



666.5(07)  
А. В. МОНАСТЫРЕВ М77

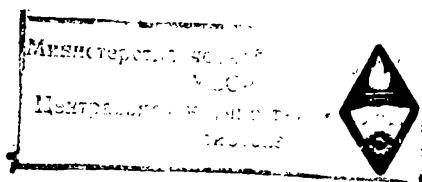
# ПРОИЗВОДСТВО ИЗВЕСТИ

ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПЛНЕННОЕ

Одобрено Ученым советом  
Государственного комитета  
Совета Министров СССР  
по профессионально-техническому  
образованию  
в качестве учебника  
для подготовки рабочих  
на производстве

666.5(07)

Декрет  
9 декабря 2011  
Департамент труда



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1978

**ББК 35.41**  
**M77**

**Монастырев А. В.**

**M77** Производство извести: Учебник для подгот. рабочих на пр-ве. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. школа, 1978. — 216 с., ил. — (Профтехобразование. Строит. материалы).

В пер.: 45 к.

В книге описаны основные виды извести и их свойства. Изложены основы теплотехники. Приведены характеристики основных видов карбонатного сырья и технологического топлива. Рассмотрены процессы производства извести, устройство технологического оборудования, его работа и правила эксплуатации.

Третье издание дополнено сведениями о мокром обогащении карбонатных пород, контроле процесса обжига карбонатных пород и качества извести.

**M 30209—364**  
**052(01)—78** 31—78

**ББК 35.41**  
**6П7.3**

Альберт Васильевич Монастырев  
ПРОИЗВОДСТВО ИЗВЕСТИ

Редактор С. Е. Фельдбарг. Художник Ю. Д. Федичкин. Худож. редактор Т. В. Панина.  
Техн. редактор А. К. Нестерова. Корректор М. А. Минкова

ИБ № 1349

Изд. № Изд-121 Сдано в набор 27.01.78. Подп. в печать 05.06.78. Т-10133.  
Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бум тип. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 13,5  
 усл. печ. л. 14,19 уч.-изд. л. Тираж 12 000 экз. Зак. № 133. Цена 45 коп.  
Издательство «Высшая школа»,  
Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома  
при Государственном комитете Совета Министров СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,  
Хохловский пер., 7.

© Издательство «Высшая школа», 1975  
© Издательство «Высшая школа», 1978, с изменениями.

Самым древним в истории развития техники является производство строительных материалов. Строительные материалы необходимы для постройки зданий, мостов, туннелей, плотин и других сооружений. Примерно три тысячи лет назад для связывания отдельных камней стали применять вяжущие вещества, первыми из которых были гипс и известь. Минеральными вяжущими веществами называются порошкообразные материалы, которые при смешивании с водой образуют пластичную массу, со временем затвердевающую в прочное камневидное тело.

Первоначально полученную при обжиге в виде комьев известь измельчали, гася ее водой. Так как соединение комовой извести с водой (гашение) сопровождается выделением тепла, вызывающего быстрый нагрев и кипение воды, то комовая известь получила название кипелки. В настоящее время комовую известь-кипелку измельчают также в машинах (дробилках, мельницах).

В начале XVIII в. было получено новое ценное вяжущее вещество — гидравлическая известь. Было замечено, что известняки, содержащие глинистые примеси, после обжига и тонкого измельчения медленно гасятся и приобретают способность затвердевать в воде. Гидравлическую известь стали применять для кладки фундаментов зданий, подземных и гидротехнических сооружений. Это привело к еще более значительному расширению производства извести.

В начале XX в. объем известковых строительных растворов в индустриальном строительстве стал постепенно уменьшаться. Известковые растворы вытесняются такими эффективными вяжущими веществами, как высокопрочный и водостойкий портландцемент, быстро твердеющий и более дешевый строительный гипс. Однако потребность в извести продолжает увеличиваться. Это объясняется тем, что известь начали широко применять как основной компонент многочисленных технологических процессов.

В промышленности строительных материалов известь в большом количестве используют в производстве силикатного кирпича и силикатобетонных изделий. В непрерывно возрастающем объеме потребляют известь металлургическая и химическая промышленность. Большое количество извести расходуется в производстве сахара, бумаги, целлюлозы, битума, дезинфекционных средств. Выпуск извести в СССР в 1975 г. составил 26,42 млн. т.

В развитии технологии извести можно отметить следующие этапы. На первом этапе, длившемся в ряде стран до начала XX в., производство извести было примитивным и осуществлялось путем

обжига крупноразмерных кусков известняка или мела в напольных и камерных печах периодического действия.

Второй этап развития известкового производства характеризуется применением для обжига непрерывно действующих многокамерных (кольцевых) и шахтных немеханизированных печей. При этом для бесперебойного обеспечения печей известняком организуется механизированное карьерное хозяйство.

Третий этап развития производства извести, наступивший после Великой Октябрьской социалистической революции в годы первых пятилеток, характеризуется широким внедрением механизированных шахтных и вращающихся печей большой единичной производительности. В 1929—1930 гг. началось строительство полностью механизированных шахтных пересыпных печей системы Трубострой, а затем печей инж. И. Л. Иссерлиса и института Росстромпроект (позднее переименованного в Гипростром, а с 1976 г.—в Союзгипрострому).

Шахтные печи производительностью 150—450 т извести в сутки, оборудованные механизмами и устройствами для автоматической загрузки и выгрузки материалов и управляемые с центрального диспетчерского пульта, строятся на известковых производствах.

Первые вращающиеся печи для производства извести появились в СССР в бумажной, химической и металлургической промышленности начиная с 1938 г.

В десятой пятилетке на предприятиях будут внедряться вращающиеся печи большой единичной производительности.

«Основными направлениями развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 гг.», утвержденными на XXV съезде КПСС, предусматривается полнее использовать добываемое сырье, обеспечить более глубокую его переработку и увеличение выхода готовой продукции. В десятой пятилетке намечено увеличить объем производства строительных материалов примерно в 1,3 раза.

Для дальнейшего совершенствования и удешевления производства извести намечается расширение действующих и строительство новых известковых комбинатов мощностью 600—1500 тыс. т в год, выпускающих технологическую и строительную известь для различных отраслей промышленности, щебень для строительства, известняковую муку для сельского хозяйства, наполнитель для асфальтобетона и другую продукцию.

Важную роль в развитии и совершенствовании известкового производства играет квалификация и качество подготовки рабочих, осваивающих передовую технологию и оборудование.

## ГЛАВА I

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗВЕСТИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИИ

#### § 1. ВИДЫ ИЗВЕСТИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ

##### Виды извести

Для производства извести используют природные кальциево-магниевые горные породы, состоящие из карбоната кальция  $\text{CaCO}_3$ , карбоната магния  $\text{MgCO}_3$  и примесей в виде песка и глины. При нагревании в печи кальциево-магниевых пород до температуры 900—1300° С они разлагаются на смесь окислов кальция  $\text{CaO}$ , магния  $\text{MgO}$  и углекислый газ  $\text{CO}_2$ . Продукт обжига, помимо чистых окислов, всегда содержит некоторое количество других веществ ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), а также их соединений с  $\text{CaO}$  и носит название извести.

По назначению в народном хозяйстве известь разделяют на строительную и технологическую. Первая используется для строительства, вторая — в технологических процессах, например, для получения силикатного кирпича, силикатных бетонов, при выплавке стали и др.

По условиям твердения строительная известь подразделяется на воздушную, твердеющую только в воздушно-сухой среде, и гидравлическую, способную твердеть, наращивать прочность<sup>1</sup> и сохранять ее как на воздухе, так и в воде.

**Строительная воздушная известь.** По виду основного окисла ( $\text{CaO}$  или  $\text{MgO}$ ) строительная воздушная известь подразделяется на кальциевую, магнезиальную и доломитовую. Кальциевая известь содержит 70—90%  $\text{CaO}$  и в пределах 5%  $\text{MgO}$ , что достигается применением для обжига чистых кальциевых известняков с низким содержанием  $\text{MgCO}_3$ . Магнезиальная известь содержит до 20%  $\text{MgO}$ , а доломитовая — до 40%. Магнезиальную и доломитовую известь получают обжигом доломитизированных известняков и доломитов в печах, обеспечивающих получение  $\text{MgO}$  в активной форме, т. е. способную гаситься водой в обычные сроки.

Строительную воздушную известь выпускают следующих видов: негашеную комовую (кипелка); негашеную дробленую; молотую совместно с минеральными добавками или без них; гашеную.

<sup>1</sup> Прочность — способность материалов сопротивляться внутренним напряжениям, возникающим в результате действия внешних нагрузок. Прочность материала обычно характеризуется пределом прочности, т. е. напряжением в материале, соответствующем нагрузке, при которой происходит разрушение образца.

**Негашеная комовая известь** (кипелка) представляет собой воздушную известь после обжига в печи кальциево-магниевых карбонатных пород.

**Негашеную дробленую известь** фракции 0—3 мм получают измельчением в дробилках.

**Молотую известь** получают помолом в мельнице негашеной комовой извести совместно с металлургическими и топливными шлаками, кварцевым песком, золой и другими минеральными добавками.

**Гашеную известь** получают действием определенного количества воды на негашеную воздушную известь, в результате которого образуется продукт в виде порошка (пушонки), известкового теста или известкового молока.

**Гидратная известь** (*пушонка*) — тончайший порошок, который получается, если при гашении используют столько воды, сколько необходимо для полного протекания реакции гидратации (соединения с водой).

**Известковое тесто** получается в том случае, когда при гашении воздушной извести воду вводят в количестве, превышающем теоретически необходимое в десять раз. В среднем берут 2,5 л воды на 1 кг извести. Размер частиц гидрата окиси кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  при этом меньше, чем при гашении в пушонку.

**Известковое молоко** образуется при введении воды в количестве, превышающем теоретически необходимое более чем в десять раз. Средний размер частиц при гашении в известковое молоко составляет 0,001 мм. При дальнейшем увеличении количества воды продукт гашения носит название *известковой воды*.

**Строительная гидравлическая известь.** Строительную гидравлическую известь получают при умеренном (1100—1200° С) обжиге в печах карбонатных пород с высоким (8—21%) содержанием глинистых веществ и последующим помолом полученной извести.

### **Применение извести**

Известь используется в качестве вяжущего вещества для приготовления строительных растворов. *Строительным раствором* называют смесь вяжущего вещества, воды и мелкого заполнителя (песка).

Известковые растворы применяют при кирпичной и каменной кладках (кладочные растворы) и для отделки стен зданий (штукатурные растворы). При этом строительную воздушную известь используют для сооружений, не подвергающихся действию воды (например, надземных). Гидравлическую известь применяют наряду с воздушной, но получают водостойкие строительные растворы.

В качестве вяжущего вещества известь применяют в тонко измельченном виде. Тонкое измельчение ее достигается помолом в мельницах или гашением.

Основное количество выпускаемой извести (около 75%) используется для технологических целей. В промышленности строитель-

ных материалов для изготовления силикатного кирпича и силикатных бетонов в 1976 г. израсходовано более 5 млн. т извести.

Для получения силикатного кирпича применяют быстрогасящуюся воздушную кальциевую известь, для изготовления ячеистого и тяжелого силикатных бетонов — среднегасящуюся воздушную кальциевую известь. Более стойкие и долговечные изделия из ячеистого бетона получают при использовании в качестве вяжущего вещества гидравлической извести.

В большом количестве известь применяют в производстве различных химических продуктов: кальцинированной, питьевой и каустической соды, в производстве карбида кальция, хлорной извести, бертолетовой соли. Известь служит необходимым реагентом во многих химических процессах.

Крупнейший потребитель воздушной негашеной извести — металлургическая промышленность (производство чугуна и стали).

В сахарной промышленности при очистке сока сахарной свеклы и сахарного тростника используют известковое молоко.

В виде известкового раствора известь используют для обработки кожи животных, тканей, сырых материалов в производстве клея и т. д. Молотую известь и известняк используют для нейтрализации кислых почв.

## § 2. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИЗВЕСТИ

Требования к важнейшим свойствам извести, применяемой в строительстве и промышленности строительных материалов, содержатся в ГОСТ 9179—77 «Известь строительная. Технические условия».

Качество строительной воздушной извести определяется главным образом количеством содержащихся в ней активных  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ : чем выше содержание активных окислов, тем выше качество извести.

Воздушная негашеная известь без добавок выпускается со Знаком качества и трех сортов: 1, 2 и 3-й. В воздушной кальциевой негашеной извести со Знаком качества и 1-го сорта активных окислов  $\text{CaO} + \text{MgO}$  должно быть не менее 90%, 2-го сорта — не менее 80% и 3-го сорта — не менее 70%; в магнезиальной и доломитовой извести соответственно 85, 75 и 65%.

Извести кальциевая, магнезиальная и доломитовая негашеная молотая с добавками выпускаются двух сортов: 1-й и 2-й. Содержание активных  $\text{CaO} + \text{MgO}$  должно быть не менее: в кальциевой 1-го сорта — 65%, 2-го — 55%; в магнезиальной и доломитовой 1-го сорта — 60%, 2-го — 50%.

Полнота завершения процесса термической диссоциации карбонатов характеризуется содержанием в извести углекислоты  $\text{CO}_2$ . Содержание  $\text{CO}_2$  в негашеной кальциевой извести должно быть не более: 1-го сорта — 3%, 2-го — 5% и 3-го — 7%; в магнезиальной и доломитовой извести соответственно 5,8 и 11%.

Качество известкового теста и его пластичность зависят от со-

держания в извести непогасившихся зерен. В негашеной воздушной кальциевой извести содержание непогасившихся зерен должно быть не более: со Знаком качества — 5%, 1-го сорта — 7%, 2-го — 11% и 3-го — 14%; в магнезиальной и доломитовой извести соответственно 8, 10, 15 и 20%.

Негашеная молотая известь должна иметь определенную тонкость помола, чтобы остаток на сите № 02 не превышал 1%, а на сите № 008 — 10%.

По времени гашения<sup>1</sup> воздушная негашеная известь всех сортов подразделяется на быстрогасящуюся (не более 8 мин), среднегасящуюся (не более 25 мин) и медленногасящуюся (более 25 мин).

Гидратная воздушная известь (пушонка) без добавок должна содержать активных  $\text{CaO} + \text{MgO}$  не менее: со Знаком качества — 70%, 1-го сорта — 67% и 2-го — 60%; с добавками соответственно 50 и 40%. Содержание углекислоты  $\text{CO}_2$  в пушонке не более: 1-го сорта — 3%, 2-го — 5%. Влажность пушонки должна быть не более: со Знаком качества — 4%, 1-го и 2-го — 5%. Дисперсность<sup>2</sup> гидратной извести должна быть такой, чтобы остаток частиц был не более: на сите № 02 — 1,5%, № 008 — 15%.

Строительная гидравлическая известь подразделяется на два вида: слабогидравлическую и сильноидравлическую. Содержание активных  $\text{CaO} + \text{MgO}$  при активной  $\text{MgO}$  до 6% в слабогидравлической извести допускается в пределах 40—65%, в сильноидравлической — от 5 до 40%. Содержание углекислоты  $\text{CO}_2$  должно быть не более: в первой — 6%, во второй — 5%.

Тонкость помола извести соответствовать остатку частиц не более: на сите № 02 — 1,5%, № 008 — 15%. Предел прочности при сжатии образцов из слабогидравлической извести через 28 суток твердения не менее 17 кгс/см<sup>2</sup>, из сильноидравлической извести — не менее 50 кгс/см<sup>2</sup>.

Комовая негашеная известь, применяемая при конвертерном способе выплавки стали (ТУ 14-1-123—71), подразделяется на два сорта: 1-й и 2-й. Содержание активных  $\text{CaO} + \text{MgO}$  в извести должно быть не менее: 1-го сорта — 92%, 2-го сорта — 91%; содержание  $\text{MgO}$  для обоих сортов — 8±3%; содержание  $\text{SiO}_2$  не более: 1-го сорта — 2%, 2-го сорта — 3%; содержание S (серы) не более: 1-го сорта — 0,06%, 2-го сорта — 0,09%; содержание P (фосфора) для обоих сортов — не более 0,1%; содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  для обоих сортов — не более 2,8%; остаточные потери при прокаливании извести для обоих сортов — 5±2%; время гашения

<sup>1</sup> Время гашения извести — это интервал времени (в мин) от момента добавления воды к извести до начала снижения максимальной температуры смеси в сосуде.

<sup>2</sup> Дисперсность — степень раздробления вещества на частицы.

извести по методике ГОСТ 22688—77 для обоих сортов — не более 5 мин. Размер кусков извести должен быть в пределах 10—30 мм, при этом содержание кусков размером менее 10 мм не должно превышать по массе 10%.

К составу и свойствам извести, используемой в химической промышленности, предъявляются различные специфические требования, главными из которых являются высокая степень химической чистоты и максимальное содержание свободной окиси кальция.

Основные требования к извести, выпускаемой сахарной промышленностью, — высокое содержание окиси кальция и ее реакционная способность при минимальном содержании примесей и непогасившихся зерен.

## ГЛАВА II

### СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕПЛОТЕХНИКИ

#### § 3. СПОСОБЫ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛА

Передача тепла от одного тела к другому (теплообмен) осуществляется различными способами: теплопроводностью, конвективным теплообменом (конвекцией) и лучистым теплообменом (излучением).

Теплопроводность — свойство материала передавать тепло через свою толщу. Тепло передается за счет колебательных движений частиц тела. Этот вид теплообмена осуществляется в условиях тесного соприкосновения между отдельными частицами тела и неравенства температур в отдельных точках тела или пространства. Количество передаваемого теплопроводностью тепла зависит от *коэффициента теплопроводности* материала  $\lambda$ , который измеряется в  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{град})$ . Например, при передаче тепла через стенку, чем меньше значение коэффициента теплопроводности материала стенки  $\lambda_{ст}$ , тем меньше тепла уйдет через стенку. Высокие значения коэффициента теплопроводности имеют металлы, низкие значения — воздух, теплоизоляционный кирпич. С увеличением температуры и особенно влажности коэффициент теплопроводности для многих материалов возрастает.

Конвекция — перенос тепла на границе стенка — газ, осуществляемый за счет непрерывно подходящих к стенке новых частиц газа, которые либо уносят с собой тепло, либо отдают его стенке. Количество тепла, передаваемого от газа к стенке (поверхности материала) или наоборот, зависит от *коэффициента теплоотдачи*  $\alpha$ , который выражается в  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ . С ростом скорости движения газов относительно стенки численное значение  $\alpha$  увеличивается.

Лучистый теплообмен (излучение) — теплообмен между телами, осуществляющийся вследствие испускания и поглощения ими электромагнитного излучения.

При обжиге известняка в печах разных конструкций теплообмен происходит описанными выше способами. Например, в зоне подогрева шахтной печи передача тепла от продуктов сгорания топлива ( $t = 500 \div 1000^\circ\text{C}$ ) к кускам известняка осуществляется преимущественно конвекцией. Внутри куска тепло передается теплопроводностью, поэтому чем меньше размеры кусков сырья, тем быстрее присходит их прогрев и тем ближе их температура к температуре газов.

В кипящем слое происходит энергичное перемешивание частиц материала и продуктов сгорания топлива, что способствует ускорению теплообмена. Размеры частиц материала составляют от 3 до 10 мм, поэтому времени на их подогрев требуется мало и теплопроводность не ограничивает процесс теплообмена. Передача тепла зависит в основном от конвективного теплообмена, по которому обычно и ведут расчет процесса.

Во вращающейся печи тепло от газов к материалу передается теплопроводностью, конвекцией и излучением. Теплопроводностью тепло передается в момент соприкосновения кусков материала с нагретой до более высокой температуры футеровкой печи. Движущиеся в печи раскаленные газы передают часть своего тепла конвекцией поверхности слоя кускового материала. Передача тепла излучением в основном осуществляется в зоне обжига между более нагретым факелом и поверхностью движущегося материала.

#### § 4. ТОПЛИВО ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗВЕСТИ

**Виды топлива.** Промышленное топливо по своему происхождению подразделяется на природное и искусственное; по физическому состоянию — на твердое, жидкое, газообразное. Для производства извести применяют топливо следующих видов:

природное твердое (антрацит, каменные угли, бурые угли, торф) и газообразное (природный газ);

искусственное твердое (кокс), жидкое (мазут), газообразное (попутный, коксовый, смешанный, генераторный газы, полугаз).

Вид топлива и его качество влияют на способ сжигания топлива в печном агрегате, свойства получаемой извести (содержание активной  $\text{CaO}$ , сроки и температуру гашения и т. п.), ее себестоимость.

**Общие свойства топлива.** Все виды топлива — вещества органического происхождения. Топливо состоит из горючей и негорючей частей. В горючую часть входят химические элементы: углерод С, водород Н, кислород О, сера S, азот N. Горючая часть называется *условно горючей массой*, так как кислород и азот не горят. В негорючую часть входят зола  $A^p$  и влага  $W^p$ , которые объединяют и обозначают буквой  $B = A^p + W^p$ , называя *балластом топлива*.

Содержание составляющих топливо элементов относят к его количеству и выражают в %, причем для твердого и жидкого топлива пользуются массой, а для газообразного — объемом. Чаще всего элементарный состав топливадается в расчете на условно горючую массу, т. е. на массу, не содержащую балласта. В этом случае отдельные элементы обозначаются индексом г, например Сг.

*Рабочим топливом* называется топливо с естественной влажностью  $W^p$ , а соответствующая ему масса — рабочей массой ( $P$ ). Влажность топлива — переменная величина, зависящая от условий хранения и транспортирования топлива, поэтому при расчетах часто пользуются понятием «*сухая масса топлива*» (С).

При нагревании твердого топлива до высокой температуры без доступа воздуха оно распадается на летучую и твердую части. Твердое вещество, состоящее из углерода (горючая масса) и минеральных примесей (шлак и зола), называется **коксом**.

Выделившиеся из топлива вещества называются *летучими*, их количество обозначается буквой  $V$ . Чем больше содержится в топливе летучих, тем длиннее пламя при горении, поэтому такое топливо называется **длиннопламенным**. При содержании летучих до 10% топливо называется **короткопламенным**.

Одна из важнейших характеристик топлива — его теплотворная способность (теплота сгорания). *Теплотой сгорания топлива* называется количество тепла, выделяющееся при полном сгорании единицы массы или объема топлива. Теплоту сгорания твердого и жидкого топлива обозначают буквой  $Q$  и относят к 1 кг, а газообразного — к 1 м<sup>3</sup> и выражают в килокалориях (ккал) или килоджоулях (кДж). 1 ккал ≈ 4,19 кДж. Теплоту сгорания рабочей, горючей и сухой массы топлива соответственно обозначают  $Q^r$ ,  $Q^c$ .

Различают высшую  $Q_v$  и низшую  $Q_n$  теплоту сгорания топлива. Высшая теплота сгорания  $Q_v$  определяется количеством тепла, выделяющегося при сгорании единицы количества топлива, включая теплоту водяных паров, содержащихся в продуктах сгорания. Она является верхним пределом теплоты сгорания топлива. На практике пользуются низшей теплотой сгорания топлива  $Q_n$ , т. е. теплотой сгорания топлива без учета теплоты водяных паров при давлении 101,325 кПа (760 мм рт. ст.) и 0° С.  $Q_n$  служит нижним пределом теплоты сгорания топлива.

Теплоту сгорания твердого, жидкого и газообразного топлива вычисляют по его химическому составу или определяют экспериментально, сжигая порцию топлива в специальном приборе — бомбе.

В технике для сопоставления различного топлива пользуются понятием *условного топлива*. За условное топливо принимается такое, теплота сгорания которого равна 29300 кДж/кг (7000 ккал/кг). Для сравнения пользуются коэффициентом, численно равным отношению низшей теплоты сгорания данного топлива к теплоте сгорания условного топлива.

**Пример.** Расход каменного угля на 1 т производимой в печи извести составляет 140 кг. Сколько расходуется на 1 т извести условного топлива, если теплота сгорания угля  $Q=30\,000$  кДж/кг? Коэффициент равен:  $(30\,000 : 29\,300) = 1,022$ , следовательно, расход условного топлива на 1 т извести составит  $1,022 \cdot 140 = 143$  кг.

Для производства извести применяют следующие основные виды природного и искусственного топлива.

**Топливо для производства извести.** Металлургический кокс — лучшее топливо для шахтных пересыпных печей. Он почти не имеет летучих веществ и при сгорании дает мало золы. Средний состав кокса (>25 мм):  $C^r=96,5\%$ ;  $H^r=0,4\%$ ;  $O^r+N^r=2,1\%$ ;

$S^r=1\%$ ;  $V^r=1\%$ ;  $W^p=4\%$ ;  $A^p=10\%$ ;  $Q_{hp}=27\,900$  кДж/кг (6650 ккал/кг).

В шахтных пересыпных печах применяют также коксик, представляющий собой мелкие фракции (15—25 мм) металлургического кокса. Техническая характеристика коксики:  $C^r=95,0\%$ ;  $H^r=0,5\%$ ;  $S^r=0,5\%$ ;  $O^r+N^r=3,0\%$ ;  $W^p=(10\div 20\%)$ ;  $A^c=(10\div 15\%)$ ;  $V^r=(5\div 8\%)$ ;  $Q_{hp}=21\div 23,1$  МДж/кг (5000÷5500 ккал/кг).

Ископаемые угли — продукт разложения растительных остатков. Угли классифицируют по маркам и сортам. Марка угля характеризует содержание в нем летучих веществ и спекаемость (слипание) кокса. Марки угля обозначают: А — антрацит, Б — бурый, Г — газовый, Д — длиннопламенный, Т — тощий. Сорт угля характеризует размер кусков данной фракции. Сорта углей обозначают: П — плита, К — кулак, О — орех, М — мелкий, С — семечко.

Антрацит — продукт раннего разложения растительных остатков. По внешнему виду антрацит отличается ярко-черным блеском. В составе антрацита преобладает углерод (93—97%), водорода мало (2—3%). Антрацит содержит мало летучих (до 9%) и поэтому имеет высокую температуру начала воспламенения. Влажность антрацита 3—6%; зольность 4—7%; теплота сгорания  $Q_{hp}=21\,000\div 30\,000$  кДж/кг (5500÷7200 ккал/кг). Антрацит горит коротким пламенем, бэздымно и не спекается.

Антрацит сортов К и О — наиболее эффективное (после кокса) твердое топливо для производства извести в шахтных пересыпных печах. Ниже приведена характеристика сортов антрацита Донецкого бассейна в зависимости от размера поставляемой потребителям фракции.

Наименование, марка, сорт антрацита	Размер кусков, мм
Плита АП . . . . .	более 100
Кулак АК . . . . .	100—50
Орех АО . . . . .	50—25
Мелкий АМ . . . . .	25—13
Семечко АС . . . . .	13—6

Каменные угли — продукт более позднего разложения растительных остатков, чем антрацит. Угли некоторых месторождений не сортируют и определяют только маркой. Наиболее высококачественные угли добывают в Донецком, Кузнецком и Карагандинском каменноугольных бассейнах. Для шахтных пересыпных печей применяют фракционированный тощий каменный уголь марки Т. Для печей с выносными топками пригоден длиннопламенный уголь марки Д.

Бурые угли — самый молодой вид ископаемого топлива. Они характеризуются высоким содержанием влаги (до 35%), золы (18÷20%), большим содержанием летучих (до 45%). Теплота сгорания бурых углей в пределах  $Q_{hp}=10\,500\div 12\,600$  кДж/кг (2500÷3000 ккал/кг).

Бурые угли используют для сжигания в шахтных печах с выносными топками.

Горючие сланцы — содержат 4—5% влаги, 40—60% золы и до 83% летучих веществ. Теплота сгорания сланцев  $Q_{\text{нр}} = 6300 \div 8380$  кДж/кг (1500—2000 ккал/кг). Горючие сланцы добывают в Эстонской ССР, Ленинградской области. При производстве извести горючие сланцы сжигают в выносных полугазовых топках.

Мазут — продукт переработки нефти, представляющий собой вязкую черно-бурую жидкость. Органическая масса мазута состоит из углерода и водорода. Мазут характеризуется вязкостью, зольностью, содержанием влаги и серы, температурой вспышки, температурой застывания, теплотой сгорания и плотностью.

Мазут классифицируется по маркам. Для промышленных печей применяют топочный мазут (ГОСТ 10585—75) марок 40В, 40, 100В, 100 (буква В — означает, что мазут со знаком качества). Вязкость условная<sup>1</sup> (ВУ) при температуре 80° С допускается не более: для марки 40В — 6 ВУ, марки 40 — 8 ВУ, марки 100В — 10 ВУ, марки 100 — 16 ВУ. Зольность мазута не более: для марки 40В — 0,04%; марки 40 — 0,12%; марки 100В — 0,05%; марки 100 — 0,14%. Плотность мазута марок 100В — и 100 при температуре 20° С не более 1,015 г/см<sup>3</sup>.

По содержанию серы мазут делится на малосернистый (до 0,5%), сернистый (до 2%) и высокосернистый (до 3,5%).

Температура вспышки<sup>2</sup> мазута при определении в открытом тигле должна быть не ниже: для марок 40В и 40 — 90° С, 100В и 100 — 110° С. По условиям техники безопасности мазут нельзя подогревать до температуры, близкой к температуре вспышки. Температура застывания<sup>3</sup> мазута должна быть не выше: для марок 40В и 40 — 25° С, для марок 100В и 100 — 42° С.

Теплота сгорания малосернистого мазута марок 40В и 40 — не менее 40,74 МДж/кг (9700 ккал/кг), марок 100В и 100 — не менее 40,53 МДж/кг (9650 ккал/кг); высокосернистого мазута марок 40В, 40, 100В, 100 — 39,9 МДж/кг (9650 ккал/кг).

Для транспортирования мазута по трубам его подогревают до температуры 50—70° С.

Высокая теплота сгорания и незначительная зольность делают мазут ценным топливом для производства извести в печных установках различного типа.

Газообразное топливо применяют в виде природных и искусственных горючих газов, а также их смесей. *Природные газы*

<sup>1</sup> Вязкость характеризует текучесть мазута и измеряется вискозиметром. При этом сравнивают время истечения из вискозиметра 200 см<sup>3</sup> мазута, подогретого до 80° С, с временем истечения 200 см<sup>3</sup> воды при 20° С. Если на истечение мазута затрачено времени, например, в 10 раз больше, чем на истечение воды, то считают, что вязкость мазута при 80° С равна 10 градусам условной вязкости (сокращенно 10 ВУ).

<sup>2</sup> Температура вспышки мазута — температура, при которой пары мазута образуют с окружающим воздухом смесь, воспламеняющуюся при поднесении к ней пламени.

<sup>3</sup> Температура застывания мазута — температура, при которой жидкость теряет свою подвижность и переходит в твердое состояние.

состоит главным образом из метана  $\text{CH}_4$  (90–98%) и тяжелых углеводородов. При смешивании с воздухом в пределах 4,5–13,5% природные газы образуют взрывоопасные смеси. Теплота сгорания природных газов  $Q_{\text{н}}^{\text{Р}} = 33\,500 \div 41\,900 \text{ кДж}/\text{м}^3$  ( $8000 \div 10\,000 \text{ ккал}/\text{м}^3$ ). Искусственные газы в больших количествах получаются на коксохимических заводах в качестве побочного продукта при производстве металлургического кокса или на установках полукоксования. Коксовый газ состоит из метана, водорода, окиси углерода и балласта. Термогорение коксового газа составляет  $Q_{\text{н}}^{\text{Р}} = 14\,660 \div 20\,100 \text{ кДж}/\text{м}^3$  ( $3500 \div 4800 \text{ ккал}/\text{м}^3$ ).

## § 5. ГОРЕНИЕ ТОПЛИВА

Горение топлива представляет собой процесс химического соединения горючих элементов топлива с кислородом (окисления), приводящий к выделению большого количества тепла.

Чтобы топливо (или горючая смесь) воспламенилось без источника огня, это топливо необходимо нагреть до определенной температуры, *температуры воспламенения*.

