзовой затвор выгружается на конвейер.

Воздух под давлением подается в шахту снизу по периферии и через дутьевой конус, затем, минуя камеру дополнительной декарбонизации, по обводному каналу поступает в горячую головку печи.

Обжиг фракционированного известняка в короткой вращающейся печи размером 3,75×55 м с шахтным подогревателем сырья и

шахтным противоточным холодильником извести показал незначительное истирание и измельчение материала, что видно из приведенной ниже гранулометрической характеристики известняка и извести:

Известняк Фракции, мм (%)	Известь Фракции, мм (%)
0—10 (0,6)	0—1 (2,2)
10—20 (1,4)	10—20 (8,4)
20—30 (35,4)	20—30 (55,6)
30—40 (37,6)	30—40 (25,4)
40—50 (25)	Более 40 (8,6)

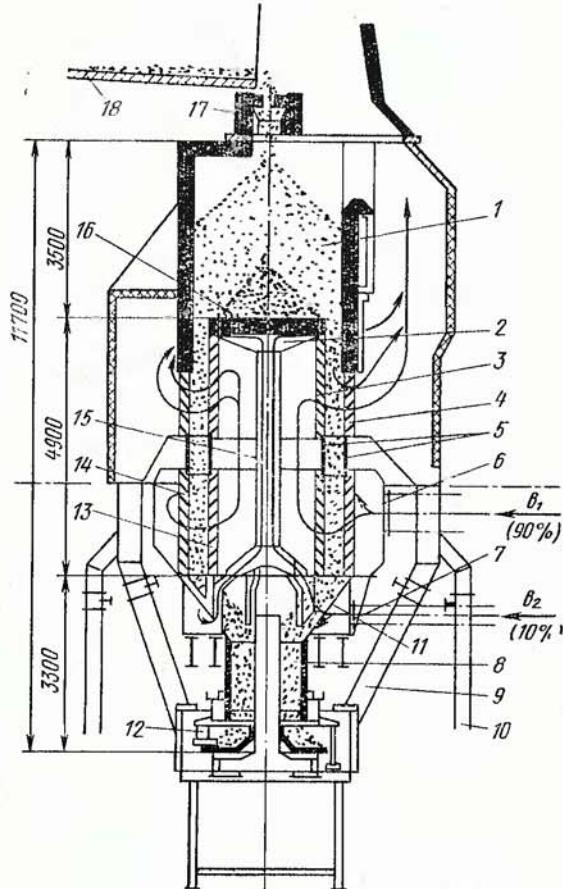


Рис. 68. Шахтный холодильник извести с поперечно-перекрестным движением газов и материала конструкции «Krupp — RWK»:
1 — камера дополнительной декарбонизации извести; 2 — кольцевое сопло; 3, 4 — верхняя секция внутренней и наружной решеток; 5 — цилиндрические кольца; 6, 7 — патрубки для входа воздуха; 8 — механизм выгрузки; 9, 10 — спусковой и аварийный желоба; 11 — бункер; 12 — скребок; 13, 14 — нижние секции решеток; 15 — стальная труба; 16 — круглая керамическая плита; 17 — приемная воронка; 18 — вращающаяся печь

Короткие вращающиеся печи с подогревателями сырья. Короткие вращающиеся печи с эффективными подогревателями сырья работают с удельным расходом условного топлива на обжиг в пределах 172—186 кг/т. В предложениях фирм ФРГ и ЧССР удельный расход условного топлива на обжиг гарантируется в пределах 157—

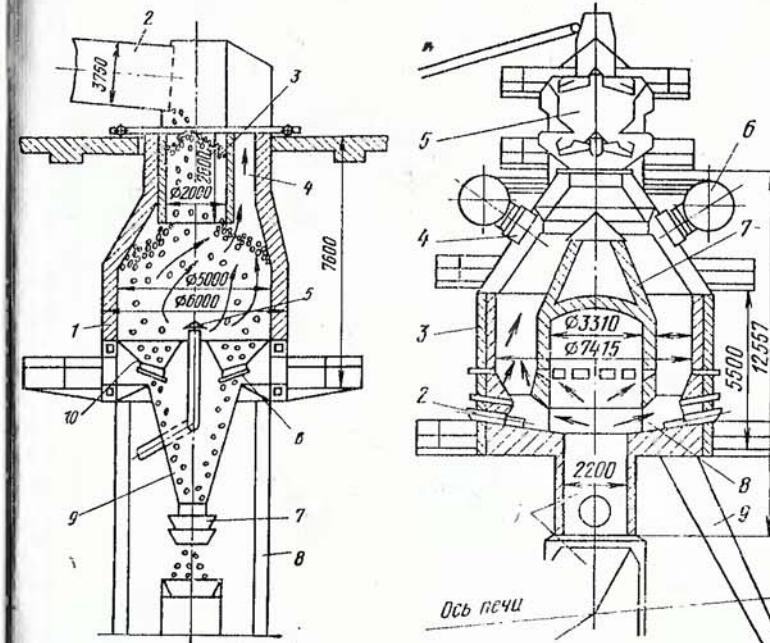


Рис. 69. Шахтный противоточный холодильник извести конструкции «Krupp — RWK»:

1 — шахта; 2 — вращающаяся печь; 3 — камера дополнительной декарбонизации извести; 4 — канал; 5 — дутьевой конус; 6 — вибропитатель; 7 — шлюзовой затвор; 8 — опора; 9 — кольцевой коллектор; 10 — разгрузочная воронка

Рис. 70. Шахтный противоточный подогреватель сырья фирмы «Fellner + Ziegler»:

1 — футерованная течка; 2 — плунжерный толкатель механизма выгрузки; 3 — шахта; 4 — патрубок; 5 — механизм загрузки; 6 — кольцевой коллектор; 7 — керамический керн; 8 — разгрузочное окно; 9 — опора

172 кг/т извести. В ФРГ эксплуатируются три самые короткие в мире короткие печи с запечными подогревателями сырья производительностью 1000 т извести в сутки каждая [39, 41].

За рубежом распространены подогреватели сырья типа колосниковой конвейерной решетки (система «Леполь») и шахтные противоточные с продуваемым слоем (см. табл. 90).

Шахтный противоточный подогреватель сырья конструкции фирмы «Fellner — Ziegler» (ФРГ) представлен на рис. 70. Подогреватель представляет собой установленную на стальной несущей конструкции шахту. На шахте смонтировано двухшлюзовое загрузочное устройство с вибрационным питателем. Нижняя часть шахты футерована теплоизоляционным огнеупорным материалом. Футеровка

выполнена таким образом, что образует по периметру восемь отсеков, в каждом из которых установлено дозирующее устройство с гидравлическим приводом. Работа каждого дозатора регулируется по заданной программе. Производительность дозаторов меняется с помощью реле времени.

Внутри шахты установлен пустотелый керн, выполненный из огнеупорного материала. Между футеровкой шахты и керном образуется кольцевое пространство шириной 1,534 м и высотой 6 м, по которому опускается материал и поднимаются печные газы. Газы из подогревателя отбираются через патрубки и кольцевой коллектор.

Продолжительность пребывания известняка фракции 20—50 мм в подогревателе около 2 ч, подогретый известняк содержит до 40% CaO. Потери напора в подогревателе составляют 5—6,5 кПа [3, 39].

ГЛАВА IV

ПЕЧИ КИПЯЩЕГО СЛОЯ И ОБЖИГОВЫЕ МАШИНЫ

1. УСТРОЙСТВО И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕЧЕЙ КИПЯЩЕГО СЛОЯ

Печи кипящего слоя (КС) позволяют получать известок высокого качества при обжиге мелкодробленого и пылевидного известняка фракции 0,2—0,6; 0,2—3; 3—12; 12—25 мм [43, 44].