Температура воспламенения для горючих газов составляет,  $^{\circ}\text{С}$ : водорода — 600, окиси углерода — 700, метана — 650—700. Температура воспламенения твердого топлива связана с содержанием в нем летучих веществ. Чем больше летучих в топливе, тем ниже его температура воспламенения. Например, торф воспламеняется в интервале температур ( $^{\circ}\text{С}$ ) 225—250, древесина — 250—300, бурый уголь — 250—450, каменный уголь — 400—500, мазут — 550—600, кокс — 600—700, антрацит — 650—700). При температуре среды 800—1000 $^{\circ}\text{С}$  все виды топлива воспламеняются почти мгновенно.

Процесс горения происходит полностью, если к топливу подводится достаточное количество воздуха (полное горение). Если воздуха недостаточно, происходит неполное горение, т. е. с *химическим недожогом топлива*. В зависимости от конкретных условий сжигания топлива его химический недожог образуется за счет несгоревших горючих элементов: сажистого углерода С, окиси углерода CO, водорода H<sub>2</sub>, метана CH<sub>4</sub>, содержащихся в отходящих газах печей. Например, 1 м<sup>3</sup> CO уносит из печи с дымовыми газами 12,645 МДж (3018 ккал) тепла, H<sub>2</sub> — 11,7 МДж, CH<sub>4</sub> — 30,85 МДж.

Причинами химического недожога топлива могут быть: недостаточное количество воздуха, неравномерное распределение воздуха (из-за чего часть топлива не получает требуемого для полного сгорания количества воздуха), плохое перемешивание горючих элементов топлива с воздухом, пониженная температура в отдельных участках зоны горения топлива.

Потери тепла вследствие химической неполноты горения топлива  $q_{\text{x.h}}$  подсчитывают по формуле

$$q_{\text{x.h}} = \frac{Q_{\text{н.r}} V_{\text{п.г}} \cdot 100}{Q_{\text{н}}^{\text{Р}}} \cdot \frac{100 + \text{CO}_2^{\text{дис}}}{100} \%,$$

где  $V_{\text{п.р}}$  — объем продуктов горения, образующихся при сжигании 1 кг твердого, жидкого или 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива (при нормальных условиях), м<sup>3</sup>;  $Q_{\text{n}}^{\text{p}}$  — теплота сгорания топлива, кДж/кг;  $Q_{\text{п.р}}$  — теплота сгорания горючих компонентов, содержащихся в 1 м<sup>3</sup> сухих продуктов горения при нормальных условиях, кДж/м<sup>3</sup>;  $Q_{\text{п.р}} = 126,5\text{CO} + 108\text{H}_2 + 358\text{CH}_4$ , кДж/м<sup>3</sup>; здесь CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> — содержание газов в сухих продуктах горения по данным газового анализа, %; CO<sub>2</sub><sup>дис</sup> — содержание углекислоты, выделившейся при обжиге сырья, в процентах к объему сухих продуктов горения топлива, %.

Если известен химический состав топлива, то количество воздуха  $V_{\text{в.т}}$ , теоретически необходимого для полного сгорания единицы топлива, и образовавшееся при этом количество продуктов горения  $V_{\text{п.р.т}}$  подсчитывают по точным формулам, приведенным в специальной литературе. Если известна теплота сгорания топлива, то необходимый для полного горения теоретический объем воздуха и теоретический объем продуктов горения можно подсчитать по приближенным формулам, приведенным в табл. 1.

Таблица 1

Формулы для определения теоретического расхода воздуха и продуктов горения

Вид топлива	Теоретический расход воздуха	Теоретический объем продуктов горения
Твердое, м <sup>3</sup> /кг . . . . .	$1,01(Q_{\text{n}}^{\text{p}}/4190) + 0,5$	$0,89(Q_{\text{n}}^{\text{p}}/4190) + 1,65$
Жидкое, м <sup>3</sup> /кг . . . . .	$0,85(Q_{\text{n}}^{\text{p}}/4190) + 2,0$	$1,11(Q_{\text{n}}^{\text{p}}/4190)$
Газообразное при $Q_{\text{n}}^{\text{p}} > 17\ 000$ кДж/м <sup>3</sup> , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> . . .	$1,09(Q_{\text{n}}^{\text{p}}/4190) + 0,25$	$1,14(Q_{\text{n}}^{\text{p}}/4190) + 0,25$
То же, при $Q_{\text{n}}^{\text{p}} < 17\ 000$ кДж/м <sup>3</sup> , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> . . .	$0,875(Q_{\text{n}}^{\text{p}}/4190)$	$0,725(Q_{\text{n}}^{\text{p}}/4190) + 1,0$

Для полного сгорания топлива практически требуется несколько большее количество воздуха, чем необходимое теоретически. Отношение практически потребного количества воздуха  $V_{\text{в.п}}$  к теоретическому  $V_{\text{в.т}}$  называется коэффициентом избытка воздуха и обозначается греческой буквой  $\alpha$  (альфа)

$$\alpha = V_{\text{в.п}}^{\text{п}} / V_{\text{в.т}}^{\text{т}}$$

Отсюда практически необходимое количество воздуха в м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> для сжигания топлива определяется по формуле

$$V_{\text{в.п}}^{\text{п}} = \alpha V_{\text{в.т}}^{\text{т}}$$

Практически установлено, что различные виды топлива в зависимости от конкретных условий удается сжигать при следующих

коэффициентах избытка воздуха: газообразное при  $\alpha = 1,05 \div 1,3$ ; жидкое — 1,05—1,25; твердое кусковое — 1,0—1,5. Сжигание топлива с большими значениями  $\alpha$  невыгодно, так как при этом возрастают потери тепла с уходящими из печи газами и снижается температура горения.

Практический объем продуктов горения  $V_{\text{п.г}}^{\text{n}}$  получают путем прибавления к теоретическому объему продуктов горения  $V_{\text{т.г}}^{\text{t}}$  избыточного воздуха  $V_{\text{в.т}}^{\text{t}}$  ( $\alpha - 1$ ):

$$V_{\text{п.г}}^{\text{n}} = V_{\text{т.г}}^{\text{t}} + V_{\text{в.т}}^{\text{t}}(\alpha - 1).$$

Продукты горения топлива промышленных печей, помимо  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , всегда содержат кислород  $\text{O}_2$  (от избыточного воздуха) и продукты недожога топлива — окись углерода  $\text{CO}$ , водород  $\text{H}_2$  и метан  $\text{CH}_4$ . Определив с помощью газоанализатора состав продуктов горения, можно вычислить коэффициент избытка воздуха при горении любого вида топлива по формуле

$$\alpha = \frac{1}{1 - 3,76 \frac{\text{O}_2 - 0,5\text{CO} - 0,5\text{H}_2 - 2\text{CH}_4}{\text{N}_2}},$$

где  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2$  — содержание газов, %.

*Температура горения* топлива — важнейшая характеристика процесса горения. Различают теоретическую  $t_{\text{т}}$  и действительную  $t_{\text{д}}$  температуру горения. Теоретическую температуру горения в пределах до  $1800^{\circ}\text{C}$  подсчитывают по формуле

$$t_{\text{т}} = Q_{\text{н.р}}^{\text{p}} / (C_p V_{\text{п.г}}^{\text{n}}),$$

где  $Q_{\text{н.р}}^{\text{p}}$  — теплота сгорания топлива, кДж/кг;  $V_{\text{п.г}}^{\text{n}}$  — практический объем продуктов сгорания,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;  $C_p$  — их теплоемкость кДж/( $\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ).

Из формулы следует, что  $t_{\text{т}}$  прямо пропорциональна теплоте сгорания топлива  $Q_{\text{н.р}}^{\text{p}}$  и обратно пропорциональна расходу тепла на нагрев продуктов сгорания. Действительную температуру горения определяют расчетом ( $t_{\text{расч}}$ ) или измеряют с помощью приборов. Действительная температура всегда ниже теоретической, так как топливо сгорает не полностью и часть тепла расходуется на нагревание материала, на химические реакции при обжиге и потери через кладку печи или топку.

Отношение действительной температуры горения  $t_{\text{д}}$  к теоретической  $t_{\text{т}}$  называется *пиromетрическим коэффициентом* печи (топки). Пирометрический коэффициент для шахтной печи равен 0,7—0,8, для вращающейся 0,6—0,7.

## § 6. ДВИЖЕНИЕ ГАЗОВ

**Давление и разрежение.** Земля окружена атмосферой, которая оказывает давление на все тела, находящиеся на ней. Атмосферное давление называется *физическими атмосферой* и измеряется барометром.

метром. Атмосферное давление равно 760 мм ртутного столба (мм рт. ст.) или  $13,6 \cdot 760 = 10\ 330$  мм водяного столба (мм. вод. ст.), так как плотность ртути в 13,6 раза больше плотности воды. В Международной системе единиц (СИ) атмосферное давление измеряется в паскалях (Па) и равно  $10\ 330 \cdot 9,81 = 101\ 325$  Па = 101,325 кПа.

При технических измерениях пользуются *технической атмосферой*, равной давлению столба воды высотой 10 000 мм. Одна техническая атмосфера соответствует давлению 1 кгс на 1 см<sup>2</sup> (сокращенно кгс/см<sup>2</sup>) или 10 000 кгс на 1 м<sup>2</sup> (кгс/м<sup>2</sup>). 1 кгс/см<sup>2</sup> = 981 кПа.

Различают *давление абсолютное*  $P_{\text{абс}}$  и *избыточное*  $P_{\text{изб}}$ . Если за уровень отсчета принять атмосферное давление, то избыточным будет то, которое сверх атмосферного. Абсолютное давление равно сумме атмосферного и избыточного:  $P_{\text{абс}} = P_{\text{атм}} + P_{\text{изб}}$ .

*Разрежением* или *вакуумом* называется давление, которое ниже атмосферного.

Давление и разрежение измеряют приборами, которые называются манометрами, а вакуум — вакуумметрами.

**Скорость движения и расход газов.** Объем газов, протекающих через какое-либо поперечное сечение канала (газохода, трубопровода) в единицу времени, называется *расходом газов*. При движении газов скорость потока в каждой точке поперечного сечения канала будет отличаться от соседней. Это явление обусловлено трением как между частицами движущегося газа, так между газом и стенками канала.

Средней скоростью потока  $v$  называется условная скорость, полученная как частное от деления секундного расхода газа  $V_s$  на площадь поперечного сечения канала  $F$

$$v = V_s / F.$$

Среднюю скорость движения газов измеряют чашечным анемометром, расход газа — объемными счетчиками или дроссельными приборами, расход воздуха — преимущественно дроссельными приборами, расход воды — водомерами.

Движение газа по каналу или аппарату сопровождается переходом части механической энергии потока в тепловую, что приводит к возникновению потерь, называемых *аэродинамическими*, а сумма всех аэродинамических потерь по пути движения потока составляет *аэродинамическое сопротивление* канала или аппарата. Так как аэродинамическое сопротивление представляет собой потери давления, то и измеряется оно в единицах давления Па, кгс/см<sup>2</sup>, кгс/м<sup>2</sup>.

## § 7. ЕСТЕСТВЕННАЯ И ИСКУССТВЕННАЯ ТЯГА

Для обеспечения процесса горения топлива необходимо зону горения бесперебойно снабжать воздухом и непрерывно отводить из нее продукты горения. Подача воздуха и отвод продуктов горения могут осуществляться с помощью *разрежения*, создаваемого дымовой трубой (естественной тяги). Тяга  $S$  возникает в результате

те разности плотности нагретых дымовых газов  $\rho_{д.г}$  и холодного наружного воздуха  $\rho_в$  и зависит от высоты трубы  $H$ :

$$S = H(\rho_в - \rho_{д.г}).$$

Из этой формулы следует, что чем выше труба и больше плотность воздуха (ниже его температура), тем больше развиваемая трубой тяга. Создаваемое дымовой трубой разжение невелико (200—400 Па) и поэтому является достаточным лишь в период растопки и пуска печного агрегата.

При выводе печи на рабочий режим переходят на *искусственную тягу*, созданную дымососами. Для создания давления в печи, аппарате или трубопроводе служат вентиляторы. В известковом производстве широко применяют центробежные вентиляторы.

**Центробежный (радиальный) вентилятор** (рис. 1) состоит из спирального кожуха 1 со всасывающим 2 и нагнетательным 3 патрубками и рабочего колеса 4. Рабочее колесо снабжено лопatkами 5, наружные концы которых загнуты по направлению вращения (у вентиляторов высокого давления лопатки загнуты вперед).

При вращении колеса развиваются центробежные силы, под действием которых воздух отбрасывается к периферии, в результате чего в приосевой области корпуса вентилятора (улитки) создается разжение, а в периферийной — давление. Сжатый воздух выходит через прямоугольный нагнетательный патрубок 3, а наружный засасывается вентилятором через патрубок 2.

В зависимости от развиваемого давления центробежные вентиляторы делятся на *вентиляторы низкого давления* (до 1000 Па), *среднего* (до 3000 Па) и *высокого* (до 15 000 Па). Размер вентилятора характеризуется его номером, который показывает диаметр рабочего колеса в дециметрах. Вентиляторы выпускают следующих номеров: 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20.

Центробежные вентиляторы высокого давления (обозначаются ВВД или Ц8-18) отличаются узким кожухом и относительно малыми размерами входных и выходных отверстий. Вентиляторы снабжены 12 узкими и длинными лопатками, загнутыми вперед и скрепленными передним диском. Производительность вентиляторов Ц8-18, например № 11 от 4 до 20 тыс. м<sup>3</sup>/ч при давлении до 6000 Па. Центробежные вентиляторы высокого давления применяют в качестве воздуходувок и дымососов шахтных печей (при  $t = 20 \div 120^\circ\text{C}$ ).

Для перемещения запыленных дымовых газов с высокой температурой (200—250°С) применяют *центробежные вентиляторы* —

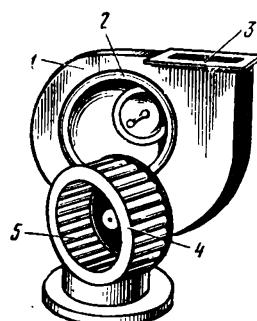


Рис. 1. Центробежный вентилятор:

1 — кожух, 2 — всасывающий патрубок, 3 — нагнетательный патрубок, 4 — рабочее колесо, 5 — лопатки

**дымососы.** Дымососы отличаются от вентиляторов усиленными деталями колеса, наличием броневого листа по образующей спирального кожуха и водяного охлаждения масляной ванны. Дымососы снабжаются восьмилопастными осевыми направляющими аппаратами для регулирования производительности.

Дутьевые вентиляторы и дымососы одностороннего всасывания выпускаются двух типов: ВД — дутьевые вентиляторы (для воздуха при  $t=20^{\circ}\text{C}$ ) и Д — дымососы (при  $t=250^{\circ}\text{C}$ ).

Начиная с 1976 г. промышленность выпускает новые консольные вентиляторы типа ВДН, ВГДН и дымососы типа ДН с более высоким коэффициентом полезного действия (80—82%). Эти машины имеют рабочее колесо с 16 лопатками. На входе потока газов в спиральный кожух (улитку) машины установлен восьмилопастный осевой направляющий аппарат, служащий для регулирования производительности. Управление направляющим аппаратом предусмотрено дистанционное от исполнительного механизма.

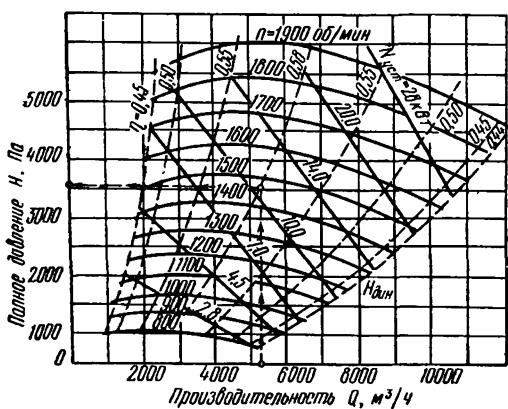


Рис. 2. Аэродинамическая характеристика вентилятора высокого давления ВВД-8-У:

$H$  — полное давление, развиваемое вентилятором,  $Q$  — производительность вентилятора,  $n$  — частота вращения ротора вентилятора,  $\eta$  — коэффициент полезного действия (КПД) вентилятора,  $N_{\text{уст}}$  — установленная мощность электродвигателя вентилятора

Дутьевые вентиляторы типоразмеров ВДН-8; 9; 10; 11,2; 12,5; 15; 17 развиваюят давление от 600 до 6000 Па (от 60 до 600 кгс/м<sup>2</sup>) в зависимости от частоты вращения (750, 1000, 1500 об/мин) при производительности от 4800 до 60 000 м<sup>3</sup>/ч и температуре воздуха до  $+40^{\circ}\text{C}$ .

Вентиляторы горячего дутья предназначены для перемещения подогретого воздуха с температурой до  $400^{\circ}\text{C}$  и запыленностью до 1 г/м<sup>3</sup> (при нормальных условиях). Вентиляторы типа ВГДН-11,2; 12,5; 15; 17; 19; 21 развиваюят давление от 1650 до 3800 Па при производительности от 23 000 до 144 000 м<sup>3</sup>/ч.

Дымососы одностороннего всасывания типоразмеров ДН-9; 10; 11,2; 12,5; 15; 19 развиваюют давление от 500 до 3800 Па при температуре 200—250°С и запыленности газа до 1 г/м<sup>3</sup>. Дымососы двустороннего всасывания типа ДН-22×2-0,62 и ДН-24×2-0,62, предназначенные для отсоса газов с температурой до 200°С и запыленностью до 1 г/м<sup>3</sup>, при частоте вращения крыльчатки

750 об/мин имеют производительность соответственно 285 000 и 370 000 м<sup>3</sup>/ч при напоре от 3000 до 4700 Па.

Центробежные пылевые вентиляторы (например, ЦП7-40) служат для перемещения запыленных газов. Они имеют рабочее колесо, снабженное шестью лопатками, благодаря чего оно не засоряется пылью и примесями. Пылевые вентиляторы широко применяют на участках помола извести и в системах аспирации и обеспыливания производства.

В промышленности широко применяют центробежные вентиляторы общего назначения Ц4-70, развивающие давление 1000—2400 Па при производительности от 10 до 140 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Колеса вентиляторов приводятся в движение от электродвигателя непосредственно или с помощью клиновременной передачи.

Вентиляторы и дымососы приводятся в действие электродвигателями переменного трехфазного тока. При мощности до 100 кВт применяют асинхронные электродвигатели, а свыше — синхронные. Вентиляторы ВДН, ВГДН и дымососы ДН приводятся в действие двухскоростными асинхронными двигателями с синхронной частотой вращения 750 и 1000 об/мин. Для машин, выбранных на nominalную нагрузку при частоте вращения 1000 об/мин, частота вращения 750 об/мин используется для регулирования. Машины с частотой вращения 1500 об/мин комплектуются односкоростным асинхронным электродвигателем.

При выборе вентилятора и электродвигателя для его привода пользуются аэродинамическими характеристиками (рис. 2), составленными для каждого типа машин.

**Пример.** Выбрать вентилятор для подачи холодного воздуха при максимальной его производительности  $Q_1=5300 \text{ м}^3/\text{ч}$  и напоре  $H_1=3500 \text{ Па}$ .

По аэродинамической характеристике вентилятора ВВД-8-У (см. рис. 2) определим, что для привода вентилятора необходим электродвигатель с частотой вращения  $n_1=1460 \text{ об/мин}$ , установленной мощностью  $N_{\text{уст}}=11 \text{ кВт}$ . При выбранных параметрах ( $Q_1, H_1, n_1$ ) вентилятор будет работать с коэффициентом полезного действия  $\eta=58\%$ .

## § 8. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС И КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ПЕЧНОГО АГРЕГАТА

Получаемое в печи тепло от сгорания топлива, а также за счет физического тепла, вносимого с воздухом и сырьем, расходуется на нагревание материала и газов, протекание реакций диссоциации карбонатов кальция и магния, испарение влаги сырья, потери тепла с отходящими газами и в окружающую среду (через стенки печи), с выгружаемой известью, с уносом пыли. Кроме того, часть теплоты сгорания топлива не используется в связи с механической потерей части топлива (с кусками несгоревшего твердого топлива) и неполным химическим сгоранием топлива.

Тепловой баланс печного агрегата составляют в расчете на 1 кг известки и состоит из приходной и расходной частей:

$$q_t + q_v + q_m = q_{\text{дис}} + q_{\text{и.в}} + q_{\text{м.н}} + q_{\text{x.н}} + q_{\text{o.г}} + q_{\text{i}} + q_{\text{o.с}} + q_{\text{y.н}},$$

где  $q_t$  — теплота сгорания топлива;  $q_v$  — тепло, поступающее с воздухом;  $q_m$  — тепло, поступающее с материалом (с сырьем);  $q_{дис}$  — тепло, затраченное на диссоциацию  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ ;  $q_{и.v}$  — тепло, затраченное на испарение влаги сырья;  $q_{m.h}$  — потери тепла с механическим недожогом топлива;  $q_{x.h}$  — потерян тепла с химическим недожогом топлива;  $q_{o.g}$  — потери тепла с отходящими газами;  $q_i$  — потери тепла с выгружаемой известью;  $q_{o.c}$  — потери тепла в окружающую среду;  $q_{up}$  — потери тепла с уносом пыли.

Тепловой коэффициент полезного действия (КПД) агрегата  $\eta_a$  представляет собой отношение количества тепла, израсходованного на диссоциацию материала  $q_{дис}$  и испарение влаги сырья  $q_{и.c}$ , к общему количеству тепла, внесенному в агрегат с топливом  $q_t$ , воздухом  $q_v$  и материалом  $q_m$ :

$$\eta_a = [(q_{дис} + q_{и.c}) : (q_t + q_v + q_m)] \cdot 100\%.$$

Тепловой КПД печи характеризует степень использования тепла, выделяемого топливом при его сжигании в печи, и тем самым ее совершенство как теплового агрегата. Наиболее высокий тепловой КПД имеют шахтные пересыпные печи (75—85%), а самый низкий — длинные вращающиеся печи без внутрипечных теплообменных устройств (35—50%).

Тепловой КПД печи отпределяют из ее теплового баланса.

## ГЛАВА IV

### КАРБОНАТНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗВЕСТИ

#### § 9. ХАРАКТЕРИСТИКА КАРБОНАТНОГО СЫРЬЯ

К карбонатным породам относятся осадочные образования, состоящие из минералов карбонатной группы (кальцита, арагонита, доломита, магнезита) и примесей.

*Кальцит*  $\text{CaCO}_3$  имеет белую и серую окраску. Твердость кальцита по минералогической шкале 3; плотность 2720—2800 кг/м<sup>3</sup>. Кальцит растворяется в кислотах; в воде его растворимость незначительная. Кальцит обнаруживается эффектом «всплывания» при воздействии на него 10%-ным раствором соляной кислоты.

*Арагонит*  $\text{CaCO}_3$  имеет твердость 3,5—4, плотность 2900—3000 кг/м<sup>3</sup>, при нагревании превращается в кальцит.

*Доломит* — минерал белого, серого, бурого или зеленоватого цвета со стеклянным блеском. Твердость 3,5—4, плотность 2800—2900 кг/м<sup>3</sup>. Доломит содержит 54%  $\text{CaCO}_3$  и 46%  $\text{MgCO}_3$ .

*Магнезит*  $\text{MgCO}_3$  встречается желтого, белого, серого и коричневого цветов, имеет стеклянный блеск. Твердость 3,75—4,25, плотность 2900—3100 кг/м<sup>3</sup>.

*Обычная примесь* в карбонатных породах — кремнезем в свободном состоянии (кварц, халцедон, опал). В связанном виде кремнезем  $\text{SiO}_2$  и глинозем  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в виде алюмосиликатов входят в состав таких примесей, как глины, полевые шпаты и слюды. Соединения железа находятся в примесях в виде карбонатов (сидерит  $\text{FeCO}_3$ ), сульфидов (пирит), свободных окислов (магнетит, гематит) и в составе других примесей (глауконит).

Из прочих примесей распространены: органическое вещество (углистое и битуминозное), гипс, фосфорит, соединения щелочных металлов, марганца, титана, фтора и др. Сумма окислов  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  называется *глинистыми примесями*.

Условно к карбонатным породам относят только те, которые содержат не менее 50% карбонатов кальция и магния и не более 50% глинистых примесей. Карбонатную породу, содержащую от 21 до 50% песчано-глинистых веществ, называют *мергелем*.

**Известняки.** Горная порода карбонатной группы, состоящая из кальцита (редко из арагонита) и некоторого количества минеральных примесей, называется известняком. К известнякам относятся карбонатные породы с содержанием углекислого кальция  $\text{CaCO}_3$  не менее 70%.

Известняки образовались в основном из останков живых организмов, обитавших миллионы лет назад в морской воде. Скопления

скелетов, раковин, панцирей, в состав которых входил углекислый кальций, образовали известняковый ил, который под действием огромного давления столба воды и вышележащих пластов уплотнялся. Чем больше времени прошло с момента образования таких скоплений, тем более плотным является известняк.

Некоторая часть известняков образовалась химическим путем вследствие перехода растворимой в воде двууглекислой соли кальция в нерастворимую углекислую.

В природе встречаются известняки самой разнообразной окраски: белой, серой, желтой, зеленоватой, бурой, красноватой, черной и пестрой. Цвет известняка определяется примесями. Желтоватый, бурый, красный и коричневый цвета известняка определяются наличием окислов железа и марганца; серый и черный цвета обусловлены примесями битуминозных смол и углистых веществ; зеленоватый связан с наличием в известняке закисных соединений железа. Пахучесть известняка говорит о значительном содержании в нем органических остатков.

Известняки классифицируют по двум признакам: по структуре, т. е. по строению материала, и по химическому составу. По структуре различают зернисто-кристаллические, плотные, пористые и землистые известняки.

Зернисто-кристаллические известняки, к которым относятся кальцитовый и доломитизированный мрамор, имеют крупнокристаллическое строение (в мраморе зерна кальцита видны невооруженным глазом). Объемная масса мрамора — 2600—2800 кг/м<sup>3</sup>; предел прочности при сжатии — 80—120 МПа; теплопроводность 2,9—3,27 Вт/(м·град); карьерная влажность — до 2%.

У плотных известняков тонкозернистая структура; объемная масса — 2400—2600 кг/м<sup>3</sup>; предел прочности при сжатии — 40—100 МПа; теплопроводность — 1,16—1,75 Вт/(м·град), карьерная влажность — 2—4%. Отдельные виды плотных известняков поддаются полированию и поэтому называются мраморовидными.

К пористым известнякам относятся известняк-ракушечник, известняковые туфы и оолитовые известняки.

*Ракушечник* сложен из остатков крупных раковин (размером 2—3 см); объемная масса — до 1000 кг/м<sup>3</sup>; пористость — 50—60% объема породы; теплопроводность — 0,29—0,47 Вт/(м·град); предел прочности при сжатии — 10—20 МПа; влажность — 8—10%.

*Известняковый туф* представляет собой пористую ноздреватую относительно твердую породу; предел прочности при сжатии в сухом состоянии — до 80 МПа.

*Оолитовый известняк* состоит из отдельных шаровидных съементированных зерен кальцита (диаметром до 0,05 мм), внутри которых часто находятся песчинки; отличается он низким пределом прочности при сжатии — 16—20 МПа. Объемная масса оолитового известняка — 1800—2200 кг/м<sup>3</sup>; влажность — 6—8%.

Пористые известняки используют для обжига на известь и для переработки на известняковую муку для сельского хозяйства.

**К землистым известнякам** относятся мел и рыхлые, сходные по структуре с мелом известняки.

**Мел** имеет землистое сложение. Его особенности—рыхлость, тонкозернистость, отсутствие слоистости. Объемная масса мела—1300—2000 кг/м<sup>3</sup>; предел прочности при сжатии изменяется от 0,4 до 20 МПа; вследствие пористости карьерная влажность мела составляет 10—30%.

**Землистые известняки** с высоким содержанием карбоната кальция используют для обжига на известь во вращающихся печах и выпуска известняковой муки. Кроме углекислого кальция в состав известняков входят углекислый магний (в виде доломита) и глинистые примеси. Известняки, примеси песка и глины в которых не превышают 3%, в зависимости от содержания карбоната магния подразделяются на следующие виды:

известняк чистый кальциевый (мраморовидный известняк, чистый мел) с содержанием  $MgCO_3$  до 2%;

известняк чистый слабо доломитизированный с содержанием  $MgCO_3$  в пределах 2—7%;

известняк чистый доломитизированный с содержанием  $MgCO_3$  от 8 до 20%.

Обжигом этих известняков получают известь, физико-химические свойства которой, а следовательно, и область применения зависят в основном от содержания  $MgCO_3$  в исходном сырье. Например, при обжиге чистых кальциевых известняков получают белую воздушную кальциевую известь, которую применяют как химическое сырье в различных отраслях промышленности и как вяжущее вещество в строительной индустрии. Доломитизированные известняки дают серую воздушную известь, используемую иногда в строительных растворах, а при обжиге во взвешенном состоянии—в изделиях автоклавного твердения.

Глинистые примеси в количестве до 8% существенно не изменяют свойства воздушной извести. Известняки с содержанием глинистых примесей от 8 до 12% называются *слабо мергелистыми известняками*, а получаемая из них известь—слабогидравлической. При содержании глинистых примесей в пределах 12—20% известняки называются *мергелистыми*, а получаемая из них известь—сильногидравлической.

**Доломиты.** Доломиты представляют собой породы смешанного происхождения. От известняков доломиты отличаются повышенным содержанием минерала доломита. Структура доломитов тонкозернистая, плотная. Они отличаются значительной пористостью и трещиноватостью; объемная масса—2700—2800 кг/м<sup>3</sup>; предел прочности при сжатии—100—140 МПа. Доломит имеет окраску, схожую с известняком (серую, белую, красноватую).

Доломиты используют для получения доломитовой извести.

**Технические требования к карбонатному сырью.** Карбонатные породы для производства строительной извести (ОСТ 21—27—76) в зависимости от их химического состава подразделяются на семь классов (табл. 2).

Таблица 2

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

Химический состав	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
Углекислый кальций ( $\text{CaCO}_3$ ), %, не менее . . . . .	92	86	77	72	52	47	72
Углекислый магний ( $\text{MgCO}_3$ ), %, не более . . . . .	5	6	20	20	45	45	8
Глинистые примеси ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{FeO}_3$ ), %, не более .	3	8	3	8	3	8	20

Для производства воздушной кальциевой извести используют карбонатные породы класса А и Б, воздушной магнезиальной — классов В и Г, доломитовой — классов Д и Е, а гидравлической — класса Ж.

Карбонатная порода поставляется потребителю в виде фракций: 5—20, 20—40, 40—80, 80—120, 120—180 мм. Если размеры кусков сырья выходят за пределы данной фракции, то их содержание допускается не более 5% от массы пробы (по нижнему и верхнему пределу в отдельности).

По прочности карбонатные породы подразделяются на прочные (более 60 МПа), средней прочности (30—60 МПа), мягкие (10—30 МПа) и очень мягкие (менее 10 МПа).

Для производства конвертерной извести используют фракционированный известняк. По техническим условиям (ТУ 14-1-124—71) фракционированный известняк в зависимости от химического состава подразделяется на два сорта — 1-й и 2-й, от гранулометрического состава на два класса — 1-й и 2-й.

Фракционированный известняк 1-го сорта должен содержать не менее 53,5%  $\text{CaO}$  и не более:  $\text{MgO} — 1,1\%$ ,  $\text{SiO}_2 — 1\%$ ,  $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) — 1,5\%$ ,  $\text{S} — 0,03\%$ ,  $\text{P} — 0,06\%$ ; 2-го сорта — не менее 53%  $\text{CaO}$  и не более:  $\text{MgO} — 1,2\%$ ,  $\text{SiO}_2 — 1,5\%$ ,  $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) — 1,5\%$ ,  $\text{S} — 0,05\%$ ,  $\text{P} — 0,06\%$ . Допускается наличие в известняке до 4,5%  $\text{MgO}$  при условии, если сумма  $\text{CaO} + \text{MgO}$  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 допускается до 5%, больше верхнего 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 производства извести обычно используются известняк и мел следующего химического состава (в %):  $\text{CaCO}_3 — 96—98$ ;  $\text{MgCO}_3 — 0,2—2$ ;  $\text{SiO}_2 + \text{нерасторимый остаток} — 0,2—1$ ;  $\text{R}_2\text{O}_3 — 0,1—0,8$ ;  $\text{CaSO}_4 — 0,1—0,2$ .