В СССР печи КС эксплуатируются на Макеевском металлургическом заводе (200 т извести в сутки) и на Карагандинском металлургическом комбинате (проектная производительность 1000 т извести в сутки); печи КС производительностью 300—400 т извести в сутки строятся на Броценском цементно-шиферном комбинате и Гречевском заводе силикатного кирпича; разработан проект реконструкции шахтной пересыпной печи завода «Азовсталь» на печь КС производительностью 600 т извести в сутки (см. табл. 96).

Печь кипящего слоя производительностью 200 т/сут. (рис. 71) разработана ДонНИИЧерметом совместно с Макеевским металлургическим заводом, она представляет собой вертикально установленную футерованную цилиндрическую шахту, разделенную по высоте решетками на три зоны (две подогрева сырья и одна обжига).

Керамические решетки зоны подогрева собраны из шамотного кирпича (55% шамот, 35% каолина, 10% часовянская огнеупорная глина) специальной конструкции. Шамотный кирпич высотой 200 мм снабжен треугольными выступами и впадинами, обеспечивающими при укладке необходимую прочность решетки. Кирпичи укладываются на арки, имеющие шаг, равный ширине кирпича. В кирпичах предусмотрены отверстия для выхода ожигающей среды.

Решетка зоны обжига изготовлена из жаропрочной стали и представляет собой перфорированный лист толщиной 16—20 мм. Над каждым отверстием решетки приварены муфты с резьбой, в которые ввернуты насадки горелочного устройства.

Горелочное устройство печи КС (рис. 72). Горелка печи КС состоит из горелочной трубы и воздухораспределительной

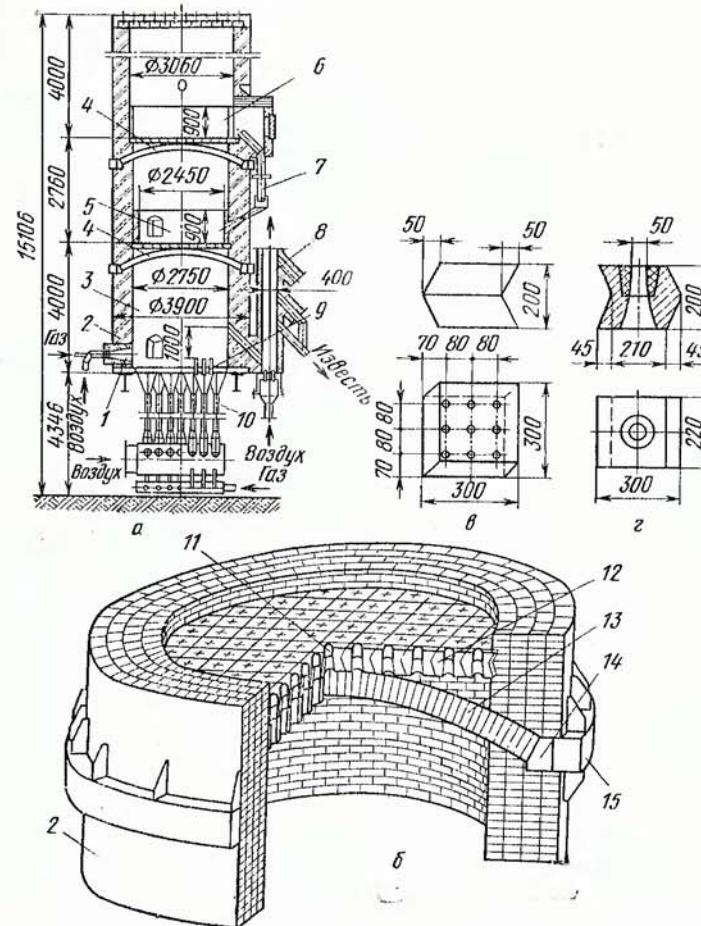


Рис. 71. Печь кипящего слоя конструкции ДонНИИЧермета производительностью 200 т/сут:

a — печь; *б* — конструкция керамической решетки; *в* — вариант кирпича с девятью отверстиями; *г* — вариант кирпича с центральным отверстием (профилируется сменным стаканом); 1 — разжиговая горелка; 2 — шахта; 3 — зона обжига; 4 — керамическая решетка; 5, 6 — зоны подогрева; 7 — переточное устройство; 8 — гидрозатвор; 9 — горелки; 10 — воздуховод; 11 — стакан; 12 — огнеупорный кирпич; 13 — арка; 14 — пятовый кирпич; 15 — опорный пояс

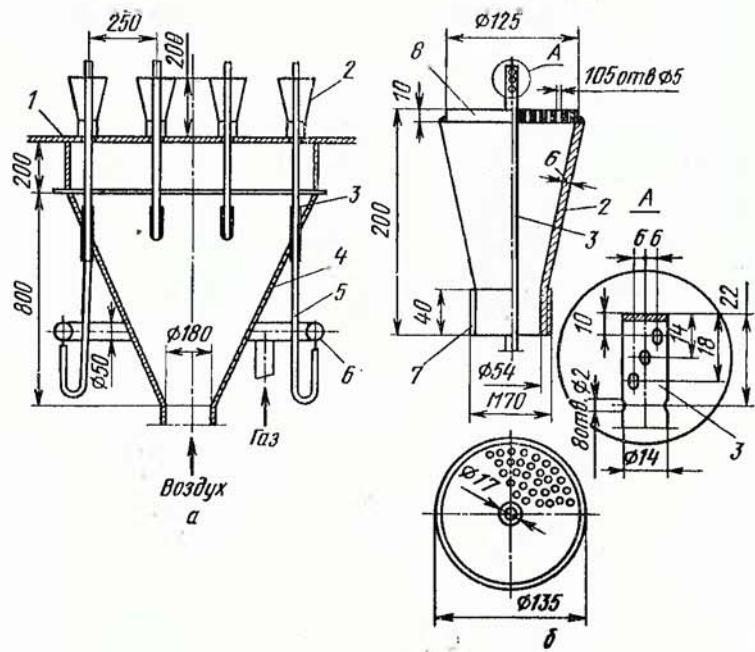


Рис. 72. Горелочное устройство печи КС:
а — группа горелок; б — горелка;

1 — решетка зоны обжига; 2 — насадка;
3 — горелочная труба; 4 — воздухосборник;
5 — резиновый шланг; 6 — газовый коллектор;
7 — основание насадки; 8 — решетка насадки

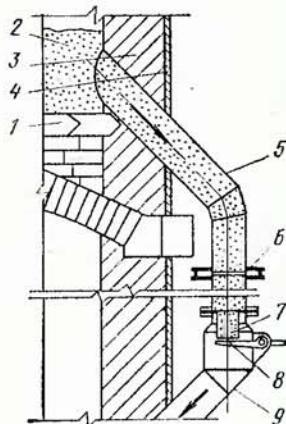


Рис. 73. Переточное устройство гравитационного типа:

1 — керамическая решетка; 2 — кипящий слой; 3 — футеровка; 4 — кожух печи; 5 — приемная труба; 6 — компенсатор; 7 — сопло; 8 — клапан; 9 — сливная труба