Сахарная промышленность предъявляет высокие требования к качеству карбонатного сырья. Для обжига применяют фракционированный известняк (мел) следующего химического состава, %:  $\text{CaCO}_3$  — не менее 96;  $\text{MgCO}_3$  — не более 1,8 (1,0);  $\text{SiO}_2+$  нерастворимые примеси — не более 0,75 (2,0);  $\text{R}_2\text{O}_3$  — не более 1,2 (1,0);  $\text{CaSO}_4$  — не более 0,25 (0,05); щелочи — не более (0,25).

#### § 10. СКЛАДИРОВАНИЕ СЫРЬЯ И ТОПЛИВА

Складское хозяйство предприятия, изготавливающего известь, состоит из открытых или закрытых площадок, емкостей и хранилищ. Промежуточные (складские) емкости позволяют предприятию накапливать в них одно- и двухмесячный запас сырьевых материалов, топлива и продукции для бесперебойной работы основного технологического оборудования

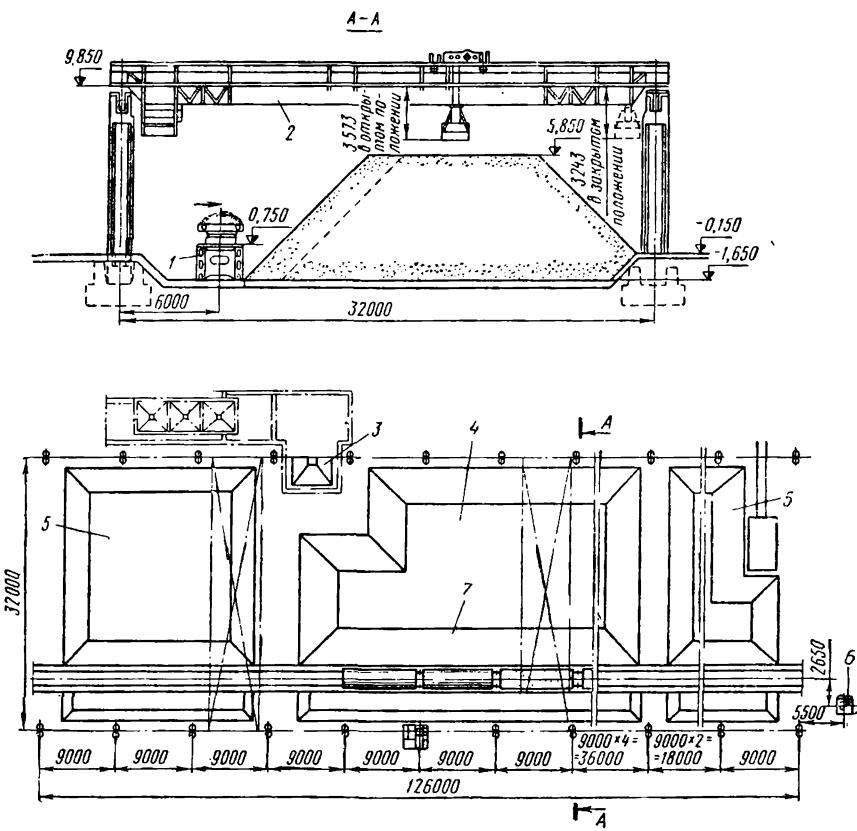


Рис. 3. Склад известняка и твердого топлива:

1 — железнодорожная эстакада, 2 — мостовой кран, 3 — приемные бункера, 4 — место хранения известняка, 5 — место хранения угля, 6 — мневовая лебедка, 7 — траншея для выгрузки камня из саморазгружающихся вагонов

Различают склады, служащие для хранения сырья, топлива и готовой продукции.

Сырье поступает на склад в фракционированном или нефракционированном виде. В первом случае оно распределяется со склада по приемным бункерам печей. Во втором — его вначале отправляют в приемные бункера дробильно-сортировочной установки, а после дробления и рассева ленточными конвейерами распределяют по приемным бункерам обжиговых печей.

Для доставки известняка со склада к приемным бункерам применяют опрокидные вагонетки узкой колеи, которые откатывают маневровыми лебедками МОЛ-1 и МОЛ-2; бульдозеры; мостовые грейферные краны грузоподъемностью 5 и 10 т.

Типовой склад сырья и твердого топлива большой вместимости (рис. 3) протяженностью 100—130 м имеет бетонированный пол и стены и оснащен двумя мостовыми кранами 2 длиной 32 м и грузоподъемностью 10 т, с помощью которых сырье и топливо загружают в приемные бункера. Одной своей стороной склад примыкает к приемным бункерам 3 дробильно-сортировочного отделения (или приемным бункерам печей). Противоположная сторона склада оборудована эстакадой 1 с железнодорожным путем. Сырье складируется в средней части площадки, а топливо с обеих сторон от сырья.

Полувагоны с сырьем или топливом разгружают вдоль склада по обе стороны от эстакады. Выгрузочные люки полувагонов открывают вручную (при односторонней выгрузке) или посредством механизмов, укрепленных на фермах мостового крана. Железнодорожный состав перемещают маневровой лебедкой 6.

## § 11. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СЫРЬЯ И ТОПЛИВА

Качество исходных материалов (сырья и топлива) контролируют при их поступлении на склад, периодически при хранении на складе и раз в смену на технологической линии перед поступлением в обжиговый агрегат.

**Карбонатное сырье.** Качество карбонатной породы на складе контролируют как по документации поставщика, так и непосредственным анализом проб, взятых из прибывшей партии сырья или различных мест штабеля.

На каждую партию прибывающего на заводской склад карбонатного сырья поставщик (карьер) высылает на предприятие паспорт, в котором указывается: дата выдачи документа, класс породы, количество, номер партии, результаты испытания проб сырья.

Работники предприятия периодически, 2—4 раза в месяц, производят контрольную проверку соответствия поступающей карбонатной породы требованиям ОСТ 21—27—76. Для проведения лабораторного испытания сырья отбирают среднюю пробу. Масса средней пробы фракционированного сырья должна соответствовать значениям, указанным в табл. 3, а нефракционированного сырья должна быть не менее 40 кг.

Таблица 3

## Минимальная масса пробы для испытания карбонатной породы, кг

Испытания	Фракции сырья, мм				
	5—20	20—40	40—80	80—120	120—180
Определение химического состава . . . . .	20	20	40	40	60
Определение зернового состава . . . . .	20	40	60	80	100
Определение влажности . . . . .	1	2	4	6	8

При отгрузке карбонатной породы партиями до пяти железнодорожных вагонов среднюю пробу отбирают из каждого вагона не менее чем из пяти мест на различной глубине. При большем числе вагонов среднюю пробу отбирают из пяти вагонов по указанию потребителя. При отгрузке сырья водным или автомобильным транспортом среднюю пробу отбирают от каждой части партии массой не более 300 т с погрузочно-разгрузочных средств или из пяти автомашин.

*Прочность карбонатной породы* (предел прочности при сжатии) определяют как среднее значение результатов проверки пяти образцов, изготовленных и испытанных в соответствии с ГОСТ 8462—75.

*Зерновой состав* сырья определяют просеиванием пробы материала (см. табл. 3) через сита с размерами ячеек, соответствующими верхнему и нижнему пределам контролируемой фракции, и взвешиванием. Содержание отсеянных фракций в % определяют по формулам:

$$m'_m = (\Delta m_m / m_n) \cdot 100\%; \quad m'_b = (\Delta m_b / m_n) \cdot 100\%,$$

где  $m'_m$ ,  $m'_b$  — масса отсеянного материала соответственно меньше нижнего предела и больше верхнего предела фракции, %;  $\Delta m_m$ ,  $\Delta m_b$  — то же, кг;  $m_n$  — масса пробы, кг.

*Влажность сырья* определяют таким образом. Массу пробы (см. табл. 3) взвешивают, затем высушивают до постоянной массы. Влажность  $W$  (в % по массе) вычисляют по формуле

$$W = [(m_n - m_c) / m_n] \cdot 100\%,$$

где  $m_n$  — масса исходного материала, кг;  $m_c$  — масса высшенного материала, кг.

Чтобы определить физико-химические свойства сырья, среднюю пробу (см. табл. 3) квартованием делят на две равные части. Одну часть отбрасывают, вторую — измельчают до кусков менее 20 мм. и последовательным квартованием доводят до массы 1 кг. Полученную пробу измельчают до полного прохождения через сито с отверстиями размером не более 2 мм, затем снова сокращают

квартованием до 25 г, высушивают до постоянной массы при температуре 105—110° С. Подготовленную пробу растирают в фарфоровой ступке, просеивают через сетку № 008, после чего пробу сокращают до 10 г и хранят в стаканчике для взвешивания (бюксе).

Далее определяют содержание в средней пробе гигроскопической влаги, окиси кремния  $\text{SiO}_2$ , полуторных окислов ( $\text{R}_2\text{O}_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), окиси кальция  $\text{CaO}$  и окиси магния  $\text{MgO}$ .

Если контрольная проверка качества сырья показала неудовлетворительные результаты, т. е. невыполнение хотя бы одного из требований стандарта, то производят повторную проверку, отбирая двойное количество проб. При отрицательных результатах повторной проверки партия карбонатной породы не принимается предприятием и не пускается в производство.

*Гранулометрический состав* карбонатного сырья периодически, один раз в смену, проверяют на технологической линии перед его подачей в печь.

Все данные соответствующих анализов заносят в журнал по контролю сырья.

**Топливо.** Твердое топливо контролируют особенно тщательно, так как его качество существенно колеблется в процессе добычи и поставки потребителю. Поставщик обязан выслать предприятию удостоверение о качестве отгруженного топлива, в котором указываются марка и группа угля, выход летучих веществ, зольность, размер кусков, содержание влаги, теплота сгорания топлива.

От каждой поступающей на предприятие партии твердого топлива берут среднюю пробу, у которой определяют влажность, зольность, сортность и теплоту сгорания топлива.

Влажность топлива определяют таким же способом, как и влажность сырья.

Зольность топлива определяют следующим образом. 5—10 г из средней пробы помещают в тигель и прокаливают при постепенном повышении температуры до полного сгорания органической части. Зольность топлива  $A, \%$ , вычисляют по формуле

$$A = (m_1/m_2) \cdot 100\%,$$

где  $m_1$  — масса золы, г;  $m_2$  — масса топлива, г.

Сортность твердого топлива устанавливают рассевом средней пробы топлива на грохоте или контрольных ситах с размерами отверстий, соответствующими гранулометрическому составу топлива по технологической карте.

Удельную теплоту сгорания топлива определяют в калориметрической бомбе по ГОСТ 147—74.

Влажность и зольность твердого топлива, идущего в производство извести, определяют один раз в сутки, а сортность (гранулометрический состав) — один раз в смену. Кроме того, необходимо периодически контролировать правильность хранения твердого топлива в штабелях.

**Жидкое топливо** контролируют как по паспорту поставщика, так и отбором проб от полученной партии. В паспорте поставщика указывается марка мазута, содержание серы и удельная теплота сгорания.

Среднюю пробу отбирают в чистый металлический сосуд во время слива мазута в хранилище из напорной части мазутопровода между расходным баком и печью. На каждые 10 т для пробы берут 1 л. Чтобы получить лабораторную пробу, первичную пробу при температуре не выше 25°С сильно взбалтывают в течение 5—10 мин и затем быстро отливают из нее 1 л в чистую сухую бутылку с пробкой.

*Удельную теплоту сгорания мазута* определяют, как и для твердого топлива.

Качество мазута, идущего в производство, контролируют 2—4 раза в месяц.

Газообразное топливо проверяют в лабораториях специализированных организаций. Среднюю пробу газа в объеме 20 л отбирают один раз в месяц в стальной баллон через газоотводные трубы из газопровода распределительной станции. На основании анализа газа определяют теплоту сгорания и плотность газообразного топлива при нормальных условиях.

Все данные по качеству топлива заносят в специальный журнал по контролю топлива.

## ГЛАВА IV

### ПЕРЕРАБОТКА, ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ДОЗИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ, ОЧИСТКА ВОЗДУХА И ГАЗОВ ОТ ПЫЛИ

#### § 12. ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ МАТЕРИАЛА

##### Общие сведения об измельчении

Измельчением называется процесс превращения крупных кусков материала в мелкие под действием внешних сил. Внешние силы должны быть достаточными для преодоления внутренних сил скрепления частиц материала.

Процесс измельчения характеризуется *степенью (коэффициентом) измельчения*  $i$ , которая показывает, во сколько раз уменьшился средний размер кусков материала после измельчения по отношению к их первоначальному среднему размеру:

$$i = D_{cp}/d_{cp},$$

где  $D_{cp}$  — среднее арифметическое значение трех размеров куска (длина, ширина, высота) до измельчения, мм;  $d_{cp}$  — то же, после измельчения, мм.

При грубом измельчении (*дроблении*) коэффициент измельчения  $i$  составляет 3—20, при тонком (*помоле*) достигает 500—1000. Машины, служащие для грубого измельчения, получили название дробилок, а тонкого — мельниц.

Процесс дробления условно делят на три стадии: крупное дробление — с измельчением кусков материала от 1500—1000 до 300—200 мм, среднее дробление — от 300—200 до 80—20 мм и мелкое дробление — от 80—20 до 10—3 мм.

Процесс помола делится на грубый помол — измельчение материала до размера частиц 0,3—0,1 мм, тонкий помол — до размера 0,1—0,001 мм и сверхтонкий, когда размер частиц в материале ниже 0,001 мм. Обычно крупность исходных материалов и продукта измельчения оценивают по количественному составу отдельных фракций, который определяется рассевом на ситах (ситовой анализ).

Различают четыре способа воздействия на материал при измельчении: раздавливание, раскалывание, истирание и удар. Способ измельчения выбирают, учитывая свойства материала: для твердых эффективными являются удар и раскалывание, для вязких — истирание, для хрупких — раскалывание, для мелового сырья — размучивание в воде.

Дробление и помол — основные технологические стадии при производстве извести и известняковой муки. Дроблению подвергают карбонатное сырье и твердое топливо перед загрузкой в печной агрегат. Известь подвергают как дроблению, так и дальнейшему измельчению в мельницах.

Размучиванию подвергают меловое сырье при приготовлении шлама в болтушках.

### Устройство и работа дробильно-размольного оборудования

Дробилки, применяемые в известковом производстве, по конструкции и принципу действия разделяются на следующие типы:

*щековые* (рис. 4 а), в которых раздавливание и частичное истирание материала происходит между неподвижной и подвижной щеками;

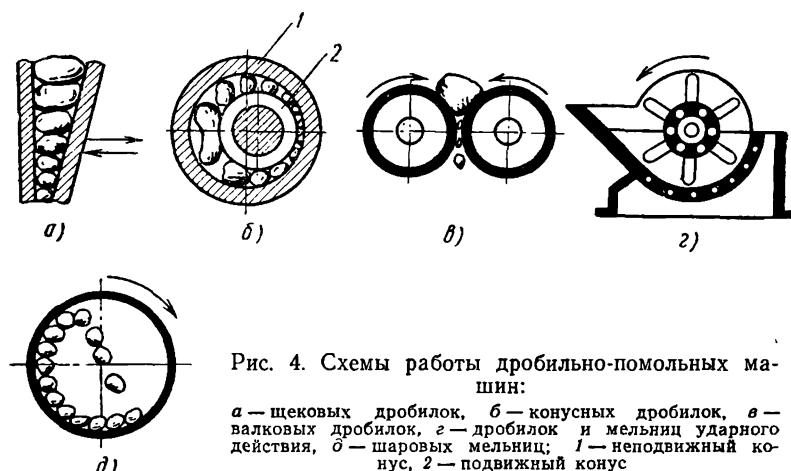


Рис. 4. Схемы работы дробильно-помольных машин:

а — щековых дробилок, б — конусных дробилок, в — валковых дробилок, г — дробилок и мельниц ударного действия, 1 — шаровых мельниц; 1 — неподвижный конус, 2 — подвижный конус

*конусные* (рис. 4, б), раздавливание и истирание материала в которых происходит между неподвижным наружным 1 и вращающимся внутренним 2 конусами;

*валковые* (рис. 4, в), в которых материал измельчается раздавливанием и частичным истиранием между вращающимися навстречу валками;

*ударного действия* (рис. 4, г), в которых материал измельчается вследствие ударов по кускам быстро вращающихся молотков, кусков один о другой, о плиты брони и колосники.

Мельницы подразделяются на следующие типы:

*быстроходные ударного действия*, аналогичные с молотковыми дробилками (см. рис. 4, г), бывают шахтные с шарнирно-подвешенными молотками, аэробильные с жестко укрепленными молотками и корзинчатого типа или дезинтеграторы; мельницы работают по принципу удара и отчасти истирания;

**тихоходные** (рис. 4, *д*), измельчающие при вращении материала по принципу удара и частичного истирания свободно падающими мелющими телами (шарами, цилиндрами, стержнями);

**самоизмельчения**, в которых крупные куски сырья действуют как измельчающие тела.

**Болтушки**, используемые для приготовления мелового шлама, работают по принципу размучивания мела в большом количестве воды и механического истирания его вращающимися боронами.

**Щековые дробилки.** Щековые дробилки применяют для крупной и средней стадии дробления. Конструктивно они подразделяются на щековые дробилки с простым движением щеки и щековые дробилки со сложным движением щеки.

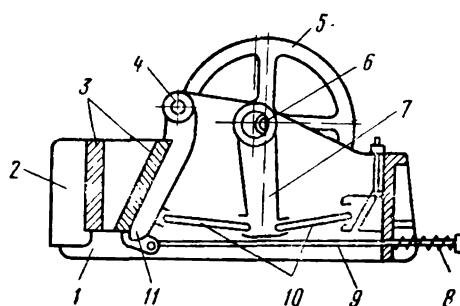


Рис. 5. Схема щековой дробилки с простым движением щеки:

1 — станина, 2 — неподвижная щека, 3 — съемные дробящие плиты, 4 — ось, 5 — маховик, 6 — дебалансный вал, 7 — шатун щековой дробилки, 8 — пружина, 9 — замыкающее устройство, 10 — распорные плиты, 11 — подвижная щека

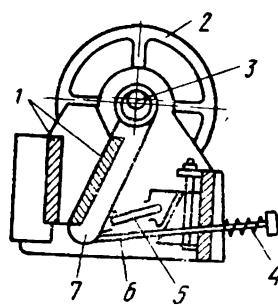


Рис. 6. Схемы щековой дробилки со сложным движением щеки:

1 — съемные дробящие плиты, 2 — маховик, 3 — дебалансный вал, 4 — пружина, 5 — распорная плита, 6 — замыкающее устройство, 7 — подвижная щека

**Щековая дробилка с простым движением щеки** (рис. 5) состоит из станины 1, на которой закреплены неподвижная щека 2 и ось 4 с подвижной щекой 11. Рабочей частью подвижной и неподвижной щек служат съемные дробящие плиты 3. Маховик 5 вращает дебалансный (экцентриковый) вал 6, на котором подведен шатун 7 щековой дробилки. При движении шатуна щековой дробилки вверх распорные плиты 10 выпрямляются, сжимая пружину 8 и сближая щеки, в результате чего происходит раздавливание материала дробящими плитами 3. При опускании шатуна 7 распорные плиты 10, наклоняются, пружина 8 посредством замыкающего устройства 9 оттягивает вправо подвижную щеку 11 и материал под действием собственного веса выпадает из выходной щели.

К этому типу машин относятся щековые дробилки СМД-59А и СМД-58Б.

**Щековая дробилка со сложным движением щеки** (рис. 6) имеет одинарный шарнирно-рычажный механизм с одной распорной плитой. Подвижная щека 7 подвешена непосредственно к дебалансному

приводному валу 3. При вращении вала подвижная щека совершает эллипсовидное движение, раздавливая материал и помогая ему двигаться в направлении выходной щели. Эти щековые дробилки более производительны, но обладают повышенным износом дробящих плит за счет одновременного раздавливания и истирания материала. К машинам этого типа относятся щековые дробилки СМД-28 и СМД-11.

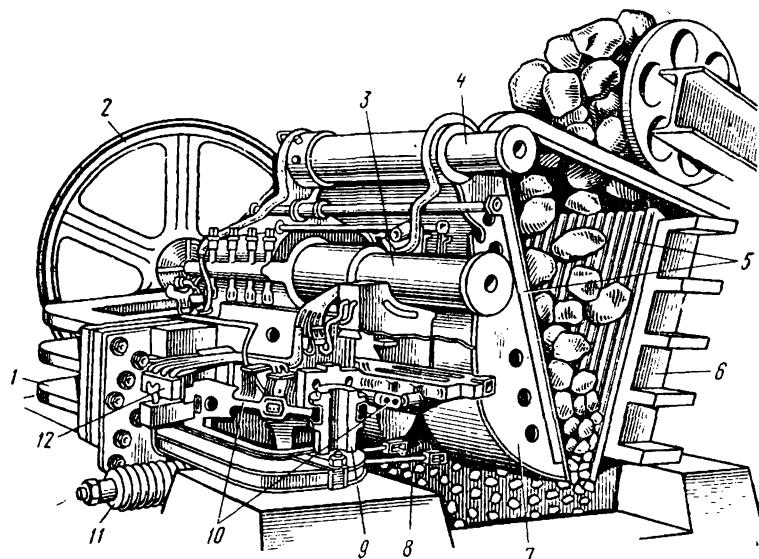


Рис. 7. Щековая дробилка с простым движением щеки:  
1 — станина, 2 — маховик, 3 — главный дебалансный вал, 4 — ось, 5 — дробящие плиты, 6 — неподвижная щека, 7 — подвижная щека, 8 — замыкающее устройство, 9 — шатун щековой дробилки, 10 — распорные плиты, 11 — пружина, 12 — клин

У щековой дробилки с простым движением щеки (рис. 7) рабочие детали смонтированы на станине 1, отливаемой из стали. Неподвижная щека 6 снабжена съемной дробящей плитой 5 и удерживается боковыми футеровочными клиньями, вставленными в продольные пазы станины на гайках. Другая дробящая плита закреплена на подвижной щеке 7, которая подвешена на оси 4.

Дробящие плиты находятся в непосредственном соприкосновении с раздробляемым материалом, поэтому они изготовлены из износостойкой марганцовистой стали. Чтобы обеспечить лучший захват камня, плиты снабжены рифлениями различного профиля. Обычно используют обе стороны дробильных плит, переворачивая их при эксплуатации.

Щека 7 приводится в действие с помощью установленного в подшипниках главного дебалансового вала 3, шатуна щековой дробилки 9 и распорных плит 10 и делает один ход при каждом обороте вала. Дробилка приводится в действие посредством насаженного

на вал 3 рабочего шкива, соединенного клиноременной передачей с электродвигателем. На противоположном конце вала расположен маховик 2, который обеспечивает равномерность хода механизмов щековой дробилки.

В процессе движения щеки 7 размер выходной щели попеременно увеличивается и уменьшается. Минимальная ширина выходной щели устанавливается в зависимости от требуемой степени дробления материала с помощью клина 12 и регулировочных болтов.

Распорные плиты — дешевые и легко сменяемые части щековой дробилки. При попадании в щековую дробилку недробимых тел распорные плиты ломаются и тем самым предохраняют остальные части ее от разрушения. Нормальный срок службы распорных плит 3—12 месяцев.

В некоторых новых дробилках предусмотрены пружинные, фрикционные или гидравлические предохранительные устройства, которые защищают ее звенья от разрушения. Например, при попадании недробимых предметов в дробилку с пружинным предохранительным устройством его пружины сжимаются на величину, необходимую для проворачивания дебалансового вала дробилки при остановившейся подвижной щеке.

Производительность щековых дробилок зависит от свойств материала, размеров выходной щели и загружаемых камней, профиля дробящих плит и числа качаний щеки (частоты вращения вала).

Щековые дробилки СМД-59А, СМД-58Б применяют для крупного дробления, а дробилки СМД-11, СМД-28 — для среднего дробления. Степень измельчения карбонатных пород с пределом прочности при сжатии 100—180 МПа в щековых дробилках равна  $i=3 \div 3,5$ . Допустимый линейный размер загружаемых кусков составляет: для щековой дробилки СМД-59А — 1000 мм; СМД-58Б — 750 мм; СМД-11 — 210 мм; СМД-28 — 340 мм. Ширина выходной щели дробилок (в мм): СМД-59А — 150; СМД-58Б — 130; СМД-11 — 20—80; СМД-28 — 40—100. В зависимости от загрязненности известняков коэффициент снижения производительности дробилок  $K_c$  при влажности сырья в пределах 2—5% равен для чистых пород — 0,95; при содержании глины до 5% — 0,85.

При дроблении в щековых дробилках получают куски преимущественно плитчатой формы: толщиной — в пределах ширины выходной щели, а длиной и шириной — в пределах двукратной ширины выходной щели. Количество кусков, длина и ширина которых больше ширины выходной щели, достигает 25—35% по массе. Наиболее благоприятный фракционный состав известняка получают при ширине разгрузочной щели в пределах 80—100 мм.

**Конусные дробилки.** Конусные дробилки — более сложные агрегаты, в связи с чем их редко применяют в известковом производстве. Их преимущества — высокая производительность, непрерывность процесса измельчения, постоянство размера продуктов дробления.

**Валковые дробилки.** Валковые дробилки применяют в основном для измельчения мягких материалов (мел, уголь) небольших раз-

меров (до 150 мм). По количеству валков дробилки разделяют на одновалковые, двухвалковые и многовалковые.

*Двухвалковая зубчатая дробилка* (рис. 8) состоит из станины 1, зубчатых дробящих валков (ведомого подвижного 4 и ведущего неподвижного 5), редуктора 9 и приводного вала 10. Валок состоит из рабочего вала 11, на который насыжен пустотелый стальной барабан 7, снабженный сменными зубьями 6.

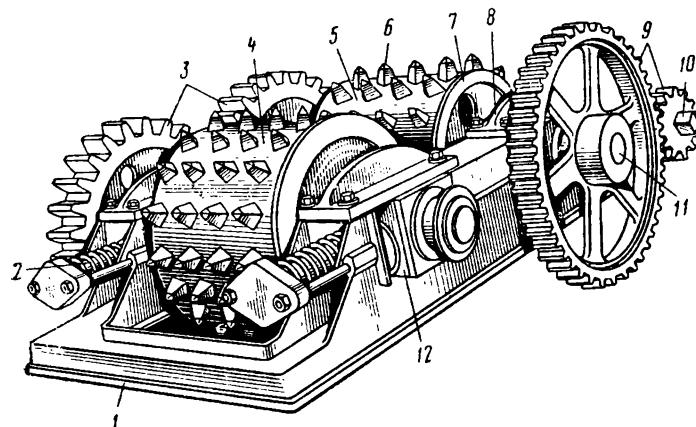


Рис. 8. Двухвалковая зубчатая дробилка:

1 — станина, 2 — пружина, 3 — зубчатые колеса, 4 — ведомый валок, 5 — ведущий валок, 6 — сменные зубья, 7 — барабан, 8 — неподвижный подшипник, 9 — редуктор, 10 — приводной вал, 11 — рабочий вал, 12 — подвижный подшипник

Вал ведущего валка 5 закреплен в неподвижно установленные роликовые подшипники 8. Вал ведомого валка 4 закреплен в подшипниках 12, положение которых фиксируется с одной стороны распорами, а с другой — мощными пружинами 2 с регулируемым на-тягом. Требуемый размер щели между валками устанавливается передвижением подшипников 12. Пружины предохраняют дробилку от разрушения при попадании в нее недробимых тел.

Дробилка приводится во вращение посредством электродвигателя через приводной вал 10 и редуктор 9. Ведомый валок получает вращение навстречу ведущему от пары одинаковых зубчатых колес 3. На предприятиях применяют двухвалковую дробилку ДДЗ-4 и др.

**Дробилки ударного действия.** Дробилки ударного действия широко применяют для дробления угля, мела, извести и известняка средней твердости. Дробилки этого типа просты по конструкции, компактны, имеют небольшую массу, большую производительность и высокую степень измельчения. Однако ввиду повышенного износа молотков (или бил), замазывания ротора и колосниковой решетки требуют тщательного ухода.

По конструктивным признакам различают следующие типы дробилок: по количеству роторов — одно- и двухроторные; по способу

крепления молотков (била) — с жестко закрепленными молотками и шарнирно подвешенными молотками; по расположению молотков — однорядные (молотки располагаются в одном ряду) и многорядные (молотки подвешены на дисках ротора в несколько рядов).

В корпусе 2 двухроторной дробилки ударного действия (рис. 9) расположены два массивных ротора 8, вращающихся в противоположные стороны. Каждый ротор снабжен двумя билами 5. В кор-

пуске дробилки шарнирно подвешены две пары колосниковых решеток 9 и 12, положение которых можно менять, переставляя болт 11 в соответствующие отверстия 3 (верхние решетки) или регулируя штоки 6 (нижние решетки).

Чтобы предотвратить поломку нижних решеток при попадании между ними и ротором недробимых тел, отверстия в корпусе дробилки для осей 10 подвеса имеют продолговатую форму, а концы осей опираются на пружины 4. Штоки 6 опираются на пружины, расположенные в стаканах 7, и перемещаются при увеличении нагрузки на решетку 9.

В молотковых дробилках ударного действия ротор состоит из насаженных на вал от

другого дистанционными отверстиями в дисках проходят оси насаженных шарнирно молотков, которые при вращении вала измельчают материал.

Процесс дробления происходит следующим образом: исходный материал через загрузочное отверстие 1 попадает в зону A, где разбивается билами 5. Осколки материала с силой ударяются о верхнюю решетку 12 и дополнительно измельчаются. Мелкие куски проходят через отверстия решетки и выпадают наружу.

Более крупные куски снова попадают на била, а часть материала увлекается билами на нижние решетки 9, где вновь подвергаются дроблению. Оставшиеся на нижней решетке куски материала с большой силой сталкиваются в зоне B и снова измельчаются. Из двухроторных дробилок широко распространены С-616, С-599, из однороторных — дробилки крупного дробления СМД-85 (по ГОСТ 12375—70 ДРК 8×6) и дробилки среднего и мелкого дробления СМД-75 (по ГОСТ 12376—71 ДРС 10×10), из молотковых дробилок — СМ-431 (по ГОСТ 7090—72 М 8×6).

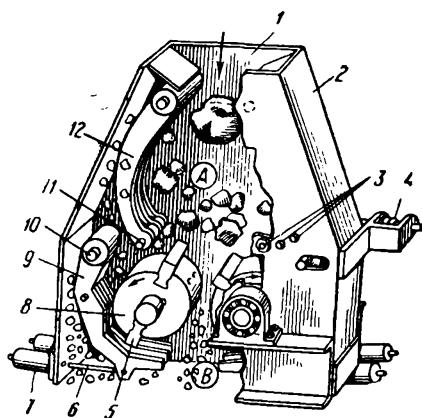


Рис. 9. Схема двухроторной дробилки ударного действия:

1 — загрузочное отверстие, 2 — корпус, 3 — регулировочные отверстия, 4 — пружина, 5 — била, 6 — шток, 7 — стакан, 8 — ротор, 9, 12 — колосниковые решетки, 10 — ось, 11 — болт; А и В — зоны измельчения

дельных дисков, отделенных один от другого, один шайбами. Через расположенные по окружности отверстия в дисках проходят оси насаженных шарнирно молотков, которые при вращении вала измельчают материал.

Процесс дробления происходит следующим образом: исходный материал через загрузочное отверстие 1 попадает в зону A, где разбивается билами 5. Осколки материала с силой ударяются о верхнюю решетку 12 и дополнительно измельчаются. Мелкие куски проходят через отверстия решетки и выпадают наружу.

Более крупные куски снова попадают на била, а часть материала увлекается билами на нижние решетки 9, где вновь подвергаются дроблению. Оставшиеся на нижней решетке куски материала с большой силой сталкиваются в зоне B и снова измельчаются. Из двухроторных дробилок широко распространены С-616, С-599, из однороторных — дробилки крупного дробления СМД-85 (по ГОСТ 12375—70 ДРК 8×6) и дробилки среднего и мелкого дробления СМД-75 (по ГОСТ 12376—71 ДРС 10×10), из молотковых дробилок — СМ-431 (по ГОСТ 7090—72 М 8×6).

Ширина приемного отверстия роторной дробилки СМД-75 равна 1000 мм, производительность 50—150 м<sup>3</sup>/ч, средний размер готового продукта 5—20 мм, степень дробления 32. Размер кусков загружаемого материала до 300 м. Дробилка отличается от других удобством обслуживания, лучшей формой зерен продукта и более высокими удельными показателями.

**Барабанные шаровые мельницы.** Барабанные шаровые мельницы (см. рис. 4, д) применяют для тонкого измельчения (размола) извести и известняка. Основной элемент мельницы — цилиндрический или конический барабан, бронированный изнутри плитами. Цилиндрические шаровые мельницы выпускаются различной длины, одно-, двух-, и многокамерными. Многокамерные мельницы называются трубными.

По способу помола различаются шаровые мельницы сухого и мокрого помола. При производстве извести применяют мельницы сухого помола.

Шаровые мельницы работают как по замкнутому циклу с сепаратором, так и по от-

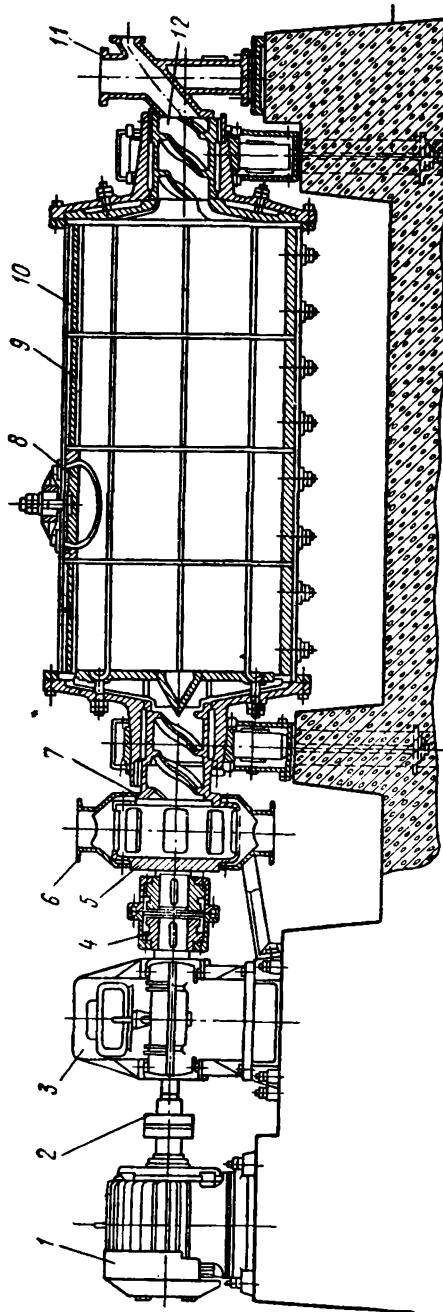


Рис. 10. Однокамерная шаровая мельница:  
1 — электродвигатель привода, 2 — муфта, 3 — муфта, 4 — редуктор, 5 — зубчатая муфта, 6 — цилиндрический патрубок, 7 — разгрузочный патрубок, 8 — барабан, 9 — загрузочный патрубок, 10 — футеровочные плиты, 11 — лож, 12 — загрузочный патрубок

крытыму циклу. По замкнутому циклу работают короткие однокамерные мельницы. Двух- и многокамерные шаровые мельницы дают более тонкий и однородный помол извести (известняка). Работают они без сепараторов, их производительность выше однокамерных.

*Однокамерная шаровая мельница* (рис. 10) работает следующим образом. Сухой материал через загрузочный патрубок 11 и цапфу 12 поступает в барабан 10. Внутренняя поверхность барабана и торцевых днищ футерована плитами 9 из марганцовистой стали. Поверхность футеровочных плит с целью повышения эффективности размола материала выполнена волнистой.

Барабан снабжен овальным люком 8, предназначенным для загрузки его мелющими телами. Размолотый в барабане материал через цапфу 7, разгрузочное устройство 6 и отверстия цилиндрического патрубка 5 выгружается из мельницы в виде готового продукта. Мельница приводится во вращение электродвигателем 1 через соединительную упругую муфту 2, редуктор 3 и соединительную зубчатую муфту 4.

В промышленности применяют однокамерные шаровые мельницы 1456 (МЦ 1,5×10,5) производительностью 6—7 т/ч, двухкамерные СММ 205.1 (МЦ 2×10,5) производительностью 10—12 т/ч и многокамерные СММ 207.1 (МЦ 2,6×13) производительностью 26 т/ч.

**Установка для измельчения и обогащения мелового сырья (болтушка)** (рис. 11) представляет собой цилиндрический бетонный резервуар 1 диаметром 6—12 м и высотой 2—6 м. В центре бассейна расположена цилиндрическая бетонная опора 4, в которой забетонирован чугунный стакан 5. В стакане неподвижно закреплена вертикальная стальная ось 6. Сверху на ось свободно посажена коническая ведомая шестерня 8, которая своей нижней частью (ступицей) опирается на подпятник 7, расположенный на торце стакана. К ступице шестерни прикреплена горизонтальная балочная рама 3, к которой подвешены на цепях две борона 2 со сменными стальными зубьями.

Приводной механизм болтушки состоит из ведущей шестерни 9, редуктора 11, электродвигателя 12 и смонтирован на стальном мосту 10, который установлен по диаметру бассейна. Ведущая шестерня привода находится в зацеплении с ведомой шестерней балочной рамы.

Дно и внутренние стенки резервуара облицованы чугунными плитами. В стенке резервуара расположено отверстие для выпуска шлама в сборный приемник. Выпускное отверстие закрыто защитной решеткой и ситом. Нижняя часть отверстия перекрыта порогом из деревянных брусьев. Изменяя высоту порога, можно менять уровень слива шлама из болтушки.

Болтушка работает следующим образом. Мел с карьерной влажностью 20—30% и размером кусков до 300 мм загружают питателем в заполненную водой болтушку. При вращении борон мел размешивается с водой, образуя шлам. Зубья борон дополнительно измельчают куски мела, ускоряя его размучивание. Мел равномерно перемешивается с водой, а твердые частицы (песок, галька) оседа-

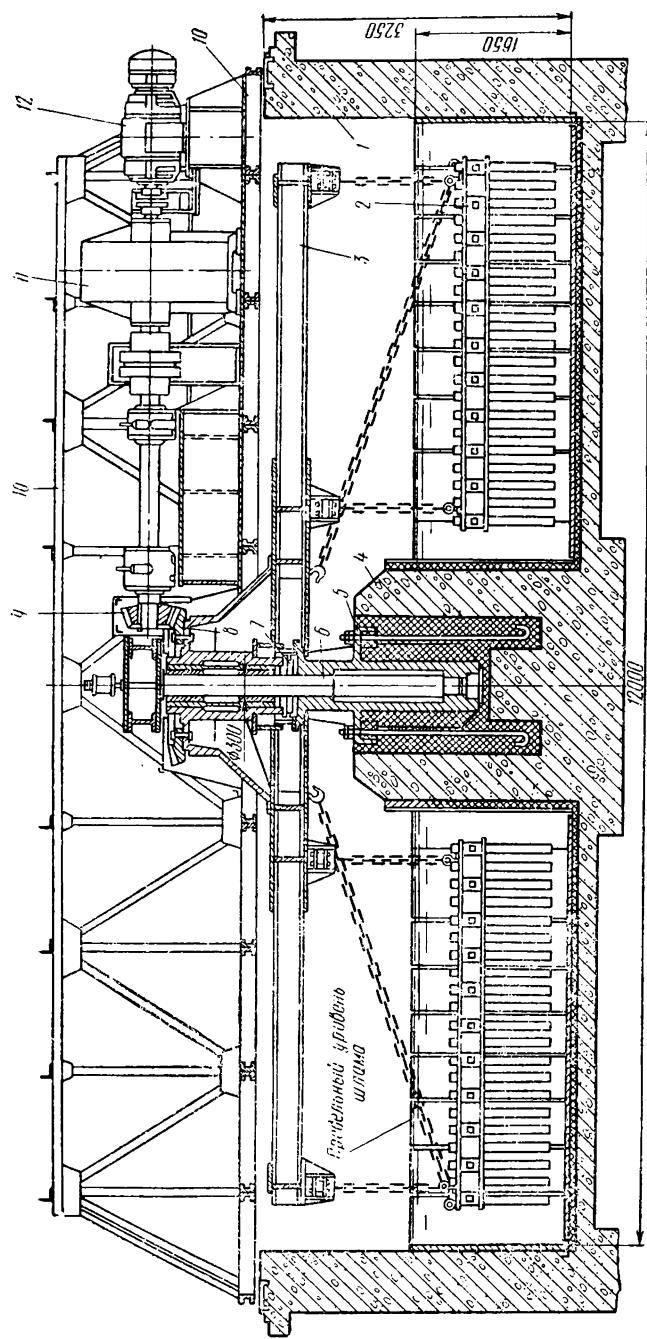


Рис. 11. Установка для измельчения и обогащения мелового сырья (болтушка):  
 1 — резервуар (бассейн), 2 — боронки, 3 — рама, 4 — опора, 5 — стакан, 6 — ось,  
 7 — подпятник, 8, 9 — шестерни, 10 — мост,  
 11 — редуктор, 12 — электродвигатель.

ют на дно резервуара. Шлам с частицами мела размером до 6 мм и влажностью 38—42% через выходное отверстие поступает в сборный приемник, откуда насосом по шламопроводу перекачивается в горизонтальные резервуары (бассейны) для гомогенизации.

#### Технические характеристики болтушек

Диаметр резервуара, м . . . . .	6	8	12
Производительность по мелу, м <sup>3</sup> /ч . . .	14—18	22—32	60—72
Мощность электродвигателя, кВт . . .	14	23	55

### Техническое обслуживание дробильно-размольного оборудования

Техническое обслуживание дробильно-размольного оборудования состоит в надзоре за исправностью дробилок, мельниц, болтушек, соблюдении паспортных данных при их загрузке, обеспечении правил при подготовке оборудования к пуску, при пуске и остановке.

Работа на оборудовании безопасна, если обслуживающий персонал строго соблюдает правила техники безопасности. Нарушение правил безопасности может привести к травме, поэтому к работе на дробильно-размольном оборудовании допускаются рабочие, хорошо знающие его устройство и правила работы.

При подготовке дробилки к пуску дробильщик проверяет все ее болтовые крепления, состояние узлов, деталей и смазку. При этом убеждается, что ремни привода натянуты, дробящие броневые плиты закреплены и не имеют трещин. Затем осматривают состояние и наличие ограждений загрузочного отверстия дробилки и всех вращающихся частей. Проверяют состояние пусковой аппаратуры привода и наличие заземления у электродвигателей. Убеждаются в исправности сигнальных устройств и наличии необходимого освещения рабочих мест.

Проверяют также исправность и герметичность аспирации пылящих участков технологической линии. При этом у шековых дробилок дробильщик внимательно осматривает затяжку болтов коренных подшипников дебалансового вала. У дробилок с простым качанием щеки контролируют прочность затяжки шатунных болтов.

Дробящие броневые плиты должны быть не сильно изношены и прочно закреплены. Дробильщик проверяет затяжку пружины тяги. Затяжка считается нормальной, если пружина затянута на 20—30% от свободной длины. При слабой затяжке пружины у работающей дробилки возникает стук в местах соединения распорных плит с деталями. Сильная затяжка пружины может привести к поломке крепления тяги. Проверяет размер разгрузочной щели. Регулирует размер щели с помощью регулировочных болтов, перемещающих клинья.

У валковых дробилок дробильщик осматривает дробящую броню, валки и дробящие зубья. Проверяет, не перекошены ли подшипники подвижного валка и достаточно ли натянуты предохранительные пружины. Проверяют размер щели между валками. При необходимости размер щели регулируют с помощью распорок и натяга пружин.

У молотковых дробилок дробильщик обращает особое внимание на герметичность уплотнений. Проверяет величину зазора между билами и колосниками, зазор между колосниками, степень изношенности молотков или бил. Зазор между билами и колосниками допускается в пределах 3—5 мм.

Перед пуском дробилки дробильщик проверяет, чтобы возле механизмов не было людей, после этого дает предупредительный сигнал и только затем нажатием кнопки «Дробилка» включает приводной электродвигатель.

Дробилки всех типов обычно загружаются питателем. При ручной загрузке над загрузочной воронкой дробилки устанавливают металлическую решетку. Питатель и устройства, транспортирующие материал, пускают после пуска дробилки, дав перед этим предупредительный сигнал.

Перед остановкой молотковой дробилки дробильщик прекращает подачу в нее материала. После полной выработки в дробилке материала он останавливает ее, нажав на кнопку «Стоп».

Перед пуском мельницы мельник проверяет исправность питателя и контрольного сита, цапфовых подшипников, зацепления венцовой и подвенцовой шестерен, состояние уплотнений и ограждающих устройств. Осматривает питатели, конвейеры, элеваторы, аспирационные устройства. Затем проверяет маслосистему и систему охлаждения подшипников, которые включает в работу перед пуском мельницы.

Пуск мельницы мельник начинает с подачи звукового сигнала, после чего включает вспомогательный привод. После поворота мельницы на один оборот он включает главный привод и затем оборудование для питания.

При эксплуатации мельниц не следует допускать их недогруза мелющими телами, так как при этом возникает сильный шум от стука мелющих тел о стенки. Легкое постукивание мелющих тел свидетельствует о том, что мельница работает нормально и правильно загружена.

Следует периодически проверять исправность футеровки барабана, его межкамерных перегородок и выходной решетки, а также состояние болтового крепления броневых плит к корпусу барабана и износ броневых плит по толщине.

Быстроходные мельницы обслуживаются так же, как молотковые дробилки.

Перед пуском болтушки рабочий проверяет отсутствие посторонних предметов в бассейне, исправность привода, борон, зубьев и других механизмов, наличие смазочного материала в смазочной системе, звуковую и световую сигнализации, ограждения. Пуск болтушки рабочий начинает с подачи предупредительного звукового сигнала; после небольшой выдержки включает привод балочной рамы.

В процессе эксплуатации болтушки рабочий контролирует равномерность подачи в нее воды и мела, уровень шлама в бассейне, влажность шлама, качество загружаемого сырья, подачу пара (зи-

мой) для подогрева шлама, уровень слоя гальки и песка в бассейне (не более 0,4 м). В установленные сроки рабочий очищает бассейн от гальки и песка. При остановке болтушки вначале прекращают подачу в нее мела и воды, затем разгружают от шлама.

При работе дробилки, мельницы, болтушки обслуживающий персонал следит за работой машины и транспортирующих устройств. При этом необходимо, чтобы одежда рабочих плотно облегала тело, а волосы были убраны под головной убор.

Поправлять камни на конвейере или в зеве дробилки разрешается только при полной остановке машин (механизмов) с помощью металлического лома или крюка.

Очищают бассейн от гальки и песка механическим способом с помощью подъемных устройств.

При работающей дробилке, мельнице, болтушке нельзя производить ее чистку, смазку, мелкий ремонт, исправлять защитные ограждения. Эти работы выполняют при полной остановке оборудования и транспортных устройств. На пусковых кнопках должны быть вывешены плакаты «Не включать». При остановке оборудования на длительный ремонт электромонтер должен вынуть из пусковой аппаратуры плавкие вставки.

Выполняя работу, рабочие пользуются спецодеждой; на участках с большой запыленностью применяют респираторы, марлевые повязки и защитные очки. Чтобы предотвратить ожоги кожи лица и рук известью, перед началом работы рабочим рекомендуется смастить открытые части тела тонким слоем вазелина.

## § 13. СОРТИРОВКА И СЕПАРАЦИЯ

### Общие сведения о сортировке материалов

На многих участках известкового производства материал сортируют по размеру зерен (кусков). Разделение материалов производится механическим способом, который наиболее широко применяют, и воздушным.

*Механический способ сортировки, или грохочение, применяют перед дроблением, а также в промежутке между первичной или вторичной стадиями дробления. Грохочение выполняется грохотами — сортировочными машинами, снабженными поверхностями грохочения. Используют три вида поверхностей грохочения: параллельные колосники, листы со штампованными или просверленными отверстиями (решета) и проволочные плетеные ткани (сетки или сите). В последнее время наряду с металлическими ситами начинают внедрять более стойкие резиновые и капроновые сетки.*

Количество получаемых при грохочении фракций материала определяется числом применяемых сит, а размер кусков каждой фракции — размером отверстий соответствующих сит.

Эффективность сортировки материала грохотами оценивается коэффициентом качества грохочения, равным отношению количества кусков (частиц) материала, размер которых несколько меньше

размера отверстий в сите, к фактическому количеству кусков этого класса в исходном материале. Коэффициент качества грохочения зависит от размера отверстий сита в свету и их формы, угла наклона грохота, скорости продвижения по нему материала, влажности материала, количества глинистых примесей.

*Воздушная сепарация* применяется для отделения готового продукта от общего потока. Способ основан на выделении частиц материала определенного размера под действием силы тяжести из вертикального или горизонтального потока или под влиянием центробежной силы из криволинейного потока. Аппараты, в которых осуществляется сортировка этим способом, называются воздушными сепараторами. Работа сепараторов характеризуется коэффициентом полезного действия, представляющим собой отношение количества готового продукта к общему количеству пыли, поступившей в сепаратор.

### **Устройство и работа оборудования**

**Грохоты.** Грохоты по ГОСТ 5526—67 подразделяют на инерционные наклонные, самобалансные, гирационные. В зависимости от насыпной массы применяемого материала они подразделяются на три типа: легкие — для материала с насыпной массой до 1000 кг/м<sup>3</sup>, средние — до 1600 кг/м<sup>3</sup> и тяжелые — до 2500 кг/м<sup>3</sup>.

Инерционные наклонные грохоты (ГОСТ 10745—69) выпускают трех типов: тяжелые колосниковые грохоты (ГИТ), средние (ГИС) и легкие (ГИЛ).

Тяжелые колосниковые грохоты используют на дробильно-сортировочных фабриках для предварительного грохочения материала перед подачей его в дробилку первичного дробления.

Грохот ГИТ-41 (СМ-690) представляет собой установленный на фундамент с помощью пружинных опор вибрирующий короб. На установленном наклонно коробе клиньями укреплены колосники, на которых материал разделяется. Вибрация короба происходит вследствие вращения дебалансного вала, приводимого в движение через клиноременную передачу электродвигателем. В процессе работы вал получает круговые колебания в вертикальной плоскости.

Грохот имеет поверхность грохочения размером 1500×3000 мм; один ярус колосников; угол наклона к горизонту до 30°. Для грохочения поступают куски размером до 1000 мм. Мощность электродвигателя — 13 кВт.

Средние инерционные грохоты ГИС-52(С-785) и ГИС-42(С-784) предназначены для разделения крупнокускового материала на фракции. Грохоты этого типа в отличие от тяжелых подвешивают на тягах.

Грохот устанавливается под углом 25° к горизонту, оборудован двумя ярусами сит размером 1750×4500 мм, снабжен электродвигателем мощностью 10 кВт. Наибольший размер кусков, идущих на грохочение, 150 мм.

Легкие инерционные грохоты ГИЛ-52, ГИЛ-42, ГИЛ-32 применяют для разделения твердого топлива и извести. Грохот ГИЛ-32

выпускается в опорном и подвесном исполнении. Производительность грохота до  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ , размер сит  $1250 \times 2500 \text{ мм}$ , снабжен электродвигателем мощностью  $4 \text{ кВт}$  ( $n = 1450 \text{ об/мин}$ ). Максимальный размер сортируемых кусков —  $100 \text{ мм}$ .

**Самобалансные грохоты ГСС (ГОСТ 15103—69)** выпускают трех типов: легкие, средние и тяжелые. В машинах этого типа (рис. 12) используют двухвальный вибратор 5 с врачающимися в противоположные стороны дебалансами. Вибратор грохота

состоит из двух врачающихся навстречу один другому валов, снабженных дебалансами, и прикреплен к коробу 3 болтами. Короб соединен с рамой 1 пружинами 2. Валы расположены в плоскости, составляющей с горизонтом  $55^\circ$  и приводятся во вращение от электродвигателя 4. На ведущем валу имеется приводной шкив. При вращении валов неуравновешенные массы (дебалансы) создают

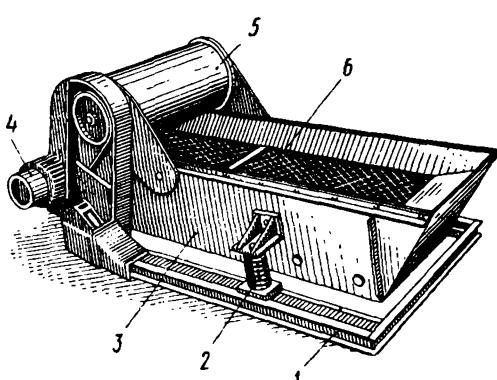


Рис. 12. Самобалансный грохот:  
1 — рама, 2 — пружина, 3 — короб, 4 — электродвигатель, 5 — вибратор, 6 — сито

инерционные силы с равнодействующей, направленной под углом  $35^\circ$  к горизонту. Направленные колебания короба 3 грохота передаются посредством сита 6 материалу, который подбрасывается и толчками продвигается вперед, проваливаясь при движении сквозь отверстия сита.

Выпускаемые серийно виброгрохоты ГСС-22 и ГСС-32 предназначены для получения трех фракций сортируемого материала. Грохоты могут устанавливаться на опоры или подвешиваться на стальных канатах за неподвижную раму.

Грохот ГСС-22(С-861) имеет следующую характеристику: размер сортируемого материала — до  $100 \text{ мм}$ , размер просеивающих сит —  $1000 \times 2500 \text{ мм}$ , мощность электродвигателя —  $5,5 \text{ кВт}$ , масса грохота —  $1,94 \text{ т}$ .

**Гириационные грохоты (ГГТ и ГГС)** характеризуются круговыми колебаниями сит, вызываемыми эксцентрикитетом (смещением) приводного вала.

Гириационный (эксцентриковый) грохот (рис. 13) состоит из неподвижной рамы 3, на которой расположены два подшипника 8 и 10 с вращающимися в них дебалансным валом 9. На шейках вала подвешен подвижный короб 2 грохота. Короб выполнен из листовой и угловой стали. В коробе натянуты одно под другим сита 1, причем верхнее сито имеет крупные ячейки, а нижнее — более мелкие. Между подшипниками на валу укреплены маховики 7 с противовесами,

служащими для уравновешивания инерционных сил короба. Рама 3 подвешена на пружинах 11. Дебалансный вал приводится во вращение от электродвигателя 5 через ременную передачу 4, 6. При вращении вала короб грохота совершает круговые колебания в вертикальной плоскости, сильно встряхивая и просеивая материал, сползающий по ситам.

Грохоты ГГТ-42(СМ-572) и ГГС-42(СМ-652А) изготавливают с ситами размером 1500×3750 мм. Число ярусов сит — 2. Мощность

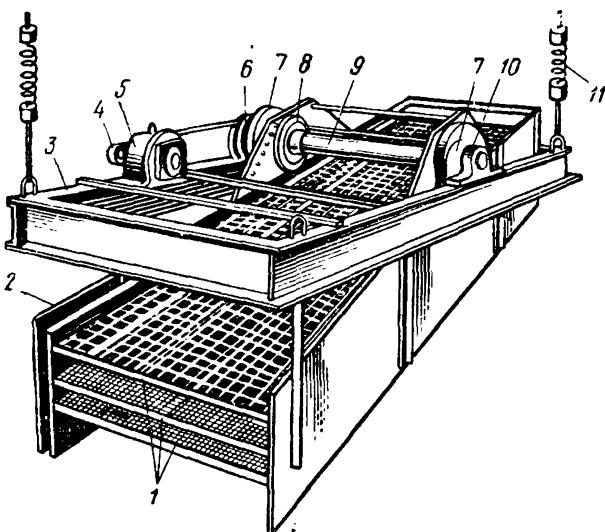


Рис. 13. Гириационный (эксцентриковый) грохот:  
1 — сита, 2 — короб, 3 — неподвижная рама, 4, 6 — ременная передача, 5 — электродвигатель, 7 — маховики, 8, 10 — подшипники, 9 — вал, 11 — амортизационные пружины

электродвигателя первого грохота — 14 кВт, второго — 10 кВт. Максимальный размер кусков загружаемого в грохоты материала составляет соответственно 400 и 150 мм.

**Воздушные сепараторы (классификаторы).** Эти механизмы подразделяются на два основных типа: воздушно-проходные и механические. В воздушно-проходных классификаторах воздушный поток создается вентилятором, расположенным вне сепаратора. В механических классификаторах внутри аппарата установлен вентилятор, который создает в нем замкнутый поток воздуха.

Из воздушных классификаторов первого типа наиболее широко применяют двухконусный воздушно-проходной сепаратор (рис. 14). Сепаратор состоит из наружного 2 и внутреннего 4 конусов, образующих наружную (кольцевую) 3 и внутреннюю 7 камеры. Нагнетаемый вентилятором воздушный поток, содержащий продукт помола, поступает в сепаратор по трубе 1 со скоростью 15—20 м/с. Попав в камеру 3, воздушный поток расши-

ряется, а его скорость падает до 4—6 м/с. При этом в камере 3 происходит выпадение из потока частиц, скорость взвешивания которых выше скорости потока в кольцевой камере.

Выпавшие частицы по патрубку 8 возвращаются в мельницу для повторного помола. Из камеры 3 поток поступает в камеру 7, проходя при этом через направляющий аппарат 5, который с помощью лопаток придает ему вращательное движение. Под действием инерционно-центробежных сил из потока вторично выделяются частицы материала. Осажденный продукт собирается в конусе 4 и по патрубку 8 направляется на домол. Тонкая фракция вместе с воздухом выносится из сепаратора через выходной патрубок 6 и поступает в циклоны на очистку.

КПД сепаратора регулируется положением лопаток направляющего аппарата и скоростью воздушного потока.

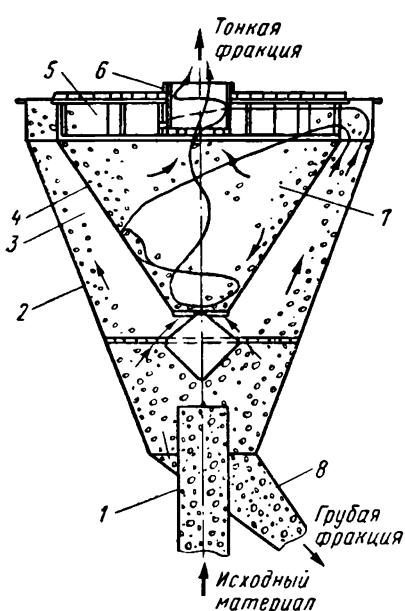


Рис. 14. Двухконусный воздушно-проходной сепаратор:

1 — входная труба, 2 — наружный конус, 3 — наружная камера, 4 — внутренний конус, 5 — направляющий аппарат, 6 — выходной патрубок, 7 — внутренняя камера, 8 — патрубок грубой фракции

### Техническое обслуживание грохотов и воздушных сепараторов

При подготовке к пуску грохотов их осматривают, убирают с машины посторонние предметы и очищают грохот от остатков материала; проверяют наличие смазочного материала в подшипниках, исправность колесников, решет ( сит); натяжение приводных ремней.

В самобалансных, дебалансных и инерционных грохотах проверяют состояние болтовых креплений, пружин и опор, осматривают, нет ли в корпусе трещин. Проверяют от руки вращение валов вибраторов, крепление сит, состояние подшипников вибратора и привода. Осматривают состояние ограждений движущихся и вращающихся частей и механизмов грохота.

У воздушных сепараторов контролируют герметичность люков и мест соединения патрубков с трубопроводами. У воздушно-проходных сепараторов проверяют состояние наружной вентиляторной установки.

Перед пуском грохота необходимо убедиться в отсутствии возле машин людей и нажатием кнопки «Пуск» включить его в работу. После этого включают транспортные механизмы, питающие грохот материалом.

При наличии автоматической блокировки машины и механизмы технологической линии включаются и выключаются автоматически в заранее установленной последовательности. В этом случае оператор пускает и останавливает технологическую линию с центрального пульта управления.

Перед пуском воздушного сепаратора включают вентилятор и после того, как установится необходимый аэродинамический режим, открывают входную заслонку и в сепаратор поступает запыленный поток.

Во время работы грохотов следят за подачей материала равномерным слоем по ширине сит; периодически проверяют нагрев подшипников, качество сортировки материала и отсутствие дребезжания грохота. При обнаружении какой-либо неисправности следует остановить машину и только после этого закрепить ослабевшие детали, удалить из машины посторонние предметы, пополнить смазочным материалом подшипники. Во время работы грохота нельзя чистить решетки или проталкивать застрявшие в них камни.

При работе воздушного сепаратора периодически проверяют тонну готового продукта. Если в сепараторе появился стук или шум, необходимо прекратить подачу в него материала и затем выключить вентилятор. Осматривать сепаратор и устранять неисправности механизмов можно только при полной его остановке и отключении от питающей материалом линии.

Перед остановкой грохотов и сепараторов прекращают подачу в них материала, а затем после полной разгрузки выключают электродвигатель привода (вентилятора).

#### § 14. МОКРОЕ ОБОГАЩЕНИЕ И ГОМОГЕНИЗАЦИЯ КАРБОНАТНОГО СЫРЬЯ

**Обогащение сырья.** Обогащение — это совокупность процессов первичной обработки сырья с целью отделения от полезной его части различного рода примесей и включений, а также улучшения его гранулометрического состава. В производстве извести в основном применяют сухие способы обогащения карбонатных пород — сортировку и сепарацию. В связи с значительными затратами мокрое обогащение сырья практически не использовалось.

Требования стандартов к качеству извести и сложность селективной (избирательной) добычи карбонатных пород на карьерах в некоторых случаях оправдывают промышленное применение мокрых способов обогащения — промывки и сепарации в тяжелых средах.

Промывка известняков и доломитов позволяет снизить содержание глинистых примесей с 15—10% до 5—3%. Для промывки используют грохоты, оборудованные устройствами для подачи воды, и корытные мойки.

**Корытная мойка** представляет собой установленное наклонно на стальной раме корыто, внутри которого навстречу один другому вращаются два вала с лопастями. Поверхности лопастей расположены под углом к оси валов, благодаря чему при вращении валов они поднимают куски материалов со дна корыта и перемещают их

**вверх.** Материал поступает в мойку со стороны опущенного конца, а выгружается со стороны приподнятого. Чистая вода с помощью брызгала вводится в мойку сверху и, двигаясь вниз навстречу кускам сырья, сливается через порог в трубу.

Производительность корытной мойки «Южгипроруда» составляет до 125 т/ч известняка размером до 100 мм. Размеры корыта, м: длина — 1,5, ширина — 2,39, высота — 1,84; угол наклона  $10^{\circ}$ . Частота вращения лопастных валов 15 об/мин. Мощность электродвигателя 735 кВт.

**Сепарация известняка в тяжелых средах** основана на разделении материала под действием силы тяжести в результате различной объемной массы известняка и примесей.

Известняк фракции 50—110 мм с примесями кварца, опала, серпентина и гранита загружается в цилиндро-конический сепаратор диаметром 1,3—1,5 м. Сепаратор наполнен до половины водной суспензией тонко измельченного ферросилиция. При перемешивании массы известняк концентрируется в середине слоя, а примеси всплывают и по сливной трубе попадают в отходы. Чтобы улучшить отделение примесей, сепаратор продувается снизу воздухом. Около 95% суспензии после сгущения вновь используют в сепараторе.

Сепарация в тяжелых средах позволяет получить высококачественное сырье для производства извести из загрязненных карбонатных пород. Например, известняк с содержанием  $\text{SiO}_2$  в пределах 0,5—1% и  $\text{R}_2\text{O}_3$  менее 1% получен при обогащении в тяжелой суспензии из сырья, в котором содержалось от 3 до 15%  $\text{SiO}_2$  и выше 2%  $\text{R}_2\text{O}_3$ .

**Гомогенизация сырья.** Гомогенизация (усреднение) сырья производится на стадии первичной подготовки сырья на специальных усреднительных складах кусковых материалов и приготовления шлама.