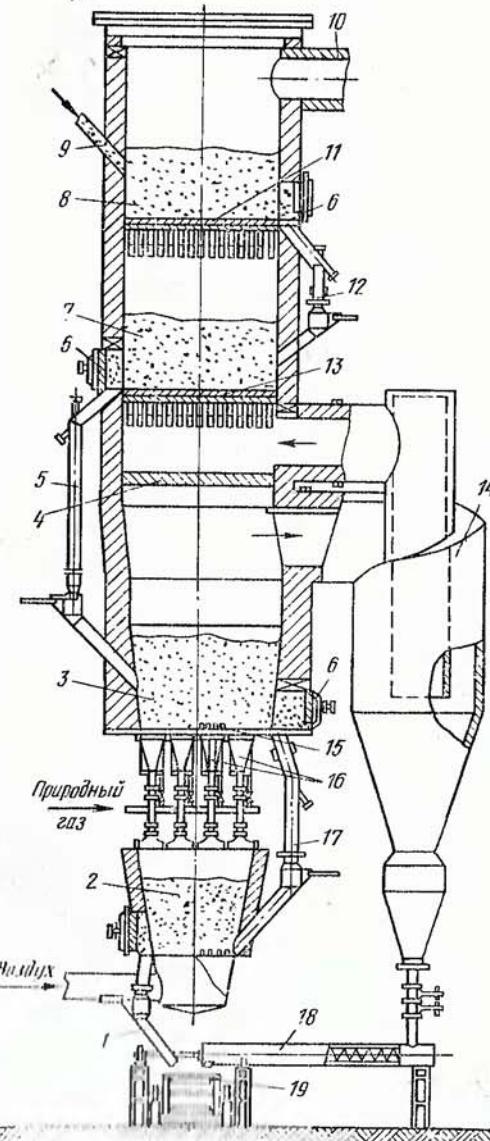


Рис. 74 Печь кипячения с производительностью 300 т извести в сутки:
1, 9 — течка; 2 — дверь; 3 — зона обжига; 4 — глухая керамическая перегородка; 5, 11, 17 — переточное устройство; 6 — люк; 7 — зона подогрева; 8 — зона кипячения; 10 — газонепроницаемая дверь; 12 — зона подогрева; 13 — керамические решетки; 14 — газовый выход; 15 — горелочная труба; 16 — воздухосборник; 18 — первичный воздух; 19 — дополнительный извеcтер

насадки. Несколько горелок объединены в общий воздухосборник и газовый коллектор. Каждая группа горелок снабжена регулирующей и измерительной аппаратурой, позволяющей регулировать соотношение «газ — воздух».

Соединение зон осуществляется переточными устройствами гравитационного типа (рис. 73). Переточное устройство состоит из приемной и сливной труб, клапана и компенсатора температурных удлинений трубы. Ось клапана обдувается воздухом, который одновременно отгоняет горячий материал от рычага клапана и охлаждает клапан. Клапан служит для регулирования расхода материала между зонами и отсечным устройством при нарушении режима работы печи. Переточные устройства устанавливают по два, так как одно является резервным.

Известия фракции 3—10 мм загружается в зону подогрева винтовым питателем с регулируемой частотой вращения винта. Из зоны подогрева 1 материал переходит в зону подогрева 2, а затем в зону обжига по переточным устройствам. Из зоны обжига готовая известь выгружается на агломерационную ленту при помощи гидро затвора, работающего на холодном воздухе.

Печь не имеет зоны охлаждения, поэтому температура извести составляет 800—850°C.

Печи КС производительностью 300—1000 т извести в сутки. Промышленные печи КС для выпуска извести имеют четыре зоны (две зоны подогрева сырья, зону обжига и зону охлаждения извести) и специально сконструированный для печей КС футерованный циклон («горячий циклон»), в котором выделяется пыль из отходящих газов зоны обжига (рис. 74).

В печи КС производительностью 1000 т/сут установлен горячий циклон конструкции Ждановского филиала Укртипромеза, в котором выхлопная труба выполнена сменной (замена осуществляется при остановке печи на ремонт).

Характеристика горячего циклона печи КС-1000

Максимальный диаметр циклона, м	4,206
Диаметр выхлопной трубы, м	2
Высота циклона, м	11,935
Объемный расход газов на входе, м ³ /с	44,5
Температура газов на входе, °С	950
Потери давления в циклоне, Па	1000
Количество уловленной пыли, кг/ч	890
Пылеунос из циклона, кг/ч	380
Гранулометрический состав уловленной пыли, мм	0,07—3

Характеристика керамических решеток печи КС производительностью 1000 т/сут приведена в табл. 91.

Решетка зоны обжига печи КС-1000 выполнена из стали и имеет 192 отверстия диаметром 66 мм. Горелочные устройства объединены в 12 групп по 16 горелок в каждой.

Сплошная перегородка имеет такую же конструкцию, как и керамические решетки (рис. 71,б), но без отверстий в оgneупорных кирпичах.

В печи КС-1000 применены переточные устройства гравитационного типа (рис. 73), характеристика которых дана в табл. 92.

Таблица 91
Характеристика керамических решеток печи КС-1000

Показатели	Зоны подогрева сырья	
	1	2
Диаметр зоны в месте слоя, м	3,28	3,51
Высота слоя в зоне	0,76	0,63
Скорость газов, м/с	8,58	8,7
Число отверстий в решетке, шт.	140	156
Диаметр отверстия, мм	60	60
Скорость охлаждающей среды в отверстии, м/с	220	200
Число псевдоожижения	1,37	1,45
Живое сечение решетки, %	4,64	4,55

Таблица 92
Характеристика переточных устройств печи КС-1000

Показатели	Направление потока материала			
	из зоны подогрева 1 в зону подогрева 2	из зоны подогрева 2 в зону обжига	из зоны обжига в зону охлаждения	из зоны охлаждения в холодильник
Расход (по массе), т/ч	70,41	69,65	40,56	40,13
Температура, °С: материала на входе	450	750	950	380
газов на входе	750	950	380	187

Таблица 93
Химический состав продукта обжига известняка-ракушечника флоридского месторождения в печи КС

Наименование продукта	Содержание свободной CaO, %	Потери при прокаливании, %	Содержание CO ₂ , %	Нерастворимые в HCl, %
Известняк-ракушечник	—	42,9	42,9	1,65
Известь из холодильника	92,3	1,76	0,4	3,16
Известь из горячего циклона	91,4	1,6	0,42	3,01
Известь из циклонов газоочистки	6,4	40,0	38,3	2,79

В печи КС-1000, кроме зоны охлаждения, установлен дополнительный холодильник извести кипящего слоя. Холодильник представляет собой футерованную камеру прямоугольного сечения размером 5,025×2 м (по кожуху), нижняя часть которой является воздухораспределительной решеткой. Воздух под решетку поступает от воздуховодки. Известь охлаждается в холодильнике до температуры 102°C.

Печь КС, работающая на жидким топливе, производительностью 220 т/сут (рис. 75), разработана фирмой «Dorr — Oliver» (США). Печь имеет пять технологических зон термообработки известняка.

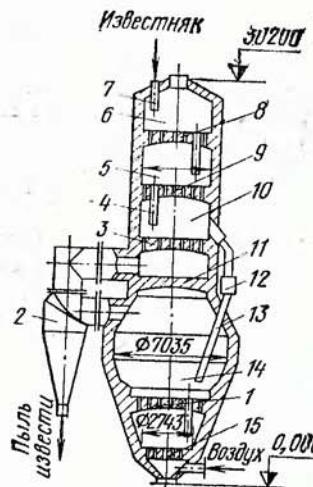


Рис. 75. Печь кипящего слоя, работающая на жидком топливе, производительностью 220 т/сут:
 1, 3, 8, 9, 15 — керамические решетки;
 2 — горячий циклон; 4, 7 — внутренние перегородки;
 5, 6, 10 — соответственно зоны подогрева 2, 1 и 3;
 11 — сплошная перегородка; 12 — клапан;
 13 — внешнее перегородочное устройство;
 14 — зона обжига.

Зоны подогрева сырья, обжига и охлаждения соединены между собой внутренними перегородочными устройствами, оснащенными со стороны выхода коническими клапанами с тягами управления. Жидкое топливо вводится в кипящий слой форсунками pnevmatического распыливания, установленными периферийно на расстоянии 305 мм от решетки. Форсунка представляет собой стальную трубу диаметром 12,5 мм. Отсеванный и высушенный в специальной установке кипящего слоя известняк загружается в зону подогрева 1 винтовым питателем, известь выгружается из зоны охлаждения через перегородочное устройство. Химический состав извести приведен в табл. 93 [44].

Тепловой баланс печи КС фирмы «Dorr — Oliver» (на 1 кг извести)

Приход тепла, кДж (%):

горение топлива 4860 (98,2)
 с воздухом 88 (1,8)

Итого 4948 (100)

Расход тепла, кДж (%):

на реакцию диссоциации 2990 (60,4)

Потери тепла:

с отходящими газами 1205 (24,4)
 с известью из холодильника 268 (5,4)

с пылеуносом из зоны подогрева печи	117 (2,4)
с пылью из горячего циклона при 980°C	88 (1,8)
в окружающую среду и неучтенные потери	280 (5,6)
Итого	4948 (100)
Тепловой к. п. д. печи №к-с	60,4

2. ТЯГОДУТЬЕВЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ ПЕЧЕЙ КИПЯЩЕГО СЛОЯ

Для псевдоожижения слоя материала в печах КС производительностью 400—1000 т извести в сутки применяют нагнетатели. Для отвода газов из печей используются вентиляторы типа ВГДН-17 и ВГДН-21 (см. табл. 79).

Техническая характеристика нагнетателя типа 1200-26-1

Объемный расход воздуха при нормальных условиях, м³/с:
 при конечном избыточном давлении, мПа:

0,14	17,2
0,09	20,8

Электродвигатель:
 тип СТД-3200-2344
 мощность, кВт 3680
 напряжение, кВ 10

Рукавный фильтр (до нагнетателя):
 тип ФР2-80-03
 объемный расход воздуха при нормальных условиях, м³/с 22,2

Система централизованной смазки нагнетателя:
 вместимость баков, м³:
 чистого масла 0,2
 отработанного масла 3,0

шестеренчатый насос:
 тип Ш5-25-3,6/4
 объемный расход, м³/ч 3,6
 число насосов, шт. 2
 Завод-изготовитель «Энергомаш»
 (г. Хабаровск)

3. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПЕЧЕЙ КИПЯЩЕГО СЛОЯ

Особенности сжигания топлива в печах кипящего слоя. В печах КС можно использовать твердое, жидкое и газообразное топливо. В печах для производства извести в нашей стране применяют газообразное топливо и разработаны проекты печей, работающих на мазуте.

При сжигании газообразного топлива в кипящем слое важным требованием является равномерное распространение топлива по поперечному сечению, так как радиальное перемешивание в кипящем слое выражено слабо. Это условие выполняется при использовании специального горелочного устройства (см. рис. 72).

При сжигании мазута он попадает на частицы материала и вместе с ними равномерно распределяется в кипящем слое. В процессе переноса частиц происходит выгорание топлива по всему объему слоя. Поэтому мазут вводится в кипящий слой по периферии зоны обжига, а воздух — через отверстия решетки. Для периферийного ввода мазута используют форсунки механического или пневматического распыла, а также серийные типы ГМГ завода «Ильмарине».

Особенности аэродинамики кипящего слоя. При скорости потока газов ω меньше скорости начала псевдоожижения ω_0 слой материала на решетке остается неподвижным. При $\omega = \omega_0$ частицы материала приобретают подвижность, высота слоя $h_{k.c}$ и порозность слоя $\Phi_{k.c}$ увеличиваются, а слой называется кипящим. Потери давления в слое $\Delta P_{k.c}$ (Па) определяются по формуле [43]:

$$\Delta P_{k.c} = G_{k.c} / S = 9,81 (1 - \Phi_{k.c}) h_{k.c} \rho_m, \quad (39)$$

где $G_{k.c}$ и S — вес слоя материала и площадь его горизонтального поперечного сечения; $\Phi_{k.c} = (\rho_m - \rho_n) / \rho_m$; ρ_m , ρ_n — кажущаяся и настоящая масса частиц материала.

Скорость начала псевдоожижения определяется по формуле [43]:

$$\omega_0 = Re_0 v_r / d_{cp}, \quad (40)$$

где $Re_0 = Ar / (1400 + 5,22 \sqrt{Ar})$ — число Рейнольдса для начала псевдоожижения (формула О. М. Тодеса);

$$Ar = \frac{g d_{cp}^3}{\nu^2} \frac{\rho_m}{\rho_r} \text{ — число Архимеда;}$$

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение силы тяжести; d_{cp} — средний диаметр частиц материала.

С ростом ω увеличиваются $\Phi_{k.c}$ и $h_{k.c}$, но $\Delta P_{k.c}$ остается неизменным. При $\omega = \omega_{un}$ частицы материала уносятся из слоя, и кипящий слой разрушается. Скорость ω_{un} определяется по формуле

$$\omega_{un} = Re_{un} v_r / d_{cp}, \quad (41)$$

$$\text{где } Re_{un} = Ar / (18 + 0,61 \sqrt{Ar}). \quad (42)$$

Значения Re_0 и Re_{un} определяют границы существования кипящего слоя и являются его предельными значениями.

Кипящий слой характеризуется числом псевдоожижения $P = \omega / \omega_0$. Скорость движения ожигающей среды рассчитывается по выражению:

$$\omega = V_r / S,$$

где V_r — объемный расход газов, $\text{м}^3/\text{с}$; S — площадь поперечного сечения (в свету) аппарата, м^2 .

Максимальное значение P_{max} для ламинарного режима равно 77,7; для турбулентного — 8,56.

Во избежание сепарации кипящего слоя, сопровождающейся выносом из него потоком газов мелких частиц материала, полидисперсность материала нормируют пределом отношения размеров наименьших и наибольших частиц по формуле

$$i_d = \sqrt{d_{max}/d_{min}}. \quad (43)$$

Допустимые значения величины i_d определяют по империческим формулам:
при $Re_{k.c} \leq 1000$

$$i_d = 0,835 Ar^{0.05}; \quad (44)$$

при $Re_{k.c} > 1000$

$$i_d = 1,28 Ar^{0.025}. \quad (45)$$

Особенности теплообмена в кипящем слое. При равномерном кипящем слое теплообмен между частицами и ожигающей средой происходит по закону конвекции и описывается следующим критериальным уравнением (при $Re_{k.c} < 100$):

$$Nu_{k.c} = 0,03 Re_{k.c}^{1.3}. \quad (46)$$

Вычисленные по критериальному уравнению значения коэффициента теплоотдачи $\alpha_{k.c}$ позволяют определить минимальное время пребывания частиц материала в каждой зоне печи.

Методика расчета печей кипящего слоя для производства известня подобно изложена в работах [43, 45].

Тепловой баланс печей КС. Характерной особенностью температурного режима печи КС является ступенчатое изменение температуры материала по камераам, в результате чего наблюдается одновременное поступление в камеру обжига материала с низкой температурой и выход из нее газов с температурой, значительно превышающей температуру диссоциации CaCO_3 . Это сопровождается увеличением расхода тепла на обжиг. Поэтому температуру в зоне обжига необходимо поддерживать ближе к температуре диссоциации CaCO_3 (900—950°C).