**Усреднительный склад** кусковых материалов по конструкции аналогичен обычному складу. Отличие состоит в режиме работы складского оборудования. Механизмы, с помощью которых загружают склад (мостовые и грейферные краны, бульдозеры, мостовые перегружатели), должны работать в челночном режиме и обеспечивать послойную укладку материала в штабель, а механизмы, разгружающие склад, должны отбирать материал по высоте штабеля. При этом химический состав и количество примесей в сырье выравниваются.

На заводах мокрого способа обжига мелового сырья его гомогенизация производится в горизонтальных шламовых бассейнах.

**Круглые горизонтальные шламовые бассейны** диаметром 25, 35, 50 м вместимостью соответственно 3 500, 8 000, 20 000 м<sup>3</sup> шлама оборудуют пневмомеханическими мешалками.

Планетарная пневмомеханическая мешалка диаметром 35 м (рис. 15) состоит из горизонтального моста 5, лопастных мешалок 7, решетки 12 с граблями 13, электроприводов 4 моста и мешалок 6. Мост 5 одним концом опирается на центральную опору 11 бассейна 1, а другим посредством двух скатов 3 — на однорельсовый путь 2. Один из скатов снабжен электроприводом 4, с помощью ко-

торого мост вращается с частотой 15 об/ч вокруг оси бассейна (опоры 11). Мост мешалки оборудован четырьмя лопастными мешалками 7, каждая из которых приводится во вращение электроприводом 6 с частотой 4,8 об/мин. К мосту пятью кронштейнами 9 прикреплена решетка 12 с граблями 13, представляющими собой стальные пластины, которые установлены под углом к радиусу бассейна.

При вращении моста и лопастных мешалок шлам интенсивно перемешивается в горизонтальной плоскости. Чтобы улучшить пере-

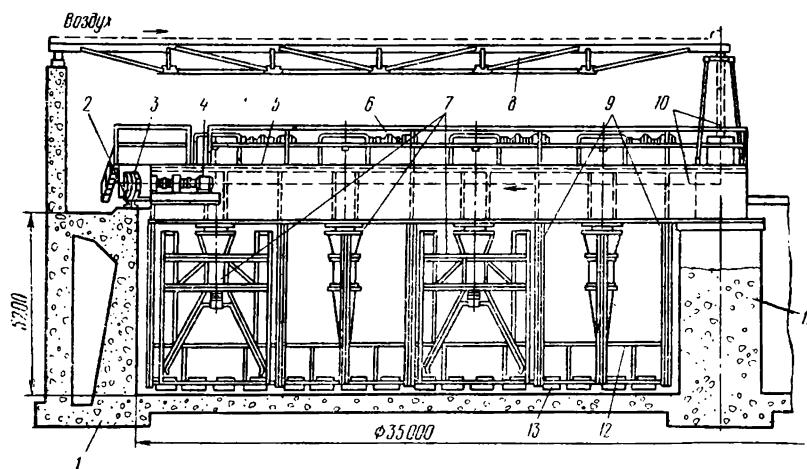


Рис. 15. Планетарная пневмомеханическая мешалка:

1 — шламовый бассейн, 2 — однорельсовый путь, 3 — скаты моста, 4 — электропривод моста, 5 — мост мешалки, 6 — электроприводы мешалок, 7 — мешалки, 8 — мост воздухопровода, 9 — кронштейны, 10 — воздухопроводы, 11 — центральная опора бассейна, 12 — решетка, 13 — грабли

мешивание шлама в вертикальной плоскости, в бассейн по воздухопроводу 10 и полым осям мешалок подводится сжатый воздух. Расход воздуха составляет 0,05 м<sup>3</sup>/с на 1000 м<sup>3</sup> шлама.

**Техническое обслуживание оборудования.** При подготовке к пуску корытной мойки, сепаратора, планетарной пневмомеханической мешалки шламового бассейна необходимо убедиться в отсутствии посторонних предметов в рабочей емкости установки; проверить плотность закрытия люков, задвижек, кранов на воздуховодах, водопроводах, шламопроводах. Затем следует включить подачу в установку воздуха (воды в корытную мойку) и отрегулировать его поступление через все отверстия в рабочую емкость.

При эксплуатации корытной мойки следят за количеством поступающего материала и воды, напором воды в магистрали, толщиной слоя материала в мойке, температурой нагрева редуктора привода и подшипников.

При эксплуатации планетарной пневмомеханической мешалки контролируют давление воздуха в магистрали, температуру шлама

(не ниже 5° С), температуру редукторов и подшипников. Проверяют герметичность труб и шлангов, правильность намотки шланга на барабан крановой мешалки.

Механизмы оборудования должны быть блокированы таким образом, чтобы при включении оборудования первыми включались механизмы в конце технологической линии, а при выключении, наоборот. Перед остановкой оборудования вначале прекращают поставку в него материала, а затем после выхода материала из установки нажимают кнопку «Стоп».

При работе оборудования не разрешается в корытной мойке проталкивать штангами застрявший материал, спускаться в шламовый бассейн, открывать люки сепараторов. Мелкие неисправности в работе оборудования устраняют только при его остановке и отключении от электрической сети.

## § 15. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ДОЗИРОВАНИЕ

**Устройство и работа оборудования.** Для транспортирования и дозирования известняка, мела, извести, каменного угля, шлама применяют машины непрерывного и периодического транспорта. Машины непрерывного транспорта предназначены для перемещения материалов и штучных грузов непрерывным потоком на сравнительно большие расстояния (до 2 км) по определенной траектории. Машины периодического транспорта служат для перемещения материалов определенными порциями-дозами на коротком участке пути и называются дозаторами или питателями.

К машинам непрерывного транспорта относятся: ленточные, пластиначатые, ковшовые, винтовые конвейеры и пневмовинтовые и центробежные насосы.

Ленточные конвейеры применяют для непрерывного перемещения крупно- и мелкокускового известняка, мела и каменного угля. Ленточный конвейер (рис. 16, а, б) состоит из ленты 2, нижних 4 и верхних 3 рабочих (несущих материал) роликовых опор, приводного механизма, натяжного устройства 1, рамы, барабанов 6 и 8, загрузочного устройства 7.

Ленты бывают прорезиненные и стальные. Прорезиненные ленты выпускают шириной от 300 до 2000 мм. Стандартные ленты работают надежно лишь при температурах от -25 до +50° С. По специальному заказу изготавливают ленты для работы при температуре до 100° С. Стальные ленты выпускают шириной 400—600 мм, их применяют при температуре от 120 до 350° С.

Установленные на стальной сварной станине рабочие опоры 3 для прорезиненной ленты бывают однороликовые при плоской ленте, двух- и трехроликовые при желобчатой ленте. Холостые опоры 4 делаю прямymi (рис. 16, в, г). Ролики изготавливают из стальных труб и устанавливают в подшипниках. Плоские роликовые опоры для стальной ленты выполняют в виде дисков, насыженных на врашающуюся ось.

Барабаны ленточных конвейеров выполняют натяжные, приводные, оборотные и отклоняющие функции. Приводной барабан 6 соединен с электродвигателем посредством редуктора, зубчатых или ременных передач. Он передает движение ленте за счет сил сцепления между ними. Чтобы увеличить силы сцепления, на приводной

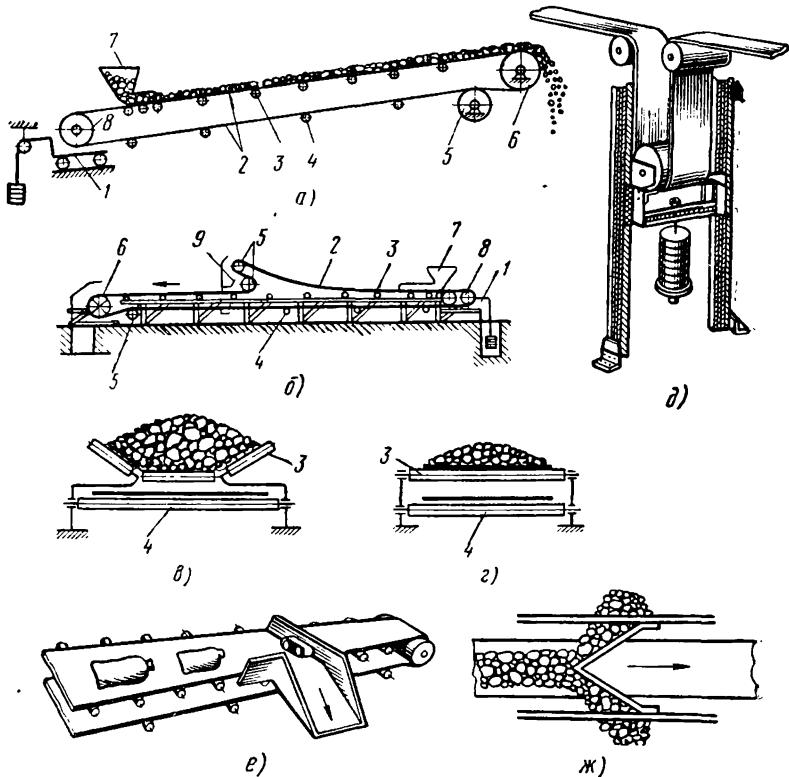


Рис. 16. Ленточные конвейеры:

*a — с грузовым горизонтальным натяжным механизмом и с разгрузкой через головной барабан, б — с грузовым горизонтальным натяжным механизмом и с разгрузочной тележкой, в — желобчатая роликовая опора, г — прямая роликовая опора, д — грузовой вертикальный натяжной механизм, е — плужковый односторонний сбрасыватель, ж — плужковый двусторонний сбрасыватель; 1 — натяжное устройство, 2 — лента, 3, 4 — верхние и нижние роликовые опоры, 5 — натяжные барабаны, 6 — головной и хвостовой барабаны, 7 — загрузочное устройство (воронка), 9 — разгрузочная тележка*

барабан часто наклеивают резиновую ленту. Хвостовой барабан 8 соединен с натяжным устройством 1 и поэтому называется натяжным.

Натяжные устройства в зависимости от длины конвейеров применяют грузовые (рис. 16, д) и винтовые. Грузовые используют для конвейеров, длина которых превышает 50 м. Грузовые натяжные устройства бывают горизонтальные, размещаемые в конце конвейера (см. рис. 16, а и б), и вертикальные (см. рис. 16, д). Усилие

натяжения ленты винтового устройства регулируется натяжными винтами, перемещающими подшипники натяжного барабана.

Ленту можно загружать в любой точке конвейера с помощью стационарной или передвижной воронки 7, снабженной загрузочным лотком. Разгружают ленту плужковыми сбрасывателями либо с концевого барабана. Плужковый сбрасыватель (рис. 16, е, ж) представляет собой одно- или двухсторонний деревянный щит, нижняя часть которого обычно снабжена резиновой полосой. Щит выполняется подъемным для пропуска материала после прекращения разгрузки.

Угол наклона ленточных конвейеров для большинства применяемых материалов составляет 18—23°. Скорость движения ленты зависит от ее ширины и обычно устанавливается в пределах 1,5—2 м/с.

Натяжные и приводные барабаны конвейеров ограждаются таким образом, чтобы лента закрывалась на расстоянии не менее 1 м от барабана.

Пластинчатые конвейеры служат для перемещения горячей ( $80$ — $160^{\circ}\text{C}$ ) комовой извести от выгрузочных устройств печей до приемных воронок дробилок или бункеров. Пластинчатые конвейеры позволяют подавать материал под углом до 30°.

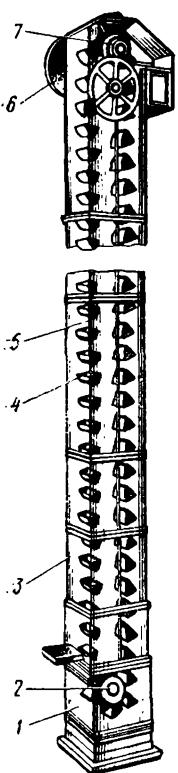
В пластинчатом конвейере применена пластинчатая лента в виде стальных звеньев, соединенных посредством стальных пальцев, на которых свободно вращаются ролики. Верхнюю рабочую и нижнюю холостую ветви пластинчатого конвейера поддерживают ролики, которые катятся по верхним и нижним направляющим металлической рамы.

Ковшовые конвейеры (элеваторы) предназначены для перемещения мелкокусковых и порошкообразных материалов под большим углом к горизонту или вертикально. Тяговым органом элеватора служит бесконечная лента или цепь с жестко закрепленными на ней ковшами.

Вертикальный ковшовый конвейер (рис. 17) состоит из кожуха 3, головки 6, башмака 1, бесконечной цепи 5 с ковшами 4. В головке расположена приводная звездочка 7 и приводное устройство. В башмаке находятся натяжная нижняя звездочка 2 и натяжной механизм.

Конвейеры бывают одно- или двухцепные. Бесконечная цепь с ковшами огибает верхнюю и нижнюю звездочки, транспортируя материал. В нижнем положении ковши зачерпывают материал, а проходя по верхней звездочке, поворачиваются и высывают материал в наклонную течку.

Рис. 17. Вертикальный ковшовый конвейер:  
1 — башмак, 2 — натяжная звездочка,  
3 — кожух, 4 — ковш,  
5 — цепь, 6 — головка элеватора,  
7 — приводная звездочка



Ковши обычно сварные или штампованные выполняются глубокими при транспортировании сухих мелкозернистых и пылевидных материалов (мел, известь, песок), мелкими (для влажных) и чешуйчатыми (для кусковых). Расстояние между ковшами составляет от 330 до 530 мм. Скорость движения цепных конвейеров устанавливается в пределах 1—1,25 м/с. Производительность ленточного конвейера ЛГ-200 составляет до 14 т/ч, цепного ЦГ-200 — до 20 т/ч.

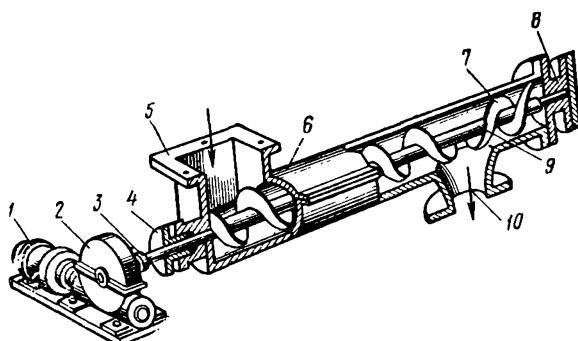


Рис. 18. Винтовой конвейер:  
1 — электродвигатель, 2 — редуктор, 3 — муфта, 4, 8 — подшипники, 5 — загрузочная воронка, 6 — корпус, 7 — лопасти, 9 — вал, 10 — разгрузочный люк (патрубок)

Винтовые конвейеры (рис. 18) предназначены для транспортирования сухих мелкозернистых и пылевидных материалов — извести, известняковой пыли. Конвейер состоит из корпуса 6 (или желоба с герметично закрывающейся крышкой) и вала 9 с винтовыми лопастями 7. Материал поступает в конвейер через загрузочную воронку 5 и лопастями вращающегося вала перемещается к разгрузочному люку 10. Вал закреплен в торцовых подшипниках 4 и 8 и приводится во вращение электродвигателем 1 через редуктор 2 и муфту 3. Длина винтовых конвейеров достигает 40 м, а диаметр винтов — 400 мм. Частота вращения валов конвейера 40—80 об/мин.

Пневматические винтовые насосы (рис. 19) применяют в системах пневмотранспорта нагнетательного типа для перемещения молотой извести.

Насос работает следующим образом. Материал из бункера через загрузочную камеру 2 и створчатую заслонку 3 поступает в винтовой питатель, который снабжен винтом 4 с уменьшающимися в направлении движения материала шагом лопастей.

Благодаря большой частоте вращения и уменьшающемуся шагу винта материал перед клапаном 6 уплотняется и, преодолевая его сопротивление, продавливается винтом 4 в смесительную камеру 9. В смесительной камере материал подхватывается струей сжатого воздуха, выходящей из сопла воздушной камеры, и увлекается в виде аэросмеси в трубопровод. Когда прекращается подача в насос материала или перестанет вращаться винт питателя, клапан 6 за-

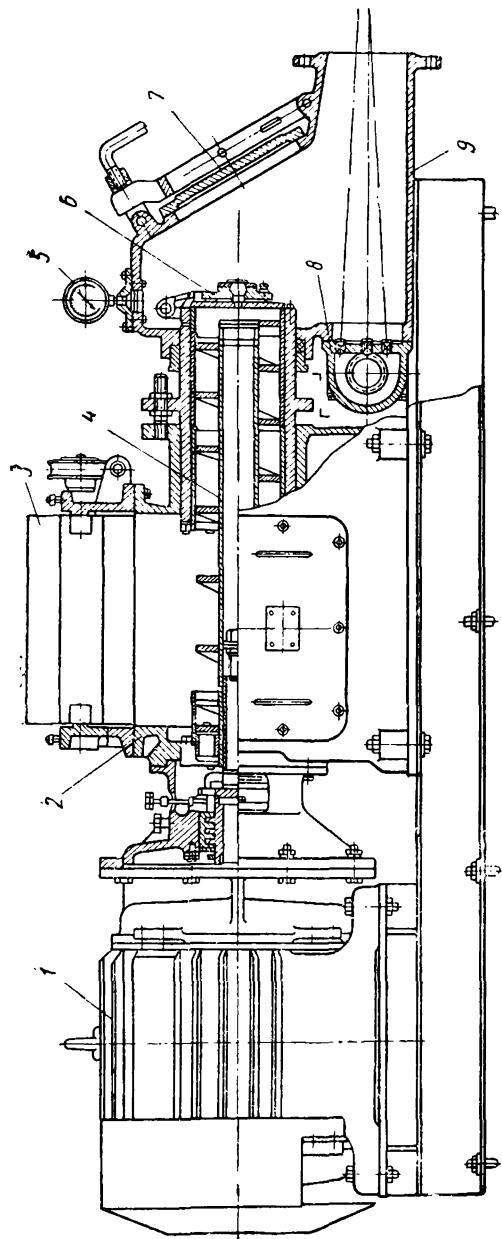


Рис. 19. Пневматический винтовой насос:  
1 — электродвигатель, 2 — загрузочная камера, 3 — створчатая заслонка, 4 — винт, 5 — манометр, 6 — клапан, 7 — съемный люк,  
8 — воздушная камера, 9 — смесительная камера.

крывается, преграждая путь воздуху из смесительной камеры в насос.

Съемный люк 7 служит для доступа в смесительную камеру с целью ремонта винта и клапана. Количество подаваемого в насос материала регулируется створчатой заслонкой 3.

Стационарные пневмовинтовые насосы выпускают четырех типоразмеров: производительностью от 36 до 110 т/ч и длиной трасс трубопроводов 200 и 400 м. Характеристика насоса НПВ-36-4: производительность по цементу 36 т/ч, диаметр трубопровода 140 мм, избыточное давление воздуха перед насосом 0,4 МПа, расход сжатого воздуха 25 м<sup>3</sup>/мин, установленная мощность привода 75 кВт, масса — 2,25 т.

Шламовый центробежный насос, применяемый для подачи шлама из бассейнов во вращающиеся печи, состоит из спирального корпуса, по оси которого расположен всасывающий патрубок, а по касательной к окружности корпуса — нагнетательный патрубок. Внутри корпуса вращается рабочее колесо (турбина), частота вращения которого 1460 об/мин. Шлам по всасывающему патрубку поступает в насос, отбрасывается центробежной силой к периферии и под давлением 0,3—0,6 МПа через нагнетательный патрубок поступает в шламопровод. Шламовый насос 6ФШ-7 производительностью 200 м<sup>3</sup>/ч развивает напор 0,6 МПа.

К машинам периодического транспорта относятся пластинчатые, дисковые, электровибрационные, качающиеся ленточные, ковшовые питатели, скреповые подъемники, камерные насосы.

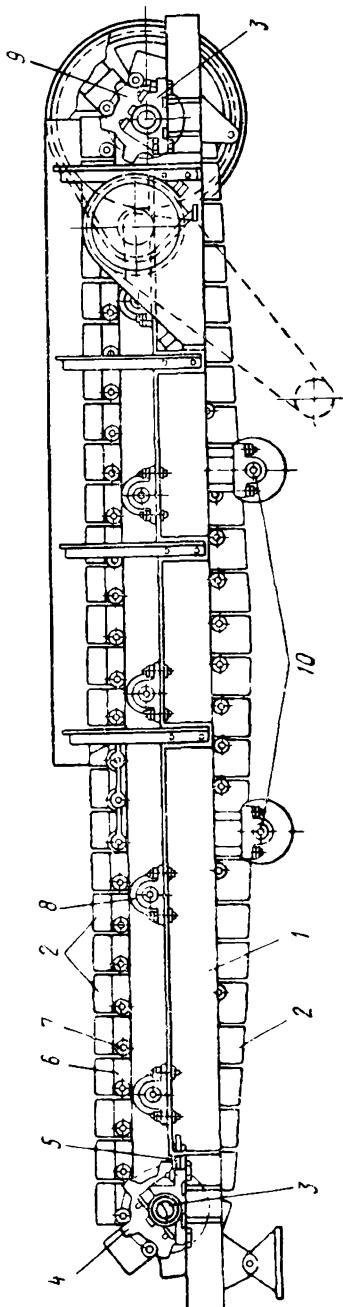


Рис. 20. Пластинчатый питатель:  
1 — рама, 2 — пластинчатая лента, 3 — роликовые опоры, 4 — натяжная и приводная звездочки, 5 — регулировочный винт, 6 — эпюно, 7 — крышка, 8 — боковая панель, 9 — подшипник, 10 — роликовые опоры

Пластинчатые питатели применяют для питания дробилок первичного дробления крупными и тяжелыми материалами. По ГОСТ 7424—71 выпускаются питатели тяжелого, среднего и легкого типа. На предприятиях известковой промышленности используют питатели среднего типа.

Пластинчатый питатель (рис. 20) состоит из рамы 1 с укрепленными на ней подшипниками 3, в которых вращаются валы приводных 9 и натяжных 4 звездочек, пластинчатой ленты 2 и привода.

Пластинчатая непрерывная лента состоит из сварных звеньев 6, соединенных между собой пальцами, на концы которых надеты ролики 7. Электродвигатель через клиноременную передачу и редуктор вращает приводной вал, а приводные звездочки, захватывая в свои владины ролики 7, перемещают ленту. Натяжение ленты можно регулировать двумя винтами 5, перемещающимися по раме подшипники натяжного вала.

Лента поддерживается верхними 8 и нижними 10 роликовыми опорами. К звеньям 6 приварены пластины, которые по ходу движения ленты перекрывают одна другую, предотвращая тем самым попадание мелочи в механизмы питателя.

Производительность пластинчатого питателя регулируется ступенчатым изменением скорости движения ленты. С этой целью в приводе переключаются шкивы различного диаметра.

Пластинчатые питатели длиной более 6 м устанавливают наклонно под углом 15°. Расстояние между входным отверстием бункера и лентой питателя должно превышать размер кусков материала не менее чем в два раза. В противном случае возможны заклинивание и поломка питателя.

Дисковые (тарельчатые) питатели предназначены для подачи мелкокусковых и зернистых материалов (известняк, известик, уголь) в дробильно-размольные машины, во вращающиеся печи и сушильные барабаны.

Питатель (рис. 21) состоит из опорной рамы, чугунного или стального диска 6, насаженного на вертикальный вал 7, загрузочной воронки 3, цилиндрического патрона 5 и приводного устройства. В раме укреплен опорный подшипник, в котором вращается вал 7. Диск приводится во вращение от электродвигателя через редуктор. С помощью винта 4 цилиндрический патрон может подниматься или опускаться над тарелкой, регулируя высоту слоя поступающего материала.

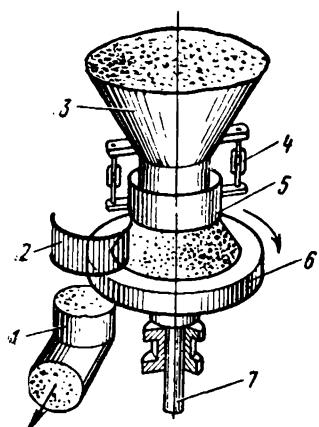


Рис. 21. Дисковый питатель:  
1 — течка, 2 — съемный нож,  
3 — загрузочная воронка, 4 —  
регулировочный винт, 5 — пат-  
рон, 6 — диск, 7 — вал

Нож 2, установленный у выходного отверстия питателя над тарелкой, срезает материал при вращении тарелки и направляет его в течку 1. Часть питателя, расположенная над тарелкой, с целью снижения пылевыделения заключена в герметичный кожух (на рисунке не показан).

Производительность питателя можно изменять, регулируя ножом толщину снимаемого слоя материала или изменяя высоту цилиндрического патрона. В известковом производстве применяют дисковые питатели производительностью от 1,5 до 15 м<sup>3</sup>/ч при диаметре диска от 0,5 до 1,3 м.

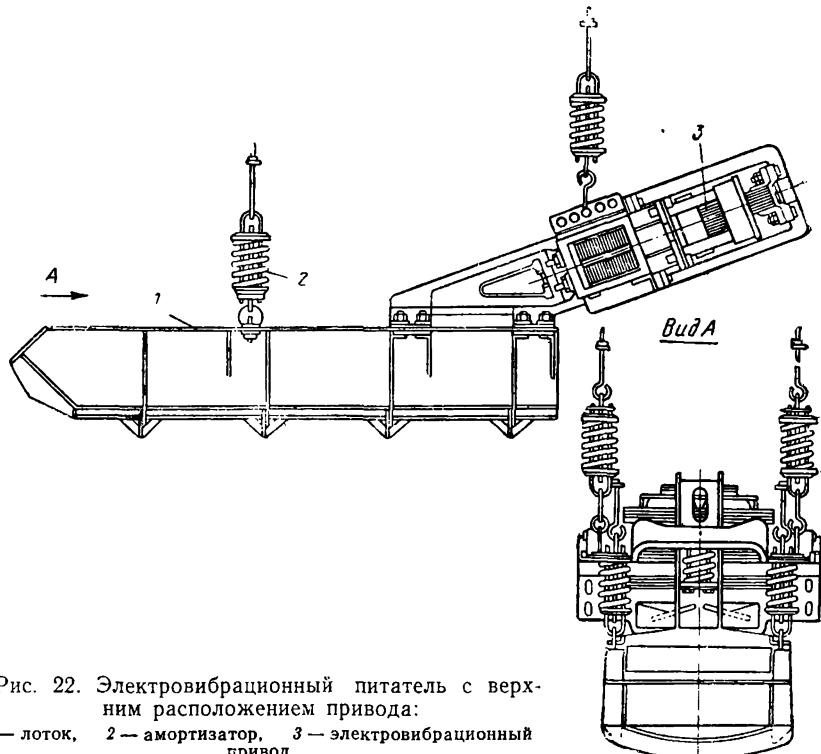


Рис. 22. Электровибрационный питатель с верхним расположением привода:  
1 — лоток, 2 — амортизатор, 3 — электровибрационный привод

Электровибрационные питатели предназначены для подачи кусковых (с максимальным размером кусков 150—400 мм) и зернистых сыпучих материалов. Эти питатели можно запускать под нагрузкой, поэтому их используют и в качестве бункерных затворов.

Электровибрационный питатель с верхним расположением привода (рис. 22) состоит из рабочего органа — лотка 1, амортизаторов 2, электровибрационного привода 3 и шкафа управления. В зависимости от длины питатель оборудуют одним или двумя приводами, которые устанавливают сверху или снизу под углом 20—30° к

транспортирующей поверхности лотка. Материал перемещается за счет возвратно-поступательных колебаний лотка, которые сообщаются ему от электрического вибратора через рессоры. Производительность питателя регулируется изменением величины тока возбуждения в электроприводе.

Питатели изготавливают с шириной лотка 0,5—1,5 м и длиной 1,6—4 м. Производительность питателей при насыпной массе материала 1,5—2 т/м<sup>3</sup> в пределах 50—650 т/ч. Мощность электровибрационного привода — 0,5—8 кВт.

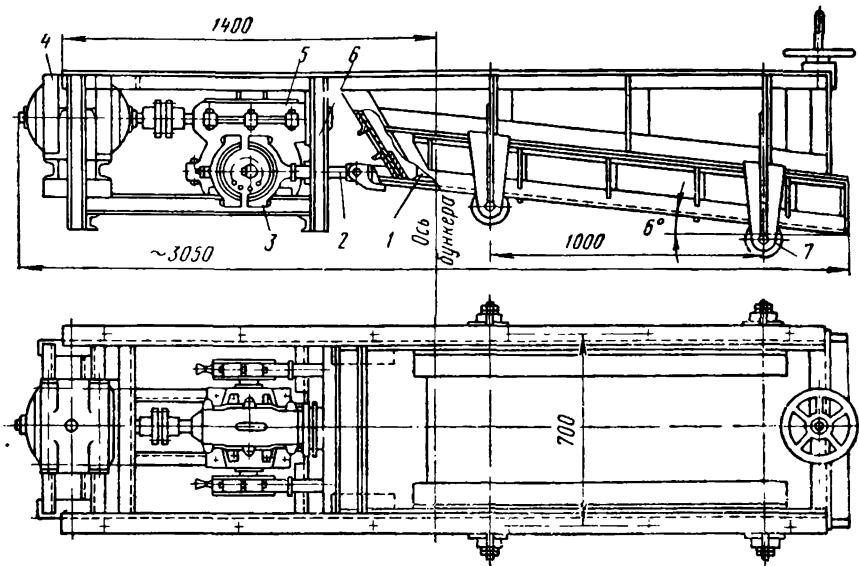


Рис. 23. Качающийся питатель:  
1 — наклонный лоток, 2 — шатун, 3 — дебаланс, 4 — электродвигатель, 5 — редуктор, 6 — рама, 7 — ролики

Качающиеся питатели (рис. 23) применяют для транспортирования как крупного, так и мелкого материала. Питатель состоит из рамы 6, подвешенного к ней подвижного лотка 1 и приводного механизма. Лоток опирается на ролики 7, которые прикреплены к раме с помощью подвесок. Приводной механизм состоит из электродвигателя 4, червячного редуктора 5, дебаланса 3 и шатуна 2. Совершая возвратно-поступательные движения, расположенный наклонно лоток перемещает материал к своему нижнему концу, откуда он поступает в технологическую линию.

Производительность качающихся питателей составляет от 4 до 55 м<sup>3</sup>/ч. Производительность питателя изменяют, регулируя величину хода лотка путем перестановки пальца шатуна в одно из четырех положений.

Производительность тяжелого питателя КТ-5 (ГОСТ 7010—75) при насыпной массе 2,6 т/м<sup>3</sup> — до 55 м<sup>3</sup>/ч, максимальный размер

кусков материала — до 150 мм, ширина лотка — 910 мм, длина — 2580 мм, ход лотка — 190 мм, число ходов в минуту — 36, мощность электродвигателя — 4 кВт.

Ленточные питатели (рис. 24) применяют при подаче мелкого материала. Ленточный питатель представляет собой короткий ленточный конвейер 1, снабженный приемной воронкой 4, приводным устройством и секторной заслонкой 5 для регулирования высоты слоя материала на ленте питателя. Приводное устройство питателя состоит из электродвигателя 3 и цепной передачи 2. Про-

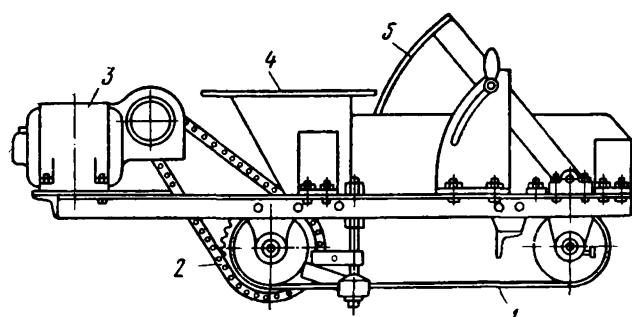


Рис. 24. Ленточный питатель:  
1 — ленточный конвейер, 2 — цепная передача, 3 — электродвигатель, 4 — приемная воронка, 5 — секторная заслонка

изводительность питателя изменяется с изменением высоты слоя материала и составляет от 3 до 15 т/ч при скорости движения ленты от 0,2 до 1 м/с. Ширина ленты обычно равна 400 мм.