Второй особенностью печей КС является наличие горячего циклона, обусловливающего потерю физического тепла уноса известня при температуре 900—950°C.

Таблица 94

Расчетные статьи расхода тепла и значения коэффициентов теплоиспользования в печах КС (по данным В. М. Дементьева)

Статья	Твердое топливо	Мазут	Природный газ
Расход тепла, кДж на 1 кг известия:			
на диссоциацию CaCO_3	3210	3210	3210
потери с отходящими газами	1186	1370	1600
потери с известью из горячего циклона	96	96	96
потери в окружающую среду	84	84	84
потери с выгружаемой известью	38	38	38
Итого	4614	4798	5028
Тепловой к. п. д., %	69,6	66,9	63,9

Печи КС оборудованы внешними переточными устройствами, что вызывает увеличение потерь тепла в окружающую среду. Указанные факторы приводят к тому, что удельный расход тепла на обжиг карбонатных пород в печах КС выше, чем у печей шахтного типа. Расчетные статисты расхода тепла в печах КС при работе на различных видах топлива даны в табл. 94 [43].

Регулирование процесса обжига в печи кипящего слоя. Вследствие подвижности (текучести) частиц кипящий слой сохраняет в зоне определенный уровень, зависящий от величины перепада давления охаживающей среды в слое. При добавлении в слой материала

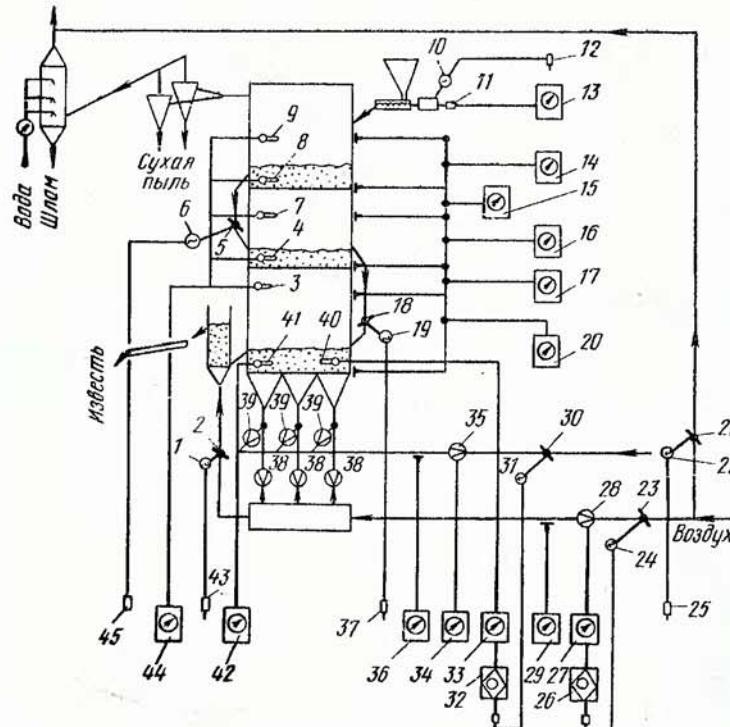


Рис. 76. Принципиальная схема КИП и автоматики печи КС, работающей на газообразном топливе, производительностью 200 т/сут:

1, 6, 19, 22, 24, 31 — исполнительный механизм; 2, 5, 18, 21, 23, 30 — регулирующий орган (дроссельная заслонка, клапан); 3, 4, 7, 8, 9, 40, 41 — термоэлектрический термометр; 10 — электродвигатель привода винтового питателя; 11 — тахогенератор; 12, 25, 37, 43, 45 — аппаратура дистанционного управления; 14—17, 20, 29, 36 — приборы давления воздуха, охаживающей среды и природного газа; 26, 32 — электронный регулятор; 27, 34 — расходомеры; 28, 35, 38, 39 — датчики расхода воздуха и природного газа (диафрагма, сопло, труба Вентури); 33, 42, 44 — электронный потенциометр.

из него соответственно «вытекает» такое же количество материала. Это свойство кипящего слоя позволяет управлять процессом обжига и менять время пребывания материала в слое.

Время пребывания материала в слое (τ) вычисляется по выражению:

$$\tau_{\text{к.с}} = V_{\text{к.с}} / V_m,$$

где $V_{\text{к.с}}$ — объем кипящего слоя, м^3 ; V_m — объем материала, поступающего в кипящий слой, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Характер горения газообразного топлива в кипящем слое и распределение температуры по высоте слоя зависят главным образом от высоты участка смешения газа с воздухом. Увеличение высоты выходных сопел горелочной трубы над воздухораспределительной решеткой увеличивает длину участка смесеобразования и наоборот. Скорость смесеобразования и максимальная температура в слое зависят от коэффициента расхода воздуха. Постоянство соотношения «топливо—воздух» в печи, стабилизация расхода воздуха на печь и температура кипящего слоя в зоне обжига поддерживается автоматическими регуляторами (рис. 76, табл. 95).

Основные показатели работы печей кипящего слоя приведены в табл. 96.

4. ОБЖИГОВЫЕ МАШИНЫ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КОЛОСНИКОВОЙ РЕШЕТКОЙ

Для обжига мелкокускового известняка применяют машины с вращающейся колосниковой решеткой типа ОПР и ПОР [3, 5, 46].

Обжиговая машина ПОР (рис. 77) является усовершенствованым вариантом модели ОПР. Машина ПОР представляет собой вращающуюся колосниковую решетку, на которой неподвижно закреплена цилиндрическая секционная шахта, состоящая из наружной жалюзионной и внутренней колосниковой решеток. Шихту (известняк 3—10 мм и коксик 2—5 мм) загружают в секции шахты сверху и зажигают на решетке или через стенку от горна. Газы отсасываются из машины дымососом.

Содержание CaO в получаемой извести 70—80%, но в результате жесткого и неравномерного режима обжига она содержит много «пережога», поэтому не используется в промышленности строительных материалов.

Обжиговые машины шведской фирмы «Calcimatic» более совершенны в теплотехническом отношении. Вращающаяся решетка заключена в герметичный теплоизолированный корпус. Вдоль боковой стенки корпуса расположены горелочные устройства. В горелки нагнетается подогретый в холодильнике до 250°C воздух. Агрегат снабжен шахтным подогревателем сырья высотой 11 м и шахтным холодильником извести. Отходящие из подогревателя газы проходят очистку от пыли. Известняк обжигается в виде фракций (мм): 6—19, 6—25, 13—38, 18—51, 51—76.

Получаемая в машинах «Calcimatic» жестко обожженная известь с содержанием CaO 90—92% используется в металлургических процессах.

Основные характеристики машин ПОР и «Calcimatic» даны в табл. 97.