Камерный насос представляет собой цилиндрическую камеру, в которую из бункера периодически загружается материал. После герметизации камеры загрузочным клапаном в нее под избыточным давлением 0,1—0,2 МПа подается сжатый воздух, который вытесняет материал из камеры через выгрузочную трубу в транспортный трубопровод. Преимущества камерных насосов — отсутствие вращающихся механизмов, простота и надежность эксплуатации и возможность транспортирования крупнозернистых материалов (до 12 мм).

Ковшовый питатель, служащий для подачи шлама во вращающуюся печь, представляет собой сварной металлический бак, внутри которого вращается колесо с укрепленными на нем черпаками. Колесо насажено на горизонтальный вал, вращающийся от электродвигателя постоянного тока. Бак заполняется меловым шламом до уровня, при котором черпаки захватывают шлам и переливают его на лоток, соединенный с питательной трубой печи. Производительность ковшового питателя ПШ-3 30—60 м<sup>3</sup>/ч, частота вращения колеса 5,3—10,3 об/мин, мощность электродвигателя привода 3,2 кВт.

**Техническое обслуживание оборудования.** Техническое обслуживание состоит в проверке состояния транспортного и дозирующего оборудования перед его включением в работу, пуске и остановке оборудования в соответствии с условиями ведения технологического режима.

Перед пуском проверяют, чтобы течки элеваторов и конвейеров, места сопряжения их с питающими устройствами, приемными механизмами и бункерами были тщательно уплотнены и подключены к аспирационной системе. Кожухи элеваторов, винтовых конвейеров и имеющиеся в них люки должны герметично закрываться и не пропускать пыль в рабочее помещение. Там, где герметизация невозможна, устанавливают вытяжные зонты, подключенные к системе аспирации.

Перед включением в работу *пластинчатых и ленточных конвейеров и питателей* проверяют состояние подшипников и осей приводных и натяжных валов, исправность звездочек, натяжение ленты и ее состояние (особенно в местах соединения). Проверяют легкость вращения зубчатой передачи и роликовых опор. Для проверки правильности хода ленты питатель пускают вхолостую. Если натяжение ленты недостаточно, то ее подтягивают равномерным поворотом обоих винтов натяжного устройства.

В дисковом питателе проверяют исправность тарелки, ее привода и состояние сбрасывающего ножа. В качающемся питателе проверяют состояние кривошипного вала, секторного затвора и питающего лотка. Проверяют наличие смазочного материала в подшипниках и врачающихся частях механизмов. Убеждаются в наличии ограждающих устройств у всех движущихся и врачающихся механизмов и частей машины.

Убедившись в отсутствии возле конвейера или питателя людей, нажатием кнопки «Пуск» его включают в работу. Во время работы транспортного и дозирующего оборудования необходимо следить за его исправностью и обеспечением необходимой производительности. При обнаружении у работающей машины неисправностей ее необходимо остановить и только после этого приступить к устранению неисправности.

Транспортное и дозирующее оборудование останавливают путем нажатия кнопки «Стоп» приводного устройства.

Перед пуском *ковшового конвейера* его башмак очищают от излишков материала, проверяют натяжение ленты (цепи) и наличие смазочного материала в механизмах. Проверяют натяжение ремней привода и состояние редуктора и муфты. Для пуска элеватора включают в ход транспортирующие устройства, находящиеся после элеватора. После подачи установленного сигнала нажатием кнопки «Пуск» включают электродвигатель привода элеватора, затем открывают затвор питающего устройства.

Во время работы следят за тем, чтобы количество загружаемого в элеватор материала соответствовало его производительности, материал не налипал на приводной и натяжной барабаны (звездочки), ход ленты или цепей был ровным, работа всех механизмов не со-

проводилась сильным шумом и стуком. Перед остановкой элеватора перекрывают затвор питающего устройства, затем, после опорожнения ковшей, нажатием кнопки «Стоп» останавливают.

При подготовке к пуску *пневматических насосов* проверяют состояние транспортного трубопровода и продувают его сжатым воздухом; удаляют из загрузочной камеры посторонние предметы и крупные зерна материала; открывают воздушный вентиль контрольного манометра и проверяют рабочее давление компрессорного воздуха; убеждаются в наличии свободного объема в резервуарах или сilosах, в которые необходимо перекачивать материал.

После этого открывают рабочий вентиль и подают в воздушную камеру пневмонасоса сжатый воздух. Пускают пневмонасос на холостом ходу. Спустя 3—5 мин подают известь и наблюдают за давлением в смесительной камере и на линии воздухопровода. Повышение давления в транспортном трубопроводе свидетельствует о поступлении в него материала. Давление в воздухопроводе должно быть несколько выше давления в транспортном трубопроводе.

Перед остановкой пневмонасоса прекращают подачу в него материала, продувают транспортный трубопровод сжатым воздухом и через 1,5—2 мин закрывают рабочий вентиль воздухопровода.

## § 16. ОЧИСТКА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ И ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ

**Методы очистки газов и воздуха.** Пыль образуется при эксплуатации основного технологического оборудования — обжиговых печей, дробилок, грохотов, мельниц, при работе технологического транспорта — конвейеров, питателей, при погрузочно-разгрузочных работах и т. п. Пылеобразование неизбежно в процессе производства извести, поэтому заводы оснащают пылеулавливающим оборудованием, которое обеспечивает содержание пыли в выбрасываемых газах в пределах, допускаемых санитарными нормами (СН 245—71).

Методы очистки от пыли воздуха (аспирация) или дымовых газов разделяются на следующие виды:

*механическая очистка*, при которой осаждение частиц происходит под действием силы тяжести, инерционных или центробежных сил, осуществляется с помощью отстойных камер и аппаратов — циклонов;

*фильтрование*, т. е. пропускание газов через пористые перегородки, осуществляется с помощью тканевых (рукавных) фильтров;

*электрическая очистка*, при которой осаждение взвешенных в газовом потоке частиц происходит под воздействием электромагнитного поля высокого напряжения, осуществляется в электрических фильтрах;

*мокрая очистка*, при которой запыленный поток пропускают через слой жидкости или орошают потоком жидкости, осуществляется в скрубберах и пенных аппаратах.

Эффективность работы пылеосадительного аппарата оценива-

ется коэффициентом полезного действия (КПД) по пылеосаждению или степенью очистки газов  $\eta_{o.r}$  по формуле

$$\eta_{o.r} = (m_2 / m_1) \cdot 100\%,$$

где  $m_1$  — масса пыли, поступившей в аппарат, кг;  $m_2$  — масса уловленной аппаратом пыли, кг.

Степень очистки газов пылеосадителями зависит от размера частиц пыли и конструкции аппарата.

**Устройство и работа пылеулавливающего и аспирационного оборудования.** Отстойные (пылеосадительные) камеры широко применяют для механического осаждения крупных фракций пыли (от 0,2 до 2 мм) при ее выносе отходящими газами вращающихся печей и сушильных барабанов. Пыль осаждается в камере вследствие уменьшения подъемной силы частицы при резком падении скорости газового потока. Поэтому сечение пылевой камеры имеет большую площадь, а сами камеры — большие габариты. Степень очистки газового потока составляет 15—20%.

Циклоны используют для более эффективной механической очистки газового потока с размером частиц пыли 0,003—0,1 мм. КПД пылеосаждения циклонов составляет 45—85%.

**Циклон НИИОГАЗ** (рис. 25) состоит из вертикального цилиндрического корпуса 5 и конической части 3. Запыленный поток газов входит в циклон по касательной к корпусу через прямоугольный патрубок 8 и закручивается в нем. Под действием центробежных сил частицы пыли отбрасываются к стенке цилиндрического корпуса 5 и по нейсыпаются в коническую часть 3. Обеспыленные газы уходят из циклона через трубу 4, улитку 7 и выходной патрубок 6.

Корпус циклона в верхней цилиндрической части снабжен крышкой в виде винтовой линии, что способствует лучшему закручиванию потока в циклоне. В нижней части циклона расположен бункер 2 для сбора уловленной пыли и затвор 1.

Диаметр циклонов НИИОГАЗ от 600 до 3000 мм. Аэродинамическое сопротивление находится в пределах 400—850 Па. Циклоны НИИОГАЗ обычно объединяют в группы по 2, 4, 6 и 8 шт. В этом случае под ними устанавливается общий бункер для сбора пыли.

**Батарейные циклоны** (рис. 26) состоят из 16, 32, 64 и более циклонных элементов, имеющих диаметр от 50 до 250 мм. Степень очистки газов в батарейных циклонах достигает 80—95%, аэродинамическое сопротивление находится в пределах 600—850 Па.

Запыленный поток входит через патрубок 2 в общую распределительную камеру 6 и затем в циклонные элементы 7. На входе каждого элемента установлен завихритель для закручивания потока. Для теплоизоляции пространство между элементами засыпано дробленым шлаком 8. Осажденная в элементах 7 пыль собирается в бункере 1, а очищенные газы выходят через патрубки 5.

**Рукавные фильтры** используют для более полного осаждения тонкодисперсной пыли. Степень очистки газов рукавных

фильтров составляет 90—98%; аэродинамическое сопротивление находится в пределах 600—1200 Па.

*Рукавный фильтр с механическим встряхиванием и обратной продувкой ткани* (рис. 27) работает следующим образом. Запыленный воздух поступает в пылеосадительную камеру 12 снизу через газоход 11 и затем через патрубки 10 в матерчатые рукава 9. В ру-

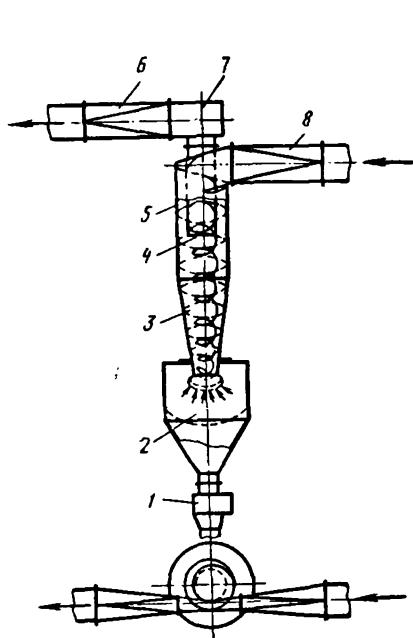


Рис. 25. Схема циклона НИИОГАЗ:  
1 — затвор, 2 — бункер, 3 — коническая часть циклона, 4 — выпускная труба, 5 — цилиндрический корпус, 6 — выходной патрубок, 7 — улитка, 8 — входной патрубок

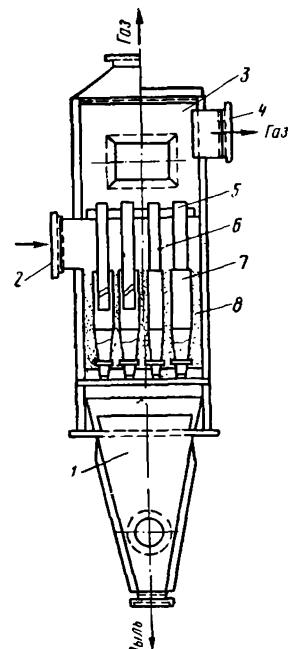


Рис. 26. Батарейный циклон:  
1 — бункер, 2 — входной патрубок, 3 — камера очищенного газа, 4 — выходной патрубок циклона, 5 — выходной патрубок элемента, 6 — распределительная камера, 7 — циклонный элемент, 8 — дробленый шлак

кавах, снабженных стальными кольцами 8, пыль задерживается, оседая на их внутренней поверхности, а очищенный поток отсасывается из фильтра через выхлопную трубу 5.

Рукава через каждые 3—4 ч встряхиваются механизмом, который состоит из привода и рычажного механизма 6, соединенного штангами 4 и железными прутками с крышками, расположенными в верхней части рукавов 9. При включении привода рычажный механизм совершает колебательные движения, которые передаются рукавам, встряхивая их.

Отфильтрованный материал собирается в камере 12, откуда он периодически через лопастный затвор 1 выгружается винтовым кон-

вейером 2. Фильтр заключен в стальной герметичный кожух 3 прямоугольной формы. Периодическая обратная продувка рукавов осуществляется вентилятором через патрубок 7 и включается одновременно с работой встряхивающего механизма. Период обратной продувки составляет 8—10 мин.

Рукавные фильтры применяют в одно- и многоступенчатых схемах очистки газов и аспирационного воздуха дробилок, мельниц,

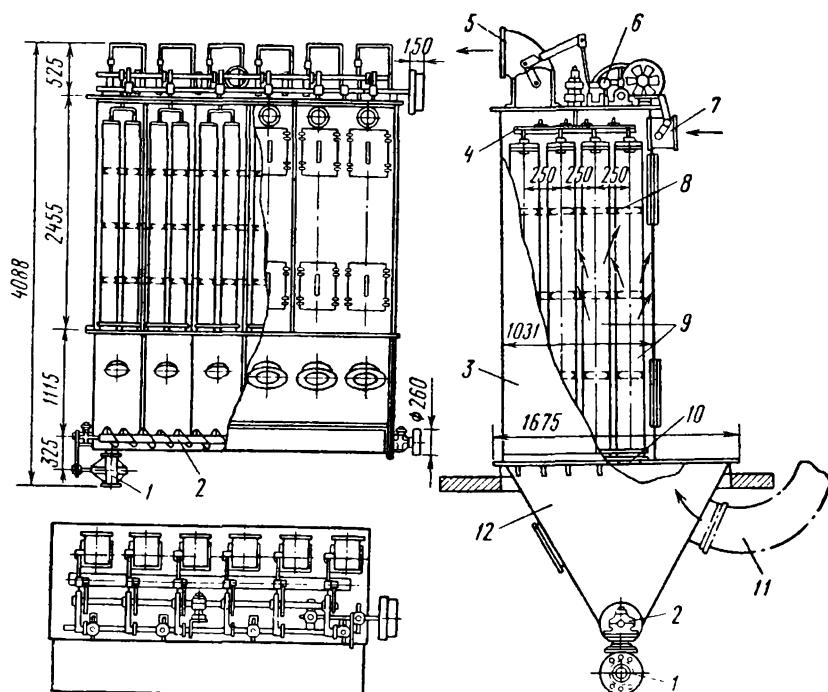


Рис. 27. Рукавный фильтр:

1 — затвор, 2 — винтовой конвейер, 3 — кожух, 4 — штанга, 5 — выхлопная труба, 6 — рычажный механизм, 7 — патрубок обратной продувки, 8 — кольца, 9 — матерчатые рукава, 10 — патрубок, 11 — газоход, 12 — пылеосадительная камера (бункер)

силосов, упаковочных машин, узлов пересыпки материалов и т. д. Диаметры рукавов равны 135—220 мм. Фильтровальная ткань рукавов допускает температуру газов: хлопок 65°C, шерсть 90°C, нитрон 135°C, лавсан 140°C, стекловолокно 300°C. Допустимая удельная нагрузка по пыли на ткань не более 1 кг/м<sup>2</sup>·ч. Степень очистки газов 99 %. Наиболее распространены фильтры типа РФГ производительностью от 6700 до 35 000 м<sup>3</sup>/ч. Запыленность газов на входе фильтра допускается до 15 г/м<sup>3</sup>. Аэродинамическое сопротивление составляет 900—1000 Па.

Электрофильтры изготавливают двух видов: трубчатые и пластинчатые.

*Трубчатый электрофильтр* состоит из группы установленных вертикально труб, в центре которых на изоляторах подвешены коронирующие электроды. На изолированный электрод подается высокое постоянное отрицательное напряжение, и часть воздуха вокруг него ионизируется. При этом возникает слабое свечение вокруг проволоки — корона (этот электрод называется коронирующим).

Механизм пылеосаждения в электрофильтре состоит в следующем. Частицы пыли, попав в область короны, получают отрицательный заряд и притягиваются положительным электродом, которым служит стальная круглая или многогранная труба. Притянутые положительным электродом частицы оседают на нем, в связи с чем трубы называются осадительными электродами.

Пыль удаляют периодическим встряхиванием осадительных электродов с помощью специального механизма. Осажденная пыль накапливается в бункере, откуда она периодически удаляется. В трубчатом электрофильтре газы пропускаются внутри труб снизу вверх.

*Пластинчатый электрофильтр* (рис. 28) представляет собой герметичную камеру 4, в которой на равном расстоянии одна от другой установлены металлические пластины 2 с натянутыми между ними проводами, служащими коронирующими электродами 1. Таких групп пластин (полей) установлено четыре, поэтому электрофильтр называется четырехпольным. Высокое напряжение поступает на электроды от аппаратуры, установленной в помещении 5.

Отходящие из печи запыленные газы по трубопроводу 3 поступают в камеру 4 электрофильтра. Газы, двигаясь вдоль пластин горизонтально, пересекают магнитное поле. Частицы пыли, получая от коронирующих электродов отрицательный заряд, оседают на пластинах, имеющих положительный потенциал.

Пластины периодически встряхиваются специальным механизмом, и осевшая на них пыльсыпается в расположенные под пластинами бункера 7. Пыль из бункеров периодически выгружается винтовыми конвейерами 8 в промежуточный бункер 6, куда поступает также пыль, осевшая в пылеосадительной камере печи. Печные газы просасываются через электрофильтр дымососом 9.

Преимущество очистки газов электрофильтрами — высокая степень очистки газов (94—99 %) при низком аэродинамическом сопротивлении аппарата (30—250 Па).

Электрофильтры применяют для очистки от пыли отходящих газов печей и аспирационного воздуха. Унифицированные горизонтальные электрофильтры типа УГ и УГТ (температурные) представляют собой двух-, трех- и четырехпольные аппараты в стальном корпусе. Электрофильтры предназначены для сухой очистки от пыли неагрессивных газов с температурой до 250° С (типа УГ) и до 425° С (типа УГТ). По условиям механической прочности корпуса рабочее разрежение составляет: для электрофильтров типа УГ — до 3 кПа; типа УГТ — до 4 кПа. Степень очистки газов — до 99 %. Аэродинамическое сопротивление электрофильтров — 150—250 Па.

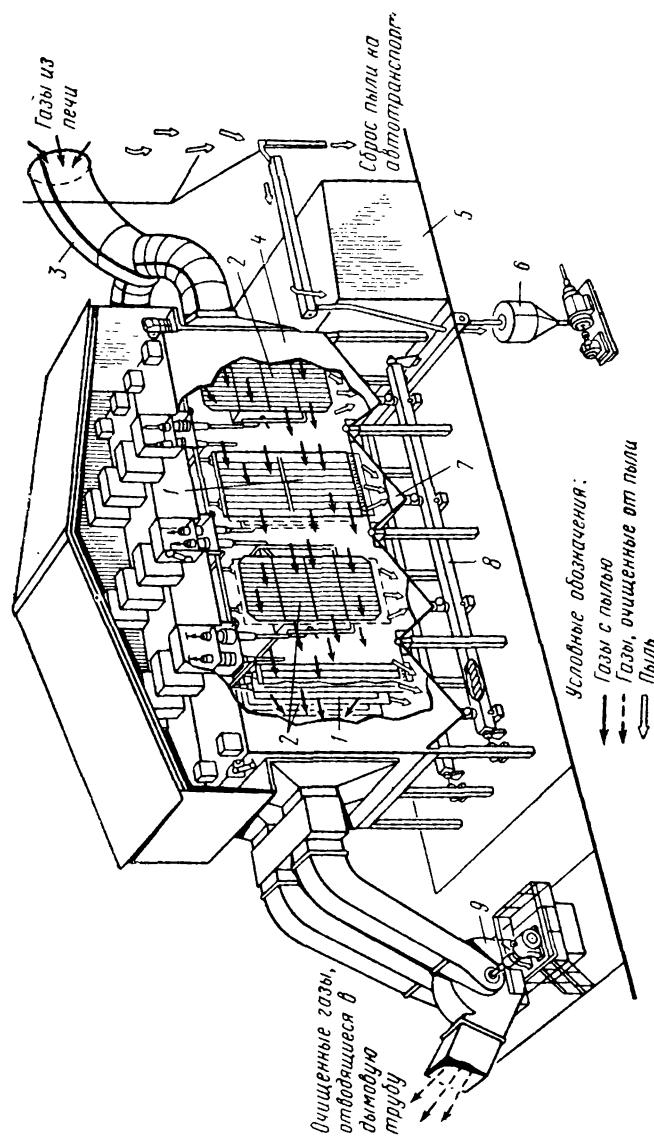


Рис. 28. Пластинчатый четырехпольный горизонтальный электрофильтр:  
 1 — коронирующие аппаратуры, 2 — электроды, 3 — пластинки, 4 — трубопровод, 5 — камера очистки, 6 — бункер электрофильтра, 7 — винтовой конвейер, 8 — винтовой насос

Допустимая максимальная запыленность газа — 30 г/м<sup>3</sup>. Производительность от 36 до 300 тыс. м<sup>3</sup>/ч.

Центробежные скруббера и пенные аппараты очищают газы следующим образом.

В цилиндрический корпус центробежного скруббера запыленный газ поступает тангенциально и, получив вращение, движется снизу вверх. Частицы пыли в закрученном потоке отбрасываются центробежными силами к стенке аппарата. Стенки корпуса орошаются водой, поступающей в скруббер через сопла, расположенные в верхней части цилиндра. Смоченные водой частицы пыли удаляются вместе с ней через коническое днище скруббера.

В пенных аппаратах запыленный газ проходит через камеру, в которой непрерывно взбивается пена.

В центробежных скрубберах и пенных аппаратах степень очистки газов от тонкодисперсной пыли достигает 99%.

Электрофильтр-скруббер представляет собой цилиндрический аппарат, в верхней части которого устроен трубчатый электрофильтр, а в нижней — промыватель скрубберного типа. Запыленный газ поступает в аппарат снизу, промывается и очищается от примесей водой, а затем проходит окончательную очистку в электрофильтре. Для эффективной работы трубчатого электрофильтра электроды очищаются стряхивающим механизмом и периодически промываются водой. На время промывки водой (10 мин) в электрофильтр прекращают подачу газа и электроэнергии.

Электрофильтры-скруббера СМС-4 и СМС-6,2 эксплуатируются на шахтных известообжигательных печах содового производства.

Аспирационные установки используют для очистки воздуха до предельной остаточной концентрации пыли в очищенном воздухе, которая находится в зависимости от нормы допустимой концентрации пыли в воздухе рабочей зоны производственных помещений и составляет от 30 до 100 мг/м<sup>3</sup>. Выбор типа аспирационного оборудования зависит от величины предельной остаточной концентрации пыли в очищенном воздухе, физико-химической характеристики пыли (дисперсного состава, гигроскопичности, способности цементироваться), пределов изменения запыленности воздуха, объема и температуры очищаемого воздуха.

В качестве оборудования для одноступенчатой аспирации воздуха используют электрофильтры, рукавные фильтры, мокрые пылеуловители. Инерционные пылеуловители обычно применяют в качестве первой ступени очистки воздуха перед электрофильтрами и рукавными фильтрами.

Для обеспечения эффективной аспирации технологического оборудования и участков перегрузки материалов необходимо оборудовать их укрытиями, снабженными отсасывающими трубопроводами. На рис. 29 показаны схемы укрытий наиболее распространенного оборудования и участков перегрузки материалов.

**Техническое обслуживание пылеулавливающего и аспирационного оборудования.** При эксплуатации циклонов следует регулярно

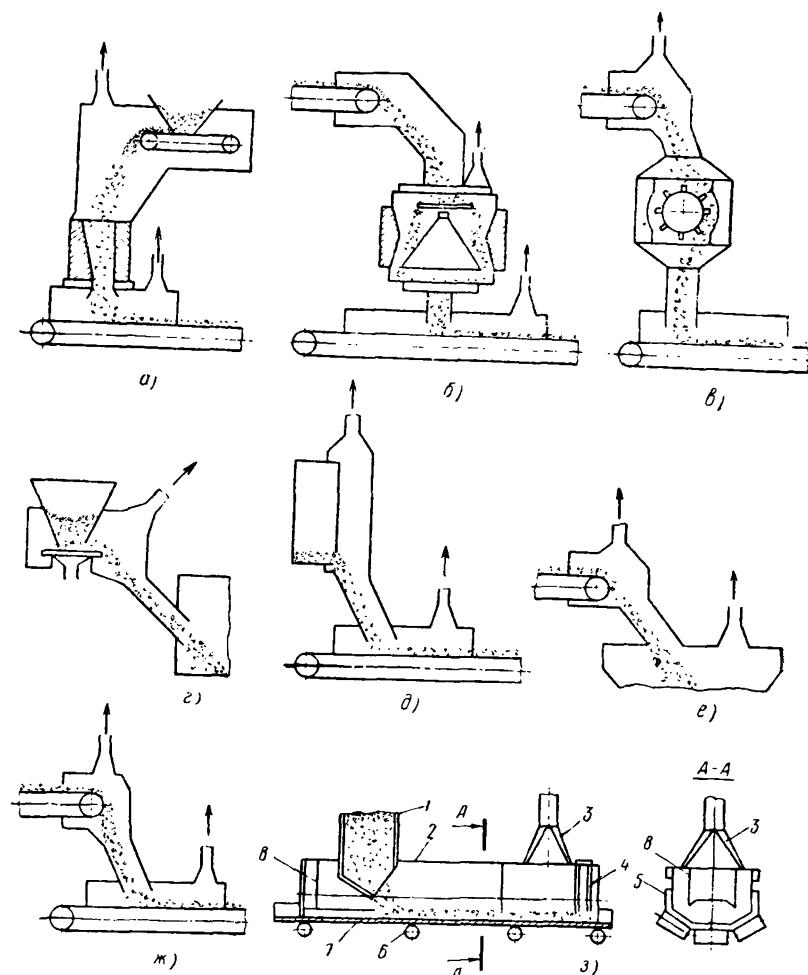


Рис. 29. Схемы аспирационных укрытий оборудования и участков перегрузки материалов:

*a* — щековой дробилки, *b* — конусной дробилки, *c* — молотковой реверсивной дробилки, *d* — участка перегрузки из дискового питателя во вращающийся барабан, *e* — то же, из барабана на конвейер, *f* — участка перегрузки с конвейера в бункер, *ж* — то же, с конвейера на конвейер, *з* — участка загрузки конвейера: *1* — желоб, *2* — укрытие, *3* — местный отсос, *4* — фартук, *5* — уплотнения, *6* — розлики, *7* — лента конвейера, *8* — внутренняя стена укрытия

проверять работу мигалок, течек и бункеров циклонов, так как КПД переполненного материалом циклона резко падает.

При подготовке к пуску рукавного фильтра его отрывают и осматривают состояние рукавов (отсутствие истлевшей или разорванной ткани). Неисправные фильтры заменяют. Проверяют исправность механизма встраивания: осматривают, смазывают и на 8—

10 мин пускают в работу. Включают винтовой конвейер, проверяя и осматривая его привод.

Окончив проверку вспомогательных механизмов и машин, камеру фильтра плотно закрывают, включают автоматику встряхивания, обдува рукавов и выгрузки пыли из бункеров. После этого открывают шибера на входном и выходном патрубках газохода фильтра.

При нормальной эксплуатации рукавного фильтра запыленность поступающего газа должна быть не более 15 г/м<sup>3</sup>, а температура газов — не более допускаемой термостойкости материалов его рукавов.

Чтобы отключить рукавный фильтр, необходимо открыть шибер байпасной (обводной) линии, затем закрыть оба шибера газового тракта и выключить приводной механизм. После этого приступают к осмотру фильтра.

Обслуживание оборудования для транспортирования из бункеров фильтров пыли рассмотрено выше. Электрофильтр обслуживает электрослесарь.

## ГЛАВА V

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЖИГЕ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД НА ИЗВЕСТЬ

Нагревание карбонатных пород до температуры, лежащей ниже температуры начала их термического разложения или диссоциации<sup>1</sup> (для доломита — в пределах 200—450° С, для известняка — в пределах 200—800° С), сопровождается испарением влаги, растрескиванием кусков, увеличением объема материала на 2—4,5% и снижением его прочности на 40—70%.

Карбонатные породы обжигают при температуре, превышающей температуру начала их диссоциации на 50—500° С. При обжиге карбонатных пород протекают сложные физико-химические процессы: диссоциация карбонатов кальция  $\text{CaCO}_3$  и магния  $\text{MgCO}_3$ , рекристаллизация<sup>2</sup> образующихся окислов кальция  $\text{CaO}$  и магния  $\text{MgO}$  и реакции с образованием силикатов, алюминатов и ферритов кальция и магния.

Диссоциация карбонатов кальция и магния (декарбонизация) происходит с поглощением тепла по уравнениям



Карбонаты разлагаются на окислы кальция  $\text{CaO}$  и магния  $\text{MgO}$  (известь) и углекислый газ  $\text{CO}_2$ , который улетучивается.

При полном разложении 1 кг углекислого кальция образуется 0,56 кг  $\text{CaO}$  и 0,44 кг  $\text{CO}_2$ . Следовательно, для получения 1 кг  $\text{CaO}$  требуется

$$(1 \cdot 1) : 0,56 = 1,786 \text{ кг } \text{CaCO}_3$$

При полном разложении 1 кг  $\text{MgCO}_3$  образуется 0,478 кг  $\text{MgO}$  и 0,522 кг  $\text{CO}_2$ . Следовательно, для получения 1 кг  $\text{MgO}$  требуется

$$(1 \cdot 1) : 0,478 = 2,09 \text{ кг } \text{MgCO}_3$$

Доводить степень диссоциации карбонатов до 100% практически нецелесообразно ввиду снижения производительности печи и

<sup>1</sup> Диссоциация — распадение молекул на несколько более простых частиц (молекул, атомов или ионов).

<sup>2</sup> Рекристаллизация — образование и рост одних кристаллических зерен за счет соседних зерен той же фазы.

увеличения удельного расхода топлива на обжиг. На практике ограничиваются степенью диссоциации (степенью обжига) материала  $\eta_{c,d}$  в пределах 90—98%.

*Материальный баланс* процесса диссоциации характеризуется теоретическим коэффициентом расхода сухого сырья  $K_t$ , вычисляемого по его химическому составу

$$K_t = \frac{1}{1-y} \frac{\text{кг сырья}}{\text{кг извести}},$$

где

$$y = \left( \frac{\eta_{c,d}}{100} \right) \cdot \left( \frac{\text{CaCO}_3}{100} \right) \cdot 0,44 + \frac{\text{MgCO}_3}{100} \cdot 0,522 -$$

количество углекислого газа в кг, выделившегося из 1 кг сырья;  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  — содержание карбонатов в сухом сырье, %.

Количество тепла, которое необходимо затратить для разложения при атмосферном давлении и температуре 20°С 1 кг  $\text{CaCO}_3$ , равно 1771 кДж (425 ккал), для разложения 1 кг  $\text{MgCO}_3$  — 1300 кДж (310 ккал) и для разложения 1 кг доломита — 1550 кДж (370 ккал).

Теоретически для получения 1 кг  $\text{CaO}$  необходимо затратить тепло в количестве:  $1771 \times 1,786 = 3180$  кДж; для получения 1 кг  $\text{MgO}$   $1300 \times 2,1 = 2730$  кДж, т. е. на 14,5% меньше.

На скорость разложения карбонатов влияет температура. При атмосферном давлении разложение  $\text{CaCO}_3$  начинается при 600°С, но реакция не идет до конца и протекает медленно. Полное разложение  $\text{CaCO}_3$  происходит примерно при температуре 900°С.  $\text{MgCO}_3$  начинает разлагаться при температуре 400°С, полное разложение происходит начиная с 710°С.

Скорость реакции разложения карбонатов кальция и магния растет с уменьшением парциального давления газа  $\text{CO}_2$ , поэтому в печных агрегатах диссоциация сырья происходит при более низкой температуре: для известняка — при 820—850°С, для доломита — при 500—550°С.

Скорость диссоциации куска материала при обжиге в печи зависит от следующих факторов: скорости подвода тепла (температуры среды, коэффициента теплоотдачи от теплоносителя к поверхности куска, теплопроводности материала, размера площади зоны диссоциации), диффузии углекислого газа в окружающую среду и структуры материала.

Диссоциация куска материала начинается с его поверхности и постепенно распространяется внутрь. Это хорошо видно на изломе куска извести с «недожогом». Скорость диссоциации быстро растет с увеличением температуры окружающей материала среды. Так, если скорость диссоциации  $\text{CaCO}_3$  при температуре 950°С принять за единицу, то при 1050°С она увеличивается в 1,8 раза, при 1150°С — в 4 раза. Следовательно, температура в печи — важнейший фактор ускорения диссоциации сырья и повышения производительности печи.

Однако ускорение диссоциации только повышением температуры в печи сопровождается увеличением температуры поверхностных слоев материала, что нежелательно, так как приводит к их «пережогу». Поэтому максимальную температуру газового потока в печах обычно поддерживают не выше 1300°С.

Коэффициент теплоотдачи газов поверхности куска зависит от относительной скорости движения теплоносителя и обжигаемого материала. Поэтому при одной и той же температуре газов (теплоносителя) температура поверхности кусков материала будет тем ближе к температуре газов, чем выше скорость их движения.

По мере продвижения зоны диссоциации внутрь куска материала ее площадь уменьшается, а толщина слоя извести увеличивается. С уменьшением площади зоны диссоциации снижается количество передаваемого через нее тепла. Коэффициент теплопроводности извести, образующейся на поверхности обжигаемых кусков, в 2—3 раза ниже, чем у исходного известняка. В результате по мере обжига поток тепла, направленный внутрь куска материала, постоянно уменьшается, если температура поверхности его остается постоянной.

Перечисленные выше факторы замедляют скорость диссоциации обжигаемого материала и обуславливают ее зависимость от линейного размера кусков. Установлено, что средняя продолжительность обжига известняка при температуре материала 1000°С для кусков размером 120 мм составляет 8,5 ч, размером 80 мм — 5,5 ч, 40 мм — 3 ч, 10 мм — 0,3 ч, менее 1 мм — около 1 с. Поэтому *размер кусков исходного сырья — второй важнейший фактор, влияющий на продолжительность его диссоциации и тем самым на производительность печи*.

На скорость диссоциации влияет также структура обжигаемого материала. Установлено, что при обжиге средне- и крупнозернистого материала скорость диссоциации в два-три раза ниже, чем в тонкозернистом. Это объясняется наличием трещин между кристаллами кальцита и незначительной их поверхностью. Поэтому температура обжига крупнокристаллических известняков должна быть на 50—80°С выше, чем температура обжига обычных известняков и мелового сырья.

При неполном завершении реакции диссоциации образующаяся известь содержит «недожог», представляющий собой неразложившуюся часть карбонатной породы, которая находится в куске под слоем извести. «Недожог» — это брак извести, так как он снижает содержание в ней активной окиси кальция. Количество «недожога»  $G_{\text{нед}}$  можно подсчитать по формуле

$$G_{\text{нед}} = \frac{100,09}{44,01} (\text{CO}_2)_{\text{ост}} \approx 2,27 (\text{CO}_2)_{\text{ост}} \%,$$

где  $(\text{CO}_2)_{\text{ост}}$  — содержание остаточной углекислоты в извести, %.

«Недожог» легко обнаружить, взяв в руки куски извести, так как куски с «недожогом» тяжелее полностью обожженных. Раско-

лов такой кусок, можно увидеть ядро серого цвета, состоящее из недоразложившегося  $\text{CaCO}_3$ .

Реакция диссоциации карбоната кальция обратимая. При определенных условиях  $\text{CaO}$  реагирует с  $\text{CO}_2$ , образуя  $\text{CaCO}_3$ . Этот процесс называется *рекарбонизацией*. Процесс рекарбонизации извести при ее охлаждении воздухом практически отсутствует. При использовании в зоне охлаждения печи рециркуляционных газов карбонизация извести составляет всего 1—1,5%.

Образующаяся при обжиге извести представляет собой кристаллическое тело. Анализ извести с помощью рентгеновского аппарата показывает, что кристаллы чистых  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  имеют кубическую форму. Размер ребер куба  $\text{CaO}$  равен  $4,797 \cdot 10^{-4}$  мкм, а ребер куба  $\text{MgO}$  несколько меньше —  $4,203 \cdot 10^{-4}$  мкм, чем и объясняется более высокая средняя плотность доломитовой негашеной извести.

Физико-химические свойства негашеной извести определяются ее структурой и условиями обжига сырья, из которого она получена. При обжиге чистого кальцитового известняка или мела извести получается в виде пористых кусков кремово-белого цвета, пронизанных мелкими трещинами. При повышенном содержании примесей в сырье извести может иметь сероватый, желтоватый или коричневый оттенки. Следовательно, степень белизны извести зависит от ее химической чистоты.

Плотность чистой окиси кальция  $\text{CaO}$  равна 3430 кг/м<sup>3</sup>, а плотность извести, полученной обжигом кальцита при температуре 900—1400° С, изменяется от 3020 до 3270 кг/м<sup>3</sup>. Объем пор в извести промышленного производства колеблется от 48 до 18% и в среднем составляет около 35% общего ее объема. Объемная масса такой извести составляет 2000—2200 кг/м<sup>3</sup>. Насыпная объемная масса такой извести с размером кусков 50—100 мм равна 880—780 кг/м<sup>3</sup>, размером 10—50 мм — 960—880 кг/м<sup>3</sup>.

Объемная масса, пористость, химическая активность и другие свойства извести определяются ее микроструктурой.

Термическая диссоциация доломита проходит в две стадии: вначале разлагается  $\text{MgCO}_3$ , а затем при более высокой температуре  $\text{CaCO}_3$ . Плотность чистого обожженного доломита достигает 3500—3600 кг/м<sup>3</sup>. Средняя объемная масса доломитовой негашеной извести на 3—4% выше, чем кальциевой. Наибольшей объемной массой, доходящей в среднем до 3200 кг/м<sup>3</sup>, обладает «намертво» обожженный доломит.

Образующаяся при температуре 550—650° С окись магния с повышением температуры и времени прокалки рекристаллизуется, и ее реакционная способность к гидратации снижается. Окись магния  $\text{MgO}$ , полученная обжигом доломита за 3—5 ч при температуре 1100—1200° С, обладает низкой реакционной способностью, и ее гашение в естественных условиях завершается через несколько недель и даже месяцев. При температуре обжига 1300° С и выше  $\text{MgO}$  представляет собой периклаз — «намертво» обожженный доломит, который слабо гасится даже при весьма тонком помоле.

В отдельных случаях  $MgO$  в активной форме получают при обеспечении в шахтной или вращающейся печи «мягкого» режима обжига некоторых видов доломита мелкокристаллической структуры: равномерном и постепенном нагреве при температуре 850—950°С с использованием малозольного топлива.

Установлено, что при обжиге доломитов в шахтных и вращающихся печах при температуре 1100—1200°С образуются кристаллы  $MgO$  размером до 1 мкм, обладающие низкой химической активностью.

Обжиг доломита фракции 3—10 мм в течение 15 мин при температуре 930—980°С в печи кипящего слоя позволяет получить известь, в которой  $MgO$  находится в активной форме и взаимодействует с водой полностью. Доломитовая известь состоит из кристаллов  $MgO$  размером до 0,5 мкм и кристаллов  $CaO$  размером 1—2 мкм.

Природные карбонаты кальция и магния содержат определенное количество примесей. Примеси входят также в зольную часть топлива. Наиболее распространены примеси в виде кремнезема  $SiO_2$ , полуторных окислов  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$  и сульфата кальция  $CaSO_4$ .

При обжиге окислы  $CaO$  и  $MgO$  вступают в химическую связь с примесями, образуя новые минералы с новыми свойствами.

Содержание кремнезема  $SiO_2$  в чистых известняках обычно не превышает 2%, а в мергелистых достигает 5—15%.  $SiO_2$  взаимодействует с  $CaO$  в твердом состоянии уже при 700—800°С, образуя силикаты кальция (в основном двухкальциевый силикат —  $2CaO \times SiO_2$  или белит), которые представляют собой тугоплавкие соединения и при 1300—1400°С не образуют расплава. Полученные в процессе обжига силикаты кальция снижают количество свободной  $CaO$  в извести, так как она находится в них в связанном виде.

При взаимодействии  $CaO$  с  $Fe_2O_3$  и  $Al_2O_3$  при температуре 1000—1300°С образуются ферриты, алюминаты и алюмоферриты кальция. При температуре 1000—1200°С жидкая фаза с низкой вязкостью обволакивает зерна  $CaO$ , образуя известь с низкой реакционной способностью. Присутствие в примесях  $CaSO_4$  способствует понижению температуры образования жидкой фазы, что приводит к быстрому росту кристаллов  $CaO$  и снижению реакционной способности извести.

Таким образом, чем выше температура обжига и больше в известняке глинистых примесей или золы в твердом топливе, тем быстрее и больше образуется в извести конгломератов  $CaO$  размером 50—100 мкм, отличающихся низкой активностью, силикатов, ферритов и алюминатов кальция и меньше  $CaO$  остается в свободном состоянии.

Максимальное количество  $CaO$ , связанного в новые минералы, в % можно определить по формуле

$$CaO_{\text{связ}} = 1,87SiO_2 + 1,1Al_2O_3 + 0,7Fe_2O_3$$

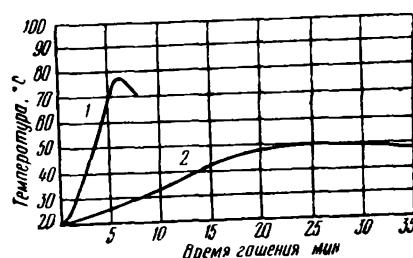
где  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  — содержание окислов в сырье, пересчитанное на теоретический состав извести, %.

В заводских условиях количество  $\text{CaO}_{\text{связ}}$  в извести можно приблизенно оценить, умножив на четыре количество глинистых примесей, содержащихся в обжигаемом сырье.

На рис. 30 приведены кривые гашения проб извести, полученной обжигом известняка Веневского месторождения ( $\text{CaO} — 54,5\%$ ,  $\text{MgO} — 0,43\%$ ,  $\text{SiO}_2 — 1,36\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 — 0,65\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 — 0,2\%$ , ППП — 43,31%) фракции 50—100 мм в шахтных печах при различных условиях.

Кривая 1 соответствует пробе извести, полученной при средней температуре обжига известняка  $1230^\circ\text{C}$  в печи, работающей на

Рис. 30. Кривые гашения проб воздушной кальциевой извести, полученной при обжиге чистого известняка фракции 50—100 мм в шахтной печи:  
1 — на газообразном топливе, 2 — на твердом некондиционном топливе в пересыпку



природном газе. Характеристика извести: содержание активных  $\text{CaO} + \text{MgO} — 86\%$ , преобладающий размер кристаллитов  $\text{CaO} — 0,5—3 \mu\text{m}$ , время гашения — 6 мин, температура гашения  $77^\circ\text{C}$ .

Кривая 2 соответствует пробе извести, полученной в шахтной печи, работающей на антраците сорта АМ зольностью 20% при температуре обжига около  $1400^\circ\text{C}$ . Характеристика извести: содержание активных  $\text{CaO} + \text{MgO} — 80\%$ , преобладающий размер кристаллитов  $\text{CaO} — 5—12 \mu\text{m}$  при значительном содержании конгломератов  $\text{CaO}$  размером 20—50 мкм, время гашения — 25 мин, температура гашения  $50^\circ\text{C}$ .

Из приведенного примера следует, что «пережженная» известь отличается повышенными сроками гашения при пониженной температуре гидратации. Поэтому под «пережогом» извести понимают ту ее часть, которая характеризуется низкой реакционной способностью (медленно гасится). К «пережогу» извести относятся рекристаллизованные окислы  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ , а также ошлакованные и оплавленные частицы активной окиси кальция. «Пережог» извести внешне представляет собой ошлакованные и оплавленные утяжеленные куски извести темноватого цвета, имеющие плотную структуру.

Вредное влияние «пережога» извести состоит в том, что он попадает в отходы при гашении (чистая потеря извести), гасится в силикатных изделиях (при автоклавной обработке), в кладке или штукатурке, вызывая их разрушение. Количество «пережога» в комовой кальциевой извести можно снизить при ее тонком измельчении. Причина появления «пережога» извести — нарушение требований, предъявляемых к сырью, топливу и режиму обжига.

Таким образом, окись кальция находится в извести как в свободном, так и связанном состоянии.  $\text{CaO}_{\text{связ}}$  в воздушной извести представляет собой безвозвратные потери окиси кальция. При гашении воздушной извести силикаты и алюмоферриты кальция попадают в основном в отвал.

При использовании извести для производства силикатного кирпича силикаты и алюмоферриты кальция не влияют отрицательно на качество продукции, а, наоборот, способствуют повышению марочности силикатного кирпича. Важно, чтобы их количество в извести не менялось в значительных пределах и известь не содержала «пережога».

Значительное содержание силикатов и алюмоферритов кальция в воздушной извести (15—25%) приводит к снижению температуры и увеличению времени ее гашения; известь приобретает серый оттенок, тесто из такой извести менее пластиично на ощупь.

С увеличением в известняке глинистых примесей до 8% в извести образуется около 20% белита и до 10% алюмоферритов кальция, в связи с чем она начинает проявлять слабые гидравлические свойства. При содержании глинистых примесей 10—21% при температуре обжига 1100—1250° С образуется сильногидравлическая известь, состоящая из минерала белита и активной  $\text{CaO}$ .

При температуре обжига мергелистых известняков выше 1250° С в извести появляется значительное количество пережога и качество гидравлической извести ухудшается.

## ГЛАВА VI

### ОБЖИГ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД В ШАХТНЫХ ПЕЧАХ

Шахтная печь представляет собой установленную вертикально на фундаменте шахту, снабженную в верхней части механизмом для загрузки исходных материалов, а в нижней — механизмом для выгрузки продукции.

Движущийся в шахте сверху вниз материал проходит последовательно три технологические зоны: зону подогрева, зону обжига и зону охлаждения. В зоне подогрева сырьевые материалы нагреваются от температуры окружающей среды до 900° С за счет тепла движущихся из зоны обжига газообразных продуктов. В зоне обжига происходит горение топлива и разложение известняка на известь и углекислый газ при температуре 1000—1400° С. В зоне охлаждения температура извести снижается до 80—100° С за счет движущегося снизу вверх холодного воздуха.

По способу обжига шахтные печи бывают пересыпные, полугазовые, на газообразном и жидкокомплексном топливе.

*Пересыпными* называют печи, в которых слой обжигаемого материала пересыпан слоями твердого короткопламенного топлива.

*Полугазовыми* называют печи, в которых топливо поступает в зону обжига в виде газообразных продуктов газификации твердого длиннопламенного топлива. Газификация твердого топлива осуществляется в выносных топках<sup>1</sup>.

*Шахтные печи на газообразном топливе* оборудованы устройствами для ввода и распределения в шахте природного, искусственного или смешанного газа.

*Шахтные печи на жидкокомплексном топливе* оборудованы устройствами для ввода, распыления и газификации мазута.

#### § 17. КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ШАХТНЫХ ПЕЧЕЙ

**Шахта печи.** Шахта печи состоит из стального кожуха и кладки. Шахта пересыпных печей может иметь вид полого цилиндра (рис. 31, а) или составленных основаниями двух усеченных конусов (рис. 31, б). Наиболее рациональна цилиндрическая форма шахты сужением в нижней части, зоне охлаждения (рис. 31, в).

---

<sup>1</sup> Шахтные печи с выносными полугазовыми топками, отличающиеся низкой эффективностью работы, переводятся на жидкое и газообразное топливо, поэтому не рассматриваются в данном учебнике.

Круглое поперечное сечение шахты имеет преимущества перед остальными при пересыпном способе обжига: способствует равномерному распределению и опусканию кусковых материалов по сечению шахты. У шахты круглого сечения меньшая объемная поверхность и поэтому она отличается минимальными потерями тепла в окружающую среду.

В полугазовых печах и печах на газообразном и жидкоком топливе применяются эллипсовидное (рис. 31, *г*) и прямоугольное (рис. 31, *д*) сечения шахты. Эти сечения позволяют улучшить условия

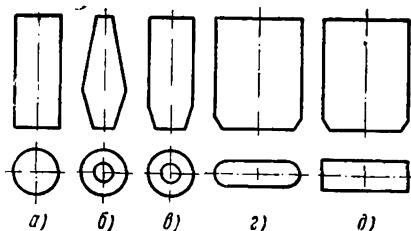


Рис. 31. Конфигурации шахт печей:  
*а* — полый цилиндр, *б* — составленные большими основаниями два усеченных конуса, *в* — цилиндрическая сужением внизу, *г* — щелевидная (эллипсовидная) с вертикальными стенками, *д* — прямоугольная с вертикальными стенками

равномерного распределения газообразного топлива в слое обжигаемого материала.

Часть общей высоты шахты, соответствующая среднему нормальному уровню засыпки в нее материала, называется *рабочей высотой шахты*. Размер рабочей высоты шахты влияет на удельный расход топлива и качество получаемой извести. Рабочая высота шахты составляет 18—24 м.

**Огнеупорная кладка печи.** Огнеупорная кладка шахтной печи состоит из внутреннего защитного слоя — футеровки и наружного — теплоизоляционного. Футеровка шахты играет существенную роль в организации процесса обжига и оказывает влияние на его технико-экономические показатели. Чем более тщательно выполнена футеровка и выше качество примененных огнеупоров, тем более высокая температура обжига поддерживается в зоне обжига печи и увеличивается рабочее время эксплуатации печи. В итоге растет годовая производительность печи и, следовательно, снижаются затраты на выпуск 1 т извести.

Футеровку выполняют из материалов, обладающих высокой огнеупорностью, малой пористостью, достаточной прочностью и термостойкостью.

В верхней части шахты (*зона подогрева*) футеровка испытывает значительное механическое воздействие со стороны шихты (удары кусков известняка и каменного угля во время загрузки, истирание перемещающейся шихтой) и химическое воздействие отходящих газов (кислород, сернистые соединения), имеющих кислый характер. Поэтому применяемый материал должен быть нейтральным или кислым, плотным и прочным.

Зона подогрева подвержена колебаниям температуры, особенно значительным в период загрузки шихты. Следовательно, материал футеровки зоны подогрева должен быть достаточно термо-

стойким, т. е. устойчивым к резким колебаниям температуры. Всем этим условиям удовлетворяют шамотный рядовой кирпич и более качественный многошамотный кирпич. Толщина футеровки зоны подогрева обычно составляет 210—230 мм.

В зоне обжига температура достигает 1200—1300° С, а в местах скопления твердого топлива и ввода газообразного может быть и выше. Огнеупорность материала футеровки должна быть выше температуры, наблюдавшейся в рабочей зоне. Опыт эксплуатации показывает, что огнеупорные материалы разрушаются даже в том случае, когда их огнеупорность является достаточной для имеющейся температуры. Это вызывается тем, что в зоне обжига футеровка подвергается химическому воздействию извести, шлака и золы топлива. Соприкасаясь при высокой температуре с огнеупорным материалом, шлаки и зола топлива частично дренируют через поры в глубь материала, вступая с ним в химическое взаимодействие и разрушая его.

Разрушающее действие на огнеупоры оказывает окись углерода СО. Глубина проникновения СО, шлака и газов в огнеупоры зависит от их пористости. Поэтому для футеровки зоны обжига пригодны материалы с небольшой пористостью.

Важный показатель качества применяемых в зоне обжига огнеупоров — температура их деформации под нагрузкой, так как материал футеровки зоны обжига испытывает давление вышележащих слоев кирпичей, теплового расширения материала и давление шихты.

Футеровка шахтной печи в различных зонах обладает различной стойкостью. Стойкость футеровки выражается числом суток службы огнеупорных материалов с момента розжига печи до прекращения подачи сырья в печь при ее остановке для замены футеровки.

В качестве материала для футеровки зоны обжига применяют многошамотный кирпич марки Д (доменный). Для печей большой мощности целесообразней использовать магнезитохромитовые (МХСО) и высокоглиноземистые огнеупоры. Длительная служба футеровки наблюдается при послойной укладке магнезитохромитовых и многошамотных огнеупоров.

Применение высокоогнеупорных плотных магнезитохромитовых и высокоглиноземистых огнеупоров в зоне обжига шахтных печей резко уменьшает привары извести к футеровке печи и в 2—2,5 раза увеличивает срок службы футеровки, что дает значительный экономический эффект. Толщина футеровки в зоне обжига составляет 345—460 мм и более.

В нижней части шахты (зоне охлаждения) материал футеровки подвергается механическому и химическому воздействию раскаленной извести и колебаниям температуры. Однако условия его работы значительно легче по сравнению с зоной обжига. Поэтому для футеровки зоны охлаждения применяют многошамотный доменный или рядовой шамотный кирпич. Толщина рабочего слоя составляет 210—345 мм и более.

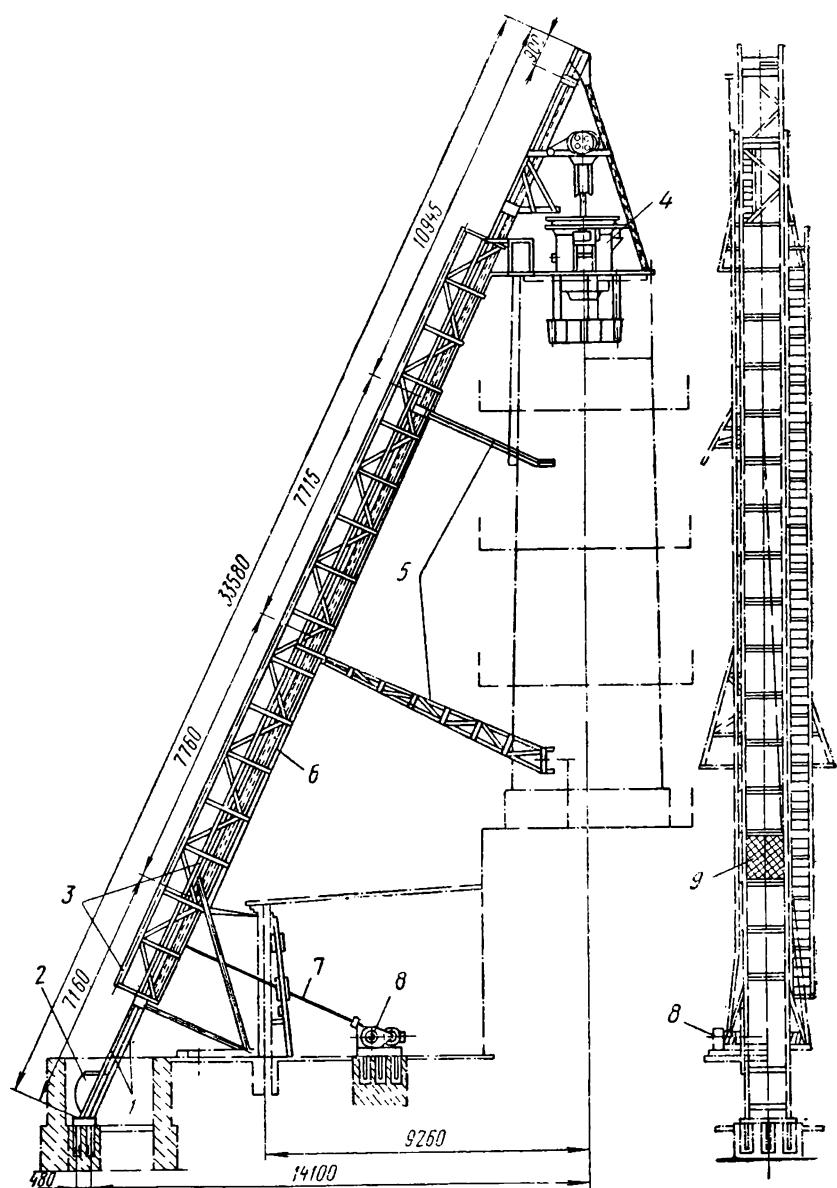


Рис. 32. Скиповое загрузочное устройство шахтных печей:  
1 — направляющие балки, 2 — ковш, 3 — ферма, 4 — механизм загрузки печи, 5 — опоры,  
6 — скраповой подъемник, 7 — канат, 8 — лебедка, 9 — металлическая сетка

Следующий за футеровкой слой огнеупоров не подвергается столь значительному воздействию среды и служит в основном для теплоизоляции. Основными требованиями, предъявляемыми к теплоизоляционным огнеупорам, являются огнеупорность и теплопроводность. Теплопроводность материала связана с его объемной массой. Чем ниже объемная масса материала, тем меньшей теплопроводностью он обладает.

Теплоизоляционный слой футеровки шахты обычно выполняют из шамотных легковесных огнеупоров марки ШЛБ-1,3 толщиной 230—750 мм.

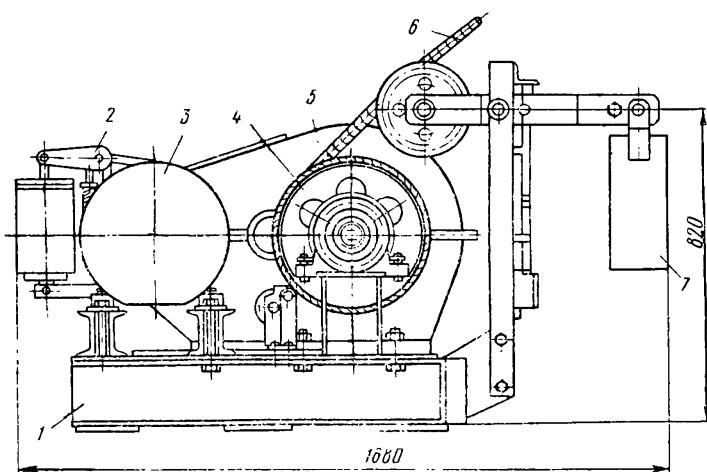


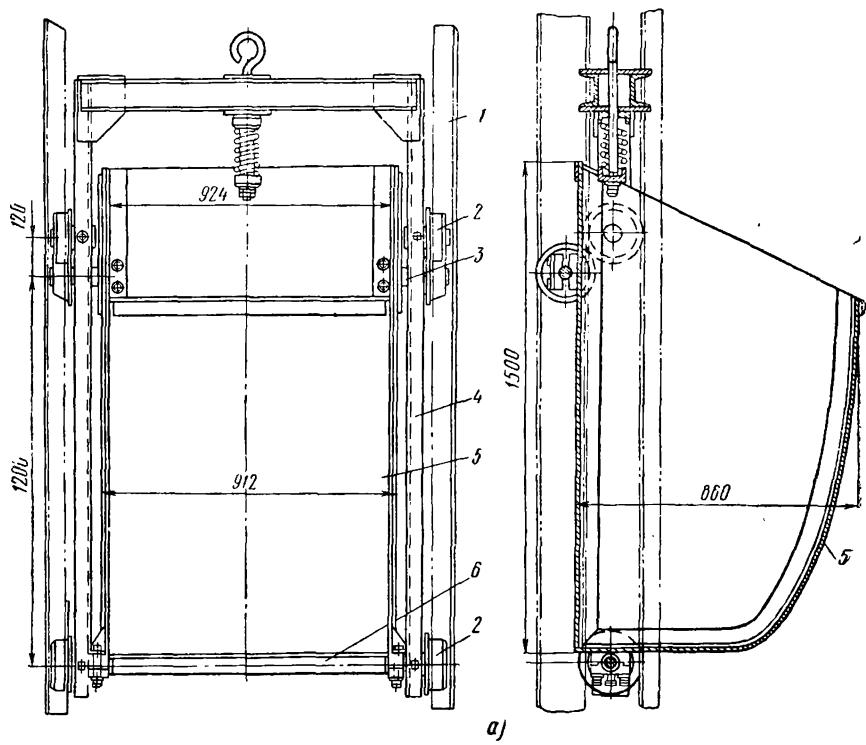
Рис. 33. Лебедка грузоподъемностью 2 т:  
1 — рама, 2 — тормоз, 3 — электродвигатель, 4 — барабан, 5 — редуктор,  
6 — канат, 7 — аварийный выключатель

Пространство между кладкой и металлическим кожухом засыпают молотым шамотом или трепелом для улучшения теплоизоляции. Толщина слоя засыпки 50—65 мм. Кожух выполняют из углеродистой стали толщиной 8—10 мм.

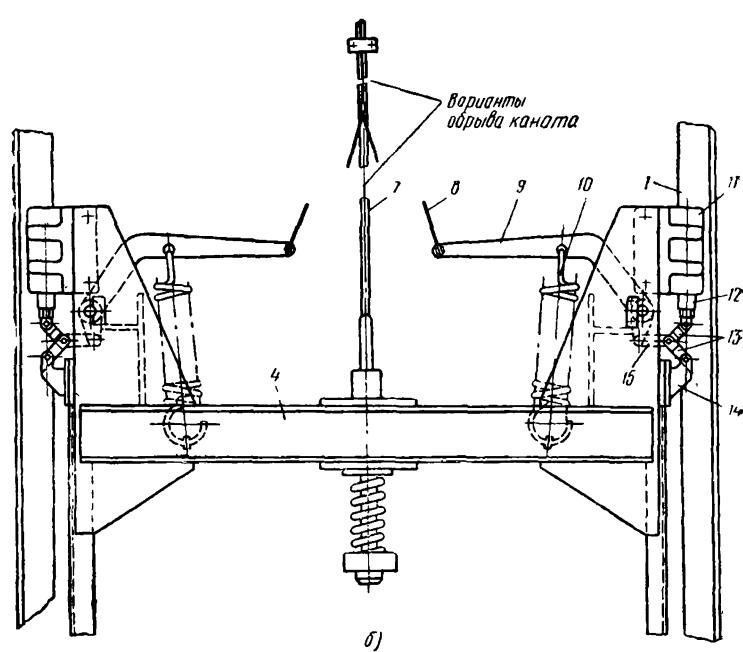
**Загрузочное устройство шахтной печи.** Для загрузки шахтных печей сырьем и твердым топливом применяют скиповые, кюбельные и конвейерные загрузочные устройства. Наиболее широко распространено скиповое загрузочное устройство.

Скиповое загрузочное устройство (рис. 32) включает стационарный скиповый подъемник 6 и механизм загрузки 4.

*Скиповой подъемник* состоит из ствола, представляющего собой стальные направляющие балки 1, которые заключены в стальную сварную ферму 3, ковша 2 вместимостью 0,5—3 м<sup>3</sup> и электрической реверсивной лебедки 8. Ствол подъемника устанавливается под углом 60—80° к горизонту и опорами 5 прикрепляется к корпусу шахтной печи. Высота подъема ковша по вертикали зависит от высоты печи и составляет 25—50 м, скорость подъема ковша 0,4—0,6 м/с.



*a)*



*б)*

Ковш перемещается по стволу подъемника с помощью стального каната и системы блоков. С нижней и боковых сторон ствол ограждают металлической сеткой 9. Направляющие балки устанавливают на фундамент, расположенный в приемке подъемника. Вокруг приемника или в приемке подъемника устраивают сплошной настил, а приемок ограждают барьером, переднюю часть которого выполняют съемной.

Лебедка (рис. 33) состоит из рамы 1, электродвигателя 3, барабана 4 с намотанным на нем канатом 6 и редуктора 5. Лебедка снабжена электромагнитным тормозом 2 и аварийным выключателем 7, который останавливает электродвигатель 3 при обрыве каната.

Ковш вместимостью 0,75 м<sup>3</sup> и механизм его улавливания при обрыве каната изображены на рис. 34. Механизм улавливания ковша состоит из вспомогательного каната 8, рычагов 9, 13, пружины 10, серьги 15, опоры 14, клина 12 и колодки 11. В рабочем положении основной канат 7 натянут и вспомогательный канат поворачивает рычаг 9 вокруг оси. При этом рычаг 9 растягивает пружину 10 и коротким плечом отводит серью 15 назад. Серьга воздействует на ломающий рычаг 13, который оттягивает клин 12 из колодки 11 настолько, чтобы направляющая 1 ствола подъемника свободно проходила в прорези колодки.

При обрыве основного каната вспомогательный канат диаметром 3 мм либо ослабевает, либо рвется и пружины 10 сжимаются в течение долей секунды. Сжимаясь, пружина поворачивает рычаг 9 вокруг оси. Рычаг 9 своим коротким плечом перемещает вперед серью 15 и с помощью ломающего рычага 13 вгоняет клин 12 в колодку 11. При этом направляющая 1 ствола подъемника зажимается между колодкой и клином и ковш останавливается.