Таблица 95
Аппаратура для сигнализации отклонения и регулирования параметров печи кипящего слоя типа КС-1000

Назначение	Датчик величины	Тип вторичного прибора или преобразователя	Тип регулятора	Тип исполнительного механизма
Регулирование давления газов в зоне подогрева 1	Дифманометр ДКОФ-102	Преобразователь НП-ПЗ	РП2-ПЗ	МЭО-63/100-73
Регулирование перепада давлений газов (решетка+слой материала в зонах подогрева и обжига)	Дифманометр ДМ-3573	То же	Блок сигнализации и регулирования П11730	—
Регулирование перепада давлений газов № 1 и 2 (решетка+слой известняка в охладителях)	То же	>	То же	—
Сигнализация падения давления воздуха после изнитстели	Реле давления ДД-11	Манометр МП4-У1	Прибор сигнализирующий М1730С	МЭО-10/100-73
Сигнализация падения давления газа в зоне обжига	Термометр ТХА-0806	Преобразователь НП-ПЛМ	То же	—
Сигнализация температуры воздуха после нагревателя	Термометр ТСП-1	Преобразователь НП-СЛ1М	Прибор сигнализирующий М1730С	—
Сигнализация температуры перед электрофильтрами	То же	То же	Блок сигнализации и регулирования П11730	Клапан-ограждатель предохранительный ПКВ-200
Отсечка газообразного топлива: при падении разрежения перед дымоходами	Устройствами	—	—	То же
Управление перегородками волны на охлаждение узлов печи	Термометр манометрический ТСМ-100	—	—	МЭО-63/100-73
Сигнализация давления волны на охлаждение узлов печи	Манометр ЭКМ-1У	—	—	—
Сигнализация наличия потока воды на охлаждение узлов печи	Реле протока РП-50	—	—	—

Таблица 96
Технические характеристики и основные показатели работы печей кипящего слоя, предназначенных для обжига карбонатных пород на известковом сырье

Наименование	Производительность по известку, т/сут				
	200	400	600	1000	2200
1	2	3	4	5	6
Характер данных разработчик конструкции печи	Эксплуатация ДонНИИЧермет То же	Гипросталь Ленгипромэз	Проектные ДонНИИЧермет Жлановский Укр- гипромез 1972	Гипромез 1974	Эксплуатация «Dorr — Oliver» (США) То же
Разработчик проекта печи	1962	1973			1960
Год выпуска проекта					
Полезные размеры печи, м:					
диаметр по зонам:					
подогрева 1	3,06	3,712	3,93	3,974	4,572
подогрева 2	2,45	3,944	3,93	3,974	4,572
подогрева 3	—	—	—	—	4,572
обжига (верх/низ)	2,75	3,93	3,93	4,554	4,572/7,035
ожаждения	—	3,6	3,6	2,90	2,743
высота по зонам:					
подогрева 1	4	4,5	4,5	5,07	2,75
подогрева 2	2,76	4,5	5,02	4,62	2,75
подогрева 3	—	—	—	—	—
обжига	4	11,3	8,15	7,7	7,04
ожаждения	—	2,6	2,6	2,55	2,75
площадь поперечного сечения в зоне обжига, м ²	8,27	12,00	8,28	12,0	16,0
Полезный объем печи, м ³	Нет сб.	242	172	285	Нет сб.

1	2	3	4	5	6
Съем известняка					
т/(м ² .сут)	24,2	33,3	72,5	83	13,8
т/(м ³ .сут)	—	1,65	3,5	3,5	—
Характеристика сырья:					
вид	Известняк	Доломит	Известняк	Известняк	Известняк-известиник
химический состав, %:					
CaCO ₃	96,00	66,5	94,70	96,70	98
MgCO ₃	1,25	30,7	3,14	1,05	0,78
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	2,75	2,8	2,16	2,25	1,22
гранулометрический состав (мм), %:					
0—1,25	1,86	2	—	48,4	—
1,25—3	6,84	8	—	51,6	—
3—5	33,00	55,2	—	—	—
5—8	36,80	28,9	—	—	—
8—10	17,86	5,9	—	—	—
10—12	4,64	—	—	—	—
12—15	—	—	—	—	—
15—20	—	—	—	—	—
20—25	5,76	5,0	17,9	17,9	—
эквивалентный диаметр, мм					
насыпная масса, кг/м ³	1500	1590	47,6	47,6	—
объемная масса, кг/м ³	2500	2520	34,5	34,5	0,856
влажность карьерная, %	2	4	18,5	18,5	—
коэффициент расхода сырья, кг/кг известняка	2,1	2,04	2,500	2,500	0,0
Степень диссоциации сырья, %	97	96	1,81	1,81	Нет сб.
			96	96	99,5

Характеристика топлива:
вид

Масло «Bunker-Sx»	Сжиженный бутан	Природный газ	Природный газ
теплота сгорания, МДж/кг (МДж/м ³)	35,6	35,6	35,6
удельный расход условного топлива на обжиг, кг/т известняка	183,5	170	170
удельный расход электроэнергии на обжиг, кВт·ч/т известняка	52	100	100
Характеристика известняка: содержание активных CaO+ +MgO, %	90	90	90
содержание остаточной CO ₂ , %	2,9	3	3,5
время гашения, мин	0,2—5	10—20	3—6
Температура газов по зонам, °С:			
обжига	950	950	950
подогрева 3	—	—	2,12
подогрева 2	800	800	2—5
подогрева 1	600	450	—
отходящих газов	470	400	800
температура выгружаемой известняка, °С	800	120	120
Высота слоя материала по зонам, м:			
подогрева 1	0,6	0,8	0,76
подогрева 2	0,5	0,6	0,63
подогрева 3	—	—	—
обжига	0,8	1,0	1,0
отложивания	—	0,5	0,5
Потери давления по зонам печи, кПа:			
подогрева 1	5	1,6	18
		18,35	Нет сб.

Продолжение табл. 96

224

1	2	3	4	5	6
подогрева 2 обжига	4 5	14 10 5,5 70	1,5 1,1 5,5 70	15,2 11 5,6 65	Нет св. Нет св. 45,6
Давление воздуха на входе в печь, кПа	— 24	—	—	—	—
Размеры горячего циклона, м:	—	—	—	—	—
диаметр (в свечу)	—	—	—	—	—
высота	—	—	—	—	—
Потери давления в горячем циклоне, кПа	—	—	—	—	—
Нагнетатель:	—	—	—	—	—
типа	700-13-11-1	1200-26-1	—	—	Нет св.
объемный расход, м ³ /с	11,1	17,2	—	—	3,87
напор, кПа	31,6	140	—	—	45,5
мощность привода, кВт	1000	3680	—	—	358
Горелочное устройство:	—	—	—	—	—
типа	—	—	—	—	Форсунки пневматического распыливания
число горелок, шт.	108	192	—	192	16
давление топлива, кПа	90	90	—	90	—
Розжиговые горелки:	—	—	—	—	—
типа	ГНП	ГНП-75С	—	—	—
теплопронводительность, МДж/ч	15	23	—	—	—
число, шт.	3	3	—	—	—
Подовое горелочное устройство диффузионного типа	—	—	—	—	—
число горелок, шт.	—	—	—	—	—
давление топлива, кПа	—	—	—	—	—
Розжиговые горелки:	—	—	—	—	—
типа	—	—	—	—	—
число, шт.	—	—	—	—	—

Пылесадительная установка:
первая ступень

шланг диаметром 2500 мм;
скруббер ВТИ диаметром 2500 мм

Два циклона НИИОгаз диаметром 2500 мм	Два циклона НИИОгаз диаметром 3750 мм	Электрофильтр УГТ1-40-4 (два	Сухой циклон «Dacota»
скруббер ВТИ диаметром 2500 мм	—	—	Мокрый скруббер фирмы «Pibodi»
1,00 0,05 0,005 —	1,21—142 0,05 4000 780 12,3	35—50 0,05 4000 800 12,7	Нет св. 0,05 Нет св. 1040 Нет св.
число клапанов:	—	—	—
диаметр:	—	—	—
число клапанов:	100	9,6 160	12,5 160
диаметр:	—	—	—
число клапанов:	—	500×500 мм	27,8 250
диаметр:	—	—	—
число клапанов:	1	2	2
диаметр:	—	Шамотный кирпич класса Б толщиной 345 мм	2
Кирпич марки ШЛВ-1,3 толщиной 230 мм;	—	—	—
маты толщиной 50 мм	90	90	каолиновые
Коэффициент использования рабочего времени печи, %	—	90	90

225

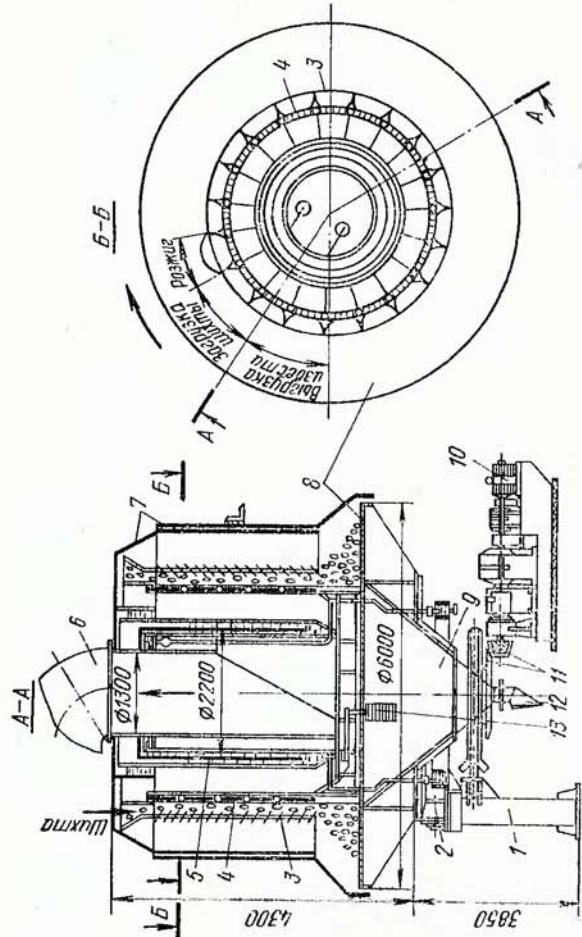


Рис. 77. Обжиговая машина ПОР:
1 — колонна; 2 — опорный ролик; 3 — жалюзийная решетка; 4 — цилиндрическая колосниковая решетка; 5 — цилиндрический гидроагрегат; 6 — трубопровод отходящих газов; 7 — кожух; 8 — вращающаяся колосниковая решетка; 9 — бункер просыпки; 10 — электродвигатель; 11 — приводные шестерни; 12 — затвор бункера; 13 — контргруз клапана гидроагрегата

Таблица 97

Техническая характеристика обжиговых машин с вращающейся колосниковой решеткой

Показатели	Машины ПОР производительностью 480 т/сут	Машины «Calcimatic» производительностью, т/сут			
		180	270	360	450
Размеры вращающейся решетки, м:					
наружный диаметр	6	21,4	27,4	33,5	40
внутренний диаметр	3,8	6,1	12,2	18,3	24,4
Полезная площадь вращающейся решетки, м ²	20	—	—	—	—
Ширина слоя материала на вращающейся решетке, м	1	6,1	6,1	6,1	6,1
Толщина слоя материала в вертикальных решетках, м	0,2				Нет св.
Частота вращения решетки, об/мин	3,7—7,5				То же
Расход условного топлива на обжиг, кг/т извести	200—225			180—190	
Удельный расход электроэнергии на обжиг, кВт·ч/т извести	6	25	25	25	25
Температура отходящих газов, °С	600—700	400	400	400	400
Температура выгружающей извести, °С	700—800	120	120	120	120
Дымосос:					
типа	Д-13,5	Нет св.	Нет св.	Нет св.	Нет св.
мощность привода, кВт	100	То же	То же	То же	То же
напор, кПа	3	4	4	4	4
Установленная мощность двигателей, кВт	118	278	417	556	695

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров А. В. — «Сталь», 1976, № 4, с. 316—318.
2. Александров А. В. — «Проектирование заводов черной металлургии». Сб. № 4. М., Гипромез, 1969, с. 47—51.
3. Монастырев А. В. Производство извести. М., Стройиздат, 1972. 208 с. с ил.
4. Табунчиков Н. П. Производство извести. М., «Химия», 1974. 240 с. с ил.
5. Монастырев А. В. Производство извести. М., «Высшая школа», 1978. 225 с. с ил.
6. Михеев В. П. Газовое топливо и его сжигание. Л., «Недра», 1966. 327 с. с ил.
7. Равич М. Б. Эффективность использования топлива. М., «Наука», 1977. 344 с. с ил.
8. Справочник по проектированию цементных заводов. Л., Стройиздат, 1969. 240 с. с ил. Авт.: Н. Ф. Ананенко, И. В. Ильин, А. А. Каролинский и др.
9. Ходоров Е. И. Печи цементной промышленности. Л., Стройиздат, 1968. 455 с. с ил.
10. Есин О. А., Гельб П. В. Физическая химия пирометаллургических процессов. Ч. 1. Свердловск, Металлургиздат, 1962. 671 с. с ил.
11. Бойnton Р. С. Химия и технология извести. Пер. с англ. М., Стройиздат, 1972. 239 с. с ил.
12. Wührer I. — «Zement-Kalk-Gips», 1953, № 10, S. 253—258.
13. Schneidt H. — «Zement-Kalk-Gips», 1975, № 7, S. 297—300.
14. Потапов А. П., Невельсон М. Е., Паперин Л. М. — «Строительные материалы», 1973, № 10, с. 8—9 с ил.
15. Wührer I. — «Zement-Kalk-Gips», 1963, № 6, S. 219—226.
16. Wührer I., Hofmann K. — «Zement-Kalk-Gips», 1965, № 5, S. 386—394.
17. Теплотехнические расчеты металлургических печей. М., «Металлургия», 1970. 528 с. с ил. Авт.: Б. И. Китаев, Б. Ф. Зобин, В. Ф. Ратников и др.
18. Горбис З. Р. Теплообмен и гидродинамика дисперсных сквозных потоков. М., «Энергия», 1970. 424 с. с ил.
19. Ансельм В. Шахтные печи. М., Промстroiздат, 1956. 136 с. с ил.
20. Виноградов В. В., Монастырев А. В. — «Строительные материалы», 1975, № 1, с. 8—10 с ил.
21. Кахаров В. К., Нудельман Б. И. Безбалочная подача газа в шахтной печи. Ташкент, «Узбекистан», 1969. 62 с. с ил.
22. Монастырев А. В. — «Автоklävные силикатные материалы и конструкции. Вяжущие материалы». М., 1974. [Сб. трудов ВНИИстрома, вып. 28(56)], с. 1126—132 с ил.
23. Сошинец И. Е., Сомов В. К. — «Строительные материалы», 1972, № 7, с. 9—11 с ил.
24. Hansen W. — «Zement-Kalk-Gips», 1968, № 4, S. 159—167.
25. Монастырев А. В., Фрадкин Б. П. — «Строительные материалы», 1970, с. 34—36 с ил.
26. Пугачев А. В., Сахаров Э. В. Справочник по радиоизотопной автоматике. М., «Энергия», 1974. 240 с. с ил.
27. Kimberley E. — «Rock Products», 1973, № 7, p. 56—61, 84, 85.
28. Kanert E. — «Zement-Kalk-Gips», 1972, № 10, S. 478—480.
29. Beckenbach K. — «Zement-Kalk-Gips», 1972, № 10, S. 481—483.
30. Третьяков Е. В., Дицковский В. К., Ярошенко Н. И. — «Пиформация ин-та «Черметинформация», 1969, серия 6, вып. 13. 14 с. с ил.
31. Olear Z. — «Cement, Warpo, Gips», 1973, № 5, p. 139—158.
32. Краткий справочник технолога цементного завода. М., Стройиздат, 1974. 304 с. с ил. Авт.: И. В. Кравченко, Г. А. Нечаев, Ю. И. Дешко и др.
33. Несвижский О. А., Дешко Ю. И. Справочник механика цементного завода. М., Стройиздат, 1977. 336 с. с ил.
34. Гиндина В. Е., Монастырев А. В. Внутренние теплообменные устройства для вращающихся известьебжигательных печей. Обзорная информация. ВНИИЭСМ. М., 1971. 31 с. с ил.
35. Дешко Ю. И., Креймер М. Б., Огаркова Т. А. Наладка и теплотехнические испытания вращающихся печей на цементных заводах. М., Стройиздат, 1966. 245 с. с ил.
36. Шубин В. И. Футеровка цементных вращающихся печей. М., Стройиздат, 1975. 186 с. с ил.
37. Asel R. — «Zement-Kalk-Gips», 1969, № 8, S. 415—419.
38. Монастырев А. В. Холодильники извести для вращающихся печей. Обзорная информация. ВНИИЭСМ. М., 1977. 50 с. с ил.
39. Монастырев А. В. Подогреватели сырья для вращающихся печей известкового производства. Обзорная информация. ВНИИЭСМ. М., 1973. 48 с. с ил.
40. Монастырев А. В., Авдеев Н. В. — «Реферативная информация ВНИИЭСМ», 1972, серия 2, вып. 8, с. 12—16 с ил.
41. Plank F. W. — «Zement-Kalk-Gips», 1969, № 2, S. 75—81.
42. Вальберг Г. С., Глозман А. А., Швыдкий М. Я. Новые методы расчета и испытания вращающихся печей. М., Стройиздат, 1973. 112 с. с ил.
43. Дементьев В. М., Нехлебаев Ю. П. — В кн.: Производство извести. М., «Химия», 1974, с. 178—233 с ил.
44. Shafer M., Brandt N. — «Zement-Kalk-Gips», 1964, № 11, S. 515—519.
45. Тищенко А. Т., Хвастухин Ю. И. Печи и теплообменники с псевдоожженным слоем. Киев, «Наукова думка», 1973. 148 с. с ил.
46. Плоткин Н. З. — «Металлургическая и горнорудная промышленность», 1963, № 6, с. 12—18 с ил.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

A	Привод вращающейся печи 138 — механизма выгрузки 37, 38
Антрацит 12	Подогреватели сырья 157–166
Б	P
Барабанный затвор 42	Реакции горения топлива 58 — при обжиге карбонатов 14, 19
В	Решетки печей КС 208
Выгрузочное устройство 30–41	C
Выносная топочная камера 104	Сжигание топлива 56, 81, 99 Скорость распространения пламени 8–83
Г	Степень диссоциации карбонатов 16–17
Газообразное топливо 13	T
Горелочное устройство 83, 84, 86, 87, 123, 168, 208	Температура отходящих газов 60 — воспламенения смеси 81 — диссоциации карбонатов 13, 14, 15, 18
Д	Теплоемкость извести 5 — известняка 10
Дозаторы весовые 111, 112, 187, 192	Теплопроводность извести 5 — известняка 10
Дымососы 178	Теплоизоляционные материалы 23
З	У
Загрузочное устройство 25–29, 157	Углерод сажистый 100
Зона окисления топлива 59	Уплотнительное устройство 142
И	Упорное устройство 136, 137
Известняк 9, 10	Ф
Известь 5–8, 18	Форсунки мазутные 103, 104
К	X
Каменный уголь 10, 11	Холодильники барабанные 150 — кипящего слоя 156 — колосниковые 153 — шахтные 154, 205, 206
Камеры газификации мазута 104–107	Ц
Кокс 10, 11	Цепная завеса 47
Корпус вращающейся печи 133	Цепной теплообменник 139, 140
Котлы-утилизаторы 167, 168	Циклонный теплообменник 142
Коэффициент теплоотдачи 16, 60, 61, 88	Циклоны 173–175 — горячей печи КС 212
М	Ш
Мазут 11–13	Шахта печи 24
Механизм выгрузки 30–44	Шлюзовой затвор 42–44
— загрузки 25–29	Э
— улавливания ковша 25, 26	Электрофильтры 174–176
Н	Я
Нагнетатель 215	Ячейковый теплообменник 139
О	
Огнеупорные бетоны 22	
— изделия 20, 21, 145–148	
— растворы 22, 149	
П	
Печь шахтная двухоткосная 123	
— — прямоточно-противоточная регенеративная 127	
Питатели 113, 187	
Приборы радиоизотопные 114, 121	

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава I.	
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ИЗВЕСТИ, СЫРЬЕ И ТОПЛИВЕ ДЛЯ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ОСНОВАХ ПРОЦЕССА ОБЖИГА	5
1. Основные виды извести и способы ее получения	5
2. Характеристика карбонатных пород	8
3. Технологическое топливо	10
4. Физико-химические основы процесса обжига карбонатных пород на известь	13
Глава II.	
ШАХТНЫЕ ПЕЧИ	19
1. Основные элементы конструкции шахтных печей	19
2. Устройство и технические характеристики пересыпных печей	44
3. Эксплуатация пересыпных печей	56
4. Устройство и технические характеристики печей, работающих на газообразном топливе	67
5. Эксплуатация печей, работающих на газообразном топливе	81
6. Устройство и технические характеристики печей, работающих на жидком топливе	89
7. Эксплуатация печей, работающих на жидком топливе	99
8. Автоматизация шахтных печей	108
9. Современные шахтные печи зарубежных стран	121
Глава III.	
АГРЕГАТЫ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧЬЮ	133
1. Длинные вращающиеся печи с теплообменными устройствами внутри корпуса	133
2. Футеровка вращающихся печей	145
3. Холодильники извести	148
4. Агрегаты с короткой вращающейся печью и подогревателями сырья (теплоутилизаторами)	157
5. Горелочные устройства	168
6. Оборудование для обессыпливания печных газов	172
7. Тягодутьевые машины для вращающихся печей	177
8. Эксплуатация агрегатов с вращающейся печью	177
9. Автоматизация агрегатов с вращающейся печью	187
10. Устройство и основные показатели работы агрегатов с вращающимися печами зарубежных стран	200
Глава IV.	
ПЕЧИ КИПЯЩЕГО СЛОЯ И ОБЖИГОВЫЕ МАШИНЫ	208
1. Устройство и технические характеристики печей кипящего слоя	208
	231

2. Тягодутьевые машины для печей кипящего слоя	215
3. Эксплуатация печей кипящего слоя	215
4. Обжиговые машины с вращающейся колосниковой решеткой	219
Библиографический список	228
Предметный указатель	230

ИБ № 827

АЛЬБЕРТ ВАСИЛЬЕВИЧ МОНАСТЫРЕВ
АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ АЛЕКСАНДРОВ
ПЕЧИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗВЕСТИ

Редактор издательства Н. Ф. Фокина
Художественный редактор Г. А. Жегин
Технический редактор Э. А. Кулакова
Корректоры Л. Ф. Дурачкова, Л. Д. Конькова
Обложка художника К. И. Милаева

Сдано в набор 05.07.78 Подписано в печать 31.01.79
T-02230 Формат бумаги 84×108 $\frac{1}{3}$ Бумага типографская № 2
Гарнитура литературная. Печать высокая
Усл. печ. л. 12,18 Уч.-изд. л. 44,95
Тираж 3200 экз. Заказ 478 Цена 75 коп. Изд. № 3344

Издательство «Металлургия», 119034, Москва, Г-34.
2-й Обыденский пер., д. 14

Подольский филиал ПО «Периодика» Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательства, полиграфии и книжной торговли
г. Подольск, ул. Кирова, 25