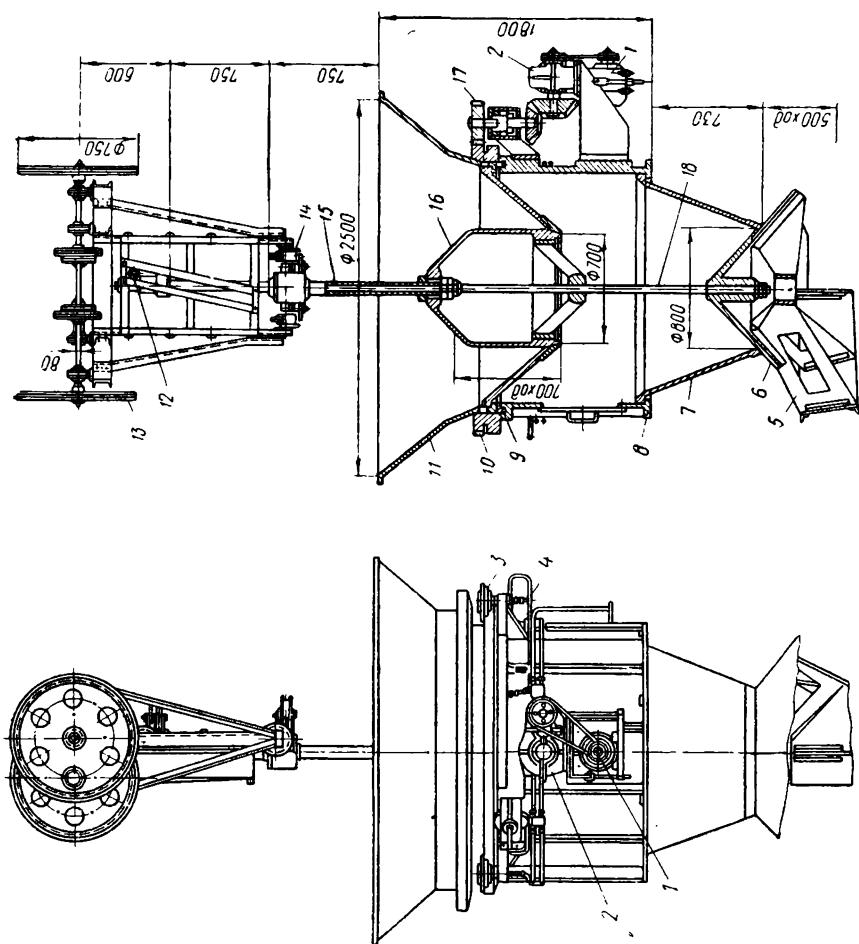
Механизм загрузки шахтной печи служит для обеспечения равномерного распределения крупных и мелких фракций сырья и твердого топлива по поперечному сечению печи и ее герметизации при загрузке.

Двухклапанный механизм загрузки конструкции Союзгипрострона (рис. 35) состоит из корпуса, поворотной приемной воронки (чаши) с приводом и двухклапанного затвора с подъемным и поворотным устройствами. Цилиндрический корпус 8 опирается на верхнюю часть шахты печи. В нижней части корпус переходит в усеченный конус 7, а сверху на него тремя опорными роликами опирается поворотная приемная воронка 11, которая в горизонтальном направлении фиксируется тремя боковыми роликами 3. Воронка вращается с помощью электродвигателя 1 через редуктор 2, пару конических шестерен, подвенцовую 17 и венцовую 10 шестерни.

Рис. 34. Ковш (а) и механизм его улавливания при обрыве каната конструкции Союзгипрострона (б):

1 — направляющая, 2 — катки, 3 — передняя и задняя оси, 4 — рама, 5 — ковш, 7 — основной канат, 8 — вспомогательный канат, 9 — рычаг, 10 — пружина, 11 — колодка, 12 — клин, 13 — ломающий рычаг, 14 — жесткая опора ломающего рычага, 15 — серьга

Рис. 35. Двухклапанный механизм затяжки конструкции Союзтипро  
строва:



Герметизация механизма осуществляется за счет поочередно открывающихся верхнего клапана (колокола) 16 и нижнего клапана 6, снабженного спиралеобразным рассеивающим конусом с двумя отбойными пластинами 5. Лабиринт 9, заполненный консистентной смазкой, служит для герметизации поворотной воронки. Смазка лабиринта, опорных и радиальных роликов осуществляется централизованной системой 4.

Нижняя часть приемной воронки перекрывается клапаном 16, жестко закрепленным на полой тяге 15. Ход клапана вверх равен 0,7 м. Конус 7 перекрывается клапаном 6, укрепленным на штоке 18. Ход клапана вниз равен 0,5 м. Клапаны поднимаются и опускаются с помощью системы канатов, пропущенных через дифференциальные блоки 13.

Роликовая муфта 14 служит для предотвращения поворота нижнего клапана при вращении воронки с верхним клапаном.

Чтобы крупные и мелкие фракции сырья и твердого топлива равномерно распределялись по поперечному сечению шахты, нижний неравнобокий клапан при подъеме поворачивается на угол 34°. При движении штока 18 вверх имеющийся на нем выступ 12 скользит в спиральной прорези и поворачивает шток с рассеивающим неравнобоким конусом. Поворот штока фиксируется храповым механизмом.

Механизмы загрузки комплектуют вращающимися воронками объемом 0,8—2 м<sup>3</sup>. Длительность цикла поворота воронки 30—60 с, угол поворота 60°. Мощность электродвигателя привода 1,7—2,2 кВт. Частота вращения воронки 1,3—2,7 об/мин.

Механизм загрузки с распределительным лотком (рис. 36) состоит из двухклапанного шлюза, нижней воронки 3 и распределительного лотка 6, укрепленного на поворотном валу 2. Двухклапанный шлюз служит для герметизации верха печи и состоит из приемной воронки, снабженной верхним клапаном, и промежуточной емкости 5 с нижним клапаном 4. Промежуточная емкость оборудована патрубком для отсоса воздуха, предотвращающим выбивание газов из печи.

Распределительный лоток 6 выполнен в виде профицированного листа из нержавеющей стали с вырезом и двумя отбойными пластинами 1, предназначенными для подачи кусков сырья и твердого топлива в центральную и среднюю части шахты.

Механизм загрузки работает следующим образом. Сырье и твердое топливо загружают в приемную воронку механизма послой-

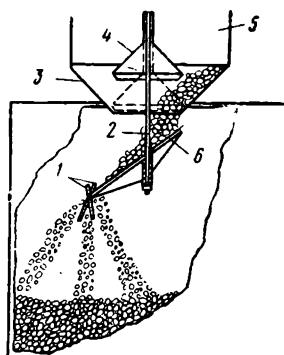


Рис. 36. Механизм загрузки с распределительным лотком:

1 — отбойные пластины, 2 — вал, 3 — нижняя воронка, 4 — нижний клапан, 5 — промежуточная емкость, 6 — распределительный лоток

но. При подъеме верхнего клапана шихта из приемной воронки ссыпается в промежуточную емкость 5, после чего клапан опускается и закрывает нижнее отверстие приемной воронки. При подъеме клапана 4 шихта из емкости 5 ссыпается на распределительный лоток 6, после чего клапан 4 опускается и плотно закрывает отверстие нижней воронки 3, а распределительный лоток поворачивается вокруг оси на угол 48°.

При движении кусков твердого топлива и сырья по поверхности лотка происходит их перемешивание, что способствует равномерному распределению топлива по поперечному сечению шахты.

#### Техническая характеристика механизма загрузки с распределительным лотком

Полезный объем промежуточной емкости, м <sup>3</sup>	2
Ход конусов, мм . . . . .	400
Отношение высоты сбрасывания материала с лотка к диаметру шахты . . . . .	0,375
Угол поворота лотка после загрузки, град	48
Размер выреза (окна) в лотке, мм . . . . .	530×560
Угол между лотком и вертикальным валом, град . . . . .	47

**Выгрузочное устройство шахтной печи.** Выгрузочное устройство состоит из механизма выгрузки из печи готового продукта, промежуточных емкостей и устройств для герметизации механизма выгрузки, дозирования и транспортирования материала. Механизм выгрузки обеспечивает равномерную выгрузку материала по поперечному сечению шахты и регулирует производительность печи.

Выгрузочное устройство с движущимися каретками (рис. 37) включает в себя механизм выгрузки, привод механизма, течку 11, бункер 9 известня и пластинчатый конвейер 10.

Механизм выгрузки состоит из чугунных ступенчатых кареток 4, заключенных в металлические коробки 1 с люками 12, и кирпичного гребня 8. Коробки вмонтированы в выгрузочных очелках печи.

Ступенчатые каретки, опирающиеся на ролики 5, попарно связаны тягами 3 с кривошипными валами 2, которые врачаются от приводного вала 6. Приводной вал соединен с электроприводом посредством шкивов 7 или редуктора. Ход каретки можно изменять перестановкой пальца кривошила. Кривошипные валы соединены с приводным валом через конические шестерни и снабжены шарнирами и разъемными муфтами. Шарниры упрощают подгонку соединений, а муфты позволяют останавливать любую каретку независимо от других.

Гребень 8 предназначен для распределения по очелкам известня, опускающейся из зоны охлаждения печи. У печей, работающих под давлением, над кирпичным гребнем расположен чугунный конус, через который подают вторичный воздух. Люки 12 служат для осмотра и ремонта механизма выгрузки.

Известь распределяется по длине каретки под углом естественного откоса. При возвратно-поступательном движении каретки она

захватывает куски извести своими уступами и проталкивает их к выгрузочным отверстиям, откуда известь попадает в течку 11, бункер 9 и на пластинчатый конвейер 10.

Количество выгружаемой извести регулируется изменением частоты вращения приводного вала механизма выгрузки с помощью ступенчатых шкивов 7 ременной передачи.

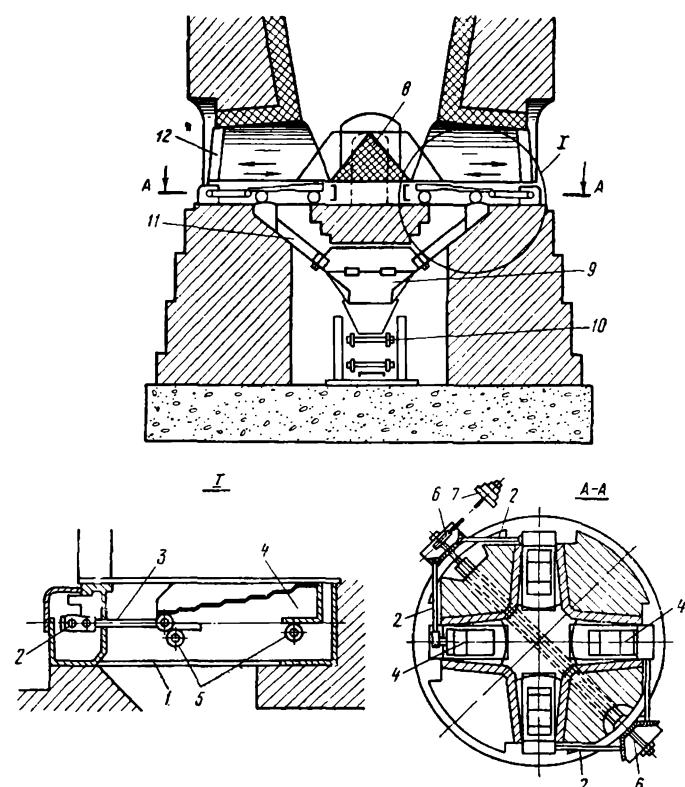


Рис. 37. Выгрузочное устройство с движущимися каретками:  
1 — коробка, 2 — кривошипный вал, 3 — тяга, 4 — ступенчатые каретки,  
5 — ролики, 6 — приводной вал, 7 — шкивы, 8 — гребень, 9 — бункер,  
10 — пластинчатый конвейер, 11 — течка, 12 — люк

Выгрузочное устройство с вращающимся подом (рис. 38) включает в себя механизм выгрузки с приводом, выгрузочную течку 3 и два барабанных затвора 2, 5 с приводом.

Механизм выгрузки состоит из вращающегося пода 9, опорной плиты 7, основания 19 с кольцевым рельсовым путем 25, круглого неподвижного стола 8 и кольцевого конвейера 6, опирающегося на ролики 27. Вращающийся под представляет собой изготовленную из чугуна спиралеобразную ступенчатую круглую плиту (улиту) со съемным колпаком 10, укрепленным на опорном валу 11. Улиту

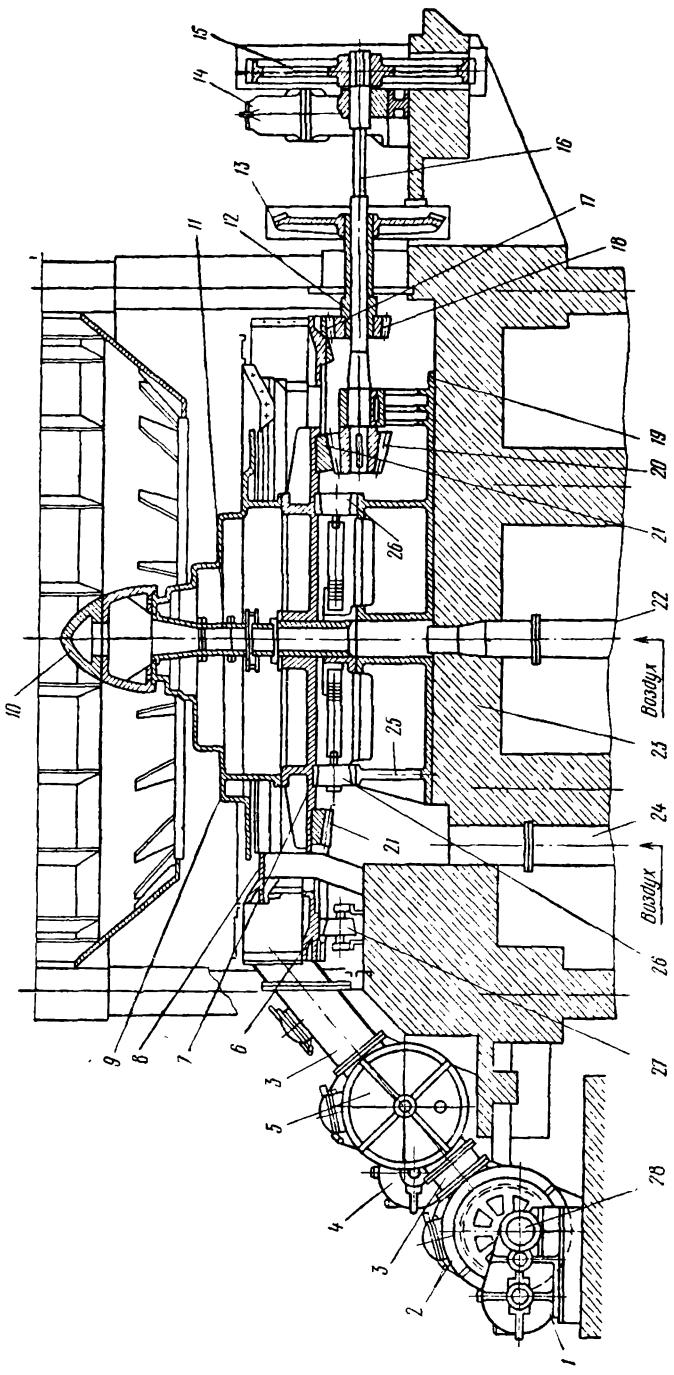


Рис. 38. Выгрузочное устройство с вращающимся подом:

*I. 4—роликоподы, 2, 5—баррабанные затворы, 3—теска, 6—кольцевой конвейер, 7—опорная плита, 8—круглый неподвижный стол, 9—вращающийся под (улитка), 10—колпак, 11—опорный вал, 12—приводной вал колыцевого конвейера, 13, 17, 18—шестерни приводной вал улитки, 16—приводной вал улитки, 19—основание механизма выгрузки, 22, 24—вода колыцевого конвейера, 25—рельсовый путь, 26—опорный ролик улитки, 27—опорный ролик колыцевого конвейера, 28—электродвигатель барабанного затвора*

смонтирована на плите 7, которая перемещается по круговому рельсовому пути с помощью восьми опорных роликов 26 с частотой вращения 0,96—2,42 об/ч. Частота вращения кольцевого конвейера 9,73—24,3 об/ч.

Вращающийся под и кольцевой конвейер имеют каждый самостоятельный привод с плавно регулируемой частотой вращения. В привод улиты входят: электродвигатель мощностью 8,5 кВт, редуктор 14, шестерня 15, вал 16 и коническая пара, состоящая из шестерни 20 и венцовой шестерни 21 с обращенными вниз зубьями. Привод кольцевого конвейера состоит из электродвигателя мощностью 8,5 кВт, вала 12 и шестерен 13, 17, 18.

Улита обеспечивает равномерную выгрузку извести по поперечному сечению шахты в том случае, когда она смонтирована соосно с шахтой. При вращении улиты боковой спиралью выталкивает известь из шахты на круглый неподвижный стол 8, а затем на кольцевой конвейер 6. При вращении конвейера материал сбрасывается жестко закрепленным ножом в выгрузочную течку 3.

Опорный вал, приводные механизмы и улита охлаждаются воздухом, нагнетаемым двумя вентиляторами под давлением 5000 Па через трубопроводы 22 и 24. Воздух по трубопроводу 22 и через зазоры под колпаком поступает в приосевую зону шахты, а по трубопроводу 24 — по периферии.

Выгрузочное устройство с движущейся решеткой конструкции Союзгипрострома (рис. 39) состоит из механизма выгрузки, привода механизма, бункера 9 извести и шлюзового затвора 8.

Механизм выгрузки представляет собой подвижный металлический под шахты, перемещающийся возвратно-поступательно. Механизм состоит из каретки 10, установленной на опорных катках 11. Каретка — это сварная платформа с колосниковой решеткой, колосники 5 которой расположены под наклоном к краям рамы и имеют клинообразную форму, в связи с чем расстояние между ними увеличивается от центра к краям платформы. Опорами для катков служат рельсовые балки 6. По оси печи над решеткой устанавливается воздухохлаждаемая полая балка-рассекатель 7. Балка воспринимает часть давления столба материала и симметрично распределяет его по обе стороны решетки. Каретка заключена в металлической кофте, снабженный с противоположных сторон люками 4, через которые ее обслуживают и ремонтируют.

При возвратно-поступательном движении каретки мелкие куски извести проваливаются в щели между колосниками, а крупные, сползая по наклонным колосникам,сыпаются то с одной, то с другой стороны решетки в бункер 9 и через переходную течку и шлюзовой затвор 8 поступают на конвейер. Ход решетки регулируют в пределах 0—150 мм.

Привод механизма выгрузки выполняют в двух вариантах: электромеханический с храповым вариатором и гидравлический. Гидравлический привод менее металлоемок, допускает плавное регулирование производительности.

Электромеханический привод (рис. 40) включает в себя храповой вариатор, электродвигатель 20, муфту 19 и редуктор 18 с эксцентриковой шайбой 1.

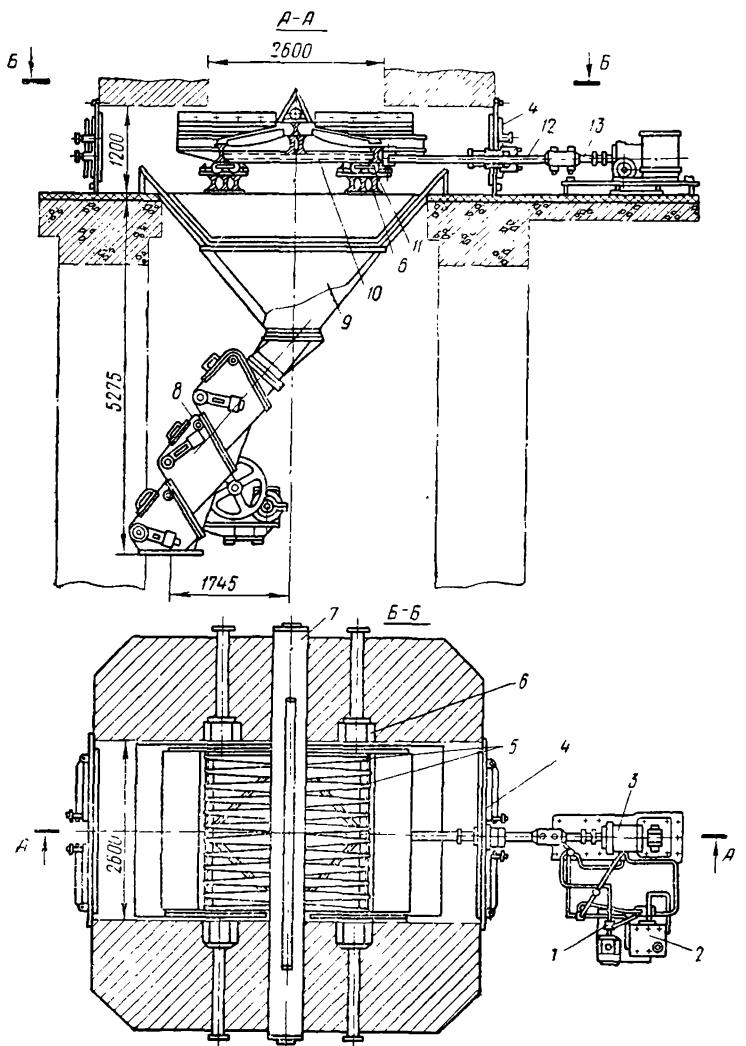


Рис. 39. Выгрузочное устройство с движущейся решеткой конструкции Союзгипростроя:

1 — маслонасос, 2 — бак, 3 — рабочий цилиндр, 4 — люк, 5 — колосники, 6 — рельсовые балки, 7 — балка-рассекатель, 8 — шлюзовой затвор, 9 — бункер, 10 — каретка, 11 — опорные катки, 12 — штанга, 13 — шток

Храповой вариатор состоит из сварной рамы 4 с закрепленными на ней в подшипниках дебалансовым валом 10 и ведущим валом 12, большой 3 и малой 13 шестерен, шатуна 9, дебаланса 11, хра-

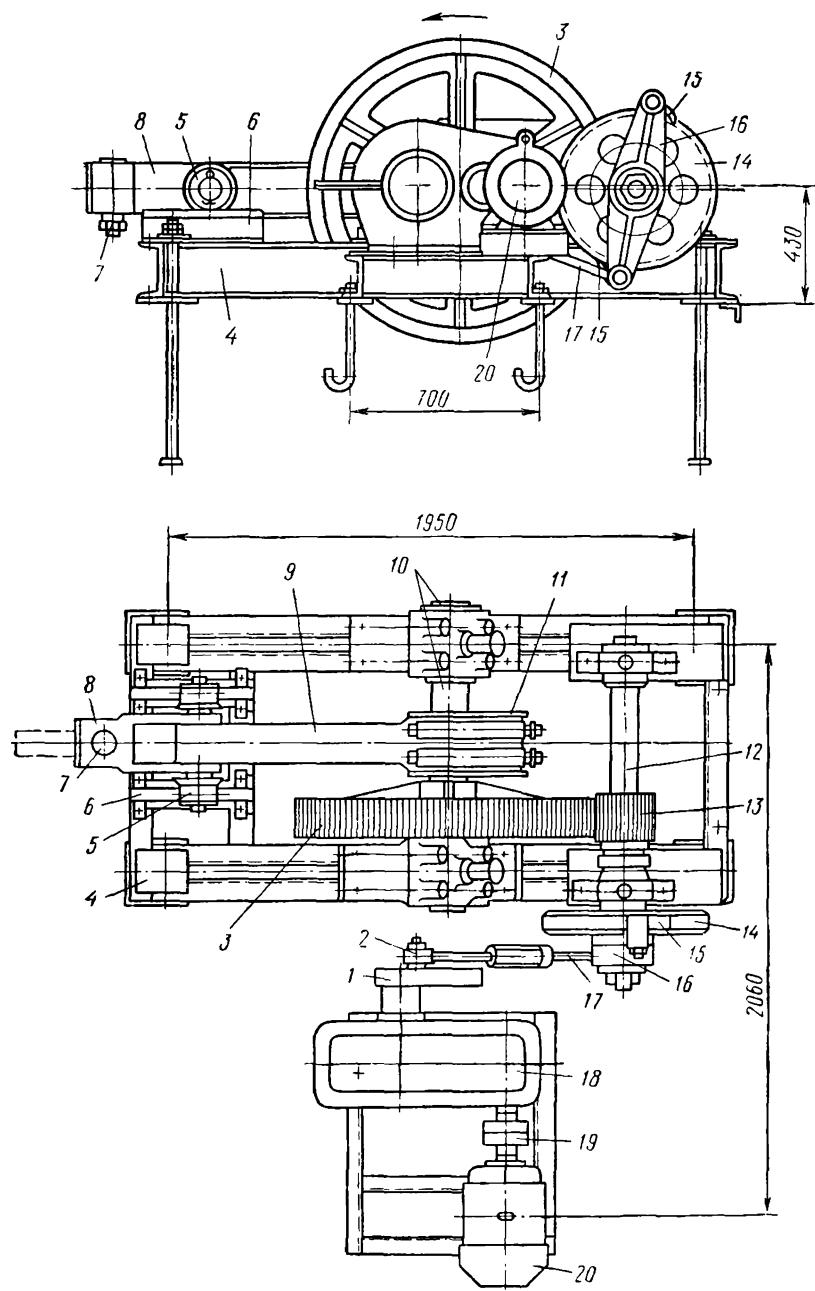


Рис. 40. Электромеханический привод:  
 1 — эксцентриковая шайба, 2 — палец, 3, 13 — шестерни, 4 — рама, 5 — опорные ролики, 6 — направляющие, 7 — клин, 8 — соединительная вилка, 9 — шатун, 10, 12 — валы, 11 — дебаланс, 14 — храповое колесо, 15 — собачка, 16 — коромысло, 17 — тяга, 18 — редуктор, 19 — муфта, 20 — электродвигатель

пового колеса 14, собачек 15 и коромысла 16. Вариатор посредством регулируемой по длине тяги 17, пальца 2 и эксцентриковой шайбы 1 соединен с выходным валом редуктора 18.

При работе электродвигателя 20 тяга 17 поворачивает коромысло 16 на определенный угол, размер которого регулируется эксцентрикитетом эксцентриковой шайбы. В зависимости от угла поворота коромысло перемещает собачки 15 на 0,5; 1; 2; 3; 4 зуба храпового колеса 14. При обратном ходе коромысла собачки поворачивают храповое колесо на угол, размер которого пропорционален количеству захваченных зубьев. Угол поворота храпового колеса через ведущий вал 12, шестерни 13, 3, дебалансный вал 10 и дебаланс 11 преобразуется в линейное перемещение шатуна 9. Таким образом средняя скорость движения шатуна 9 пропорциональна эксцентрикитету эксцентриковой шайбы 1.

Шатун 9 с помощью опорных роликов 5 перемещается по направляющим 6 и посредством соединительной вилки 8 и клина 7 передает движение штанге механизма выгрузки.

Требуемый эксцентрикитет эксцентриковой шайбы 1 устанавливают вращением винта, который перемещает палец 2 в пазах шайбы. При регулировке эксцентрикитета необходимо, чтобы собачки 15 в конце хода коромысла переходили за зуб храпового колеса не более чем на 1,5—2 мм. Необходимое положение собачек достигается изменением длины тяги 17. Эксцентрикитет дебаланса 11 изменяют, вращая винт червячной передачи, которой снабжен эксцентрик. При этом ход шатуна можно менять в пределах от 0 до 150 мм.

*Гидравлический привод* (рис. 41) включает в себя укрепленный на раме 11 гидроцилиндр 10 со штоком 8, соединительную втулку 7, гидросистему, электродвигатель 1 и муфту 2. Гидросистема состоит из лопастного насоса 3, бака 13 с маслом, предохранительно-сливного клапана 4, пластинчатого фильтра 5, крана управления 6, двухходового направляющего гидрораспределителя 17, регулятора потока 15, манометра 16 и соединительных трубопроводов. Шток 8 соединен со штангой механизма выгрузки с помощью втулки 7 и двух клинов с гайками.

Работа гидропривода основана на принципе жесткой схемы с регулированием расхода масла на сливе с помощью регулятора потока 15. Предохранительный клапан 4 поддерживает необходимое постоянное давление масла, подаваемого в гидроцилиндр 10, сливом в бак 13 избыточного расхода поступающего от насоса 3 масла. Распределителем масла служит двухходовой гидрораспределитель 17. Направляющий гидрораспределитель переключается краном управления 6, который в свою очередь переключается штоком 8 в его крайних положениях с помощью хомутов-ограничителей 9.

Средняя скорость движения штока пропорциональна перепаду давлений масла на поршне гидроцилиндра, который изменяют дросселированием масла на сливном трубопроводе 12 с помощью регулятора потока 15. Таким образом, меняя положение рычага 14 ре-

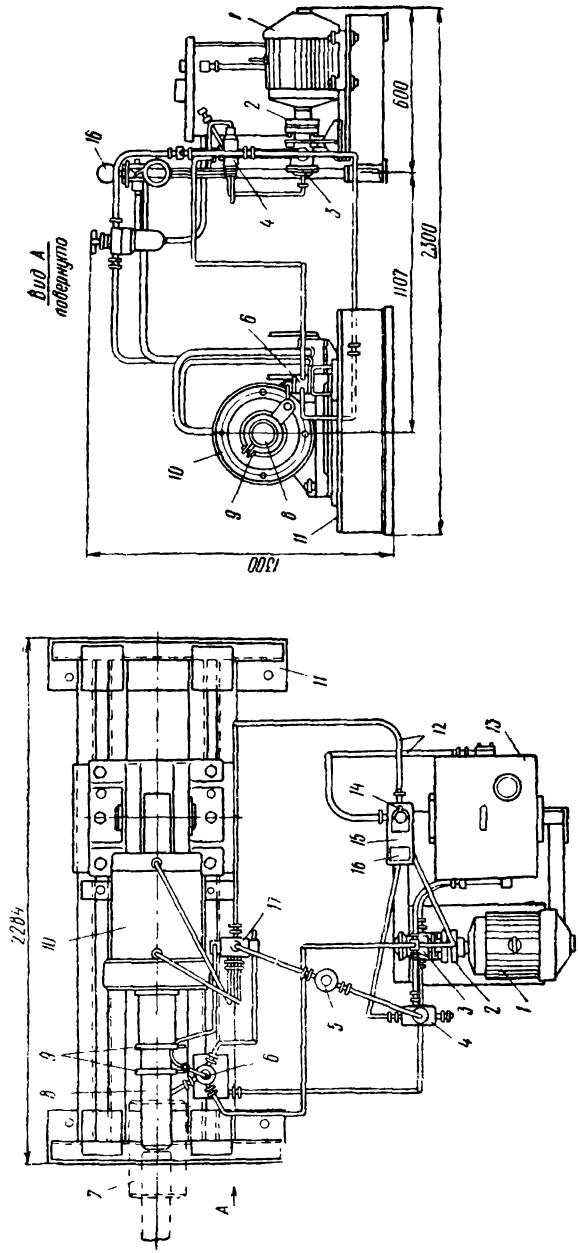


Рис. 41. Гидравлический привод:  
 1 — электродвигатель, 2 — муфта, 3 — насос, 4 — предохранительно-сливной клапан, 5 — фильтр, 6 — кран управления, 7 — соединительная втулка, 8 — шток, 9 — хомуты-ограничители, 10 — гидроцилиндр, 11 — рама, 12 — трубы, 13 — тарелка, 14 — рычаг дросселя, 15 — регулятор потока, 16 — манометр, 17 — направляющий гидрораспределитель

гулятора потока, можно в широком диапазоне плавно изменять среднюю скорость движения штока гидроцилиндра. Величину хода штока в пределах от 0 до 150 мм регулируют, изменяя расстояние между хомутами-ограничителями 9.

Эксцентрикитет хода каретки механизма выгрузки, т. е. разное по величине отклонение колосниковой решетки от балки-рассекателя при прямом и обратном ходе, устанавливают смещением хому-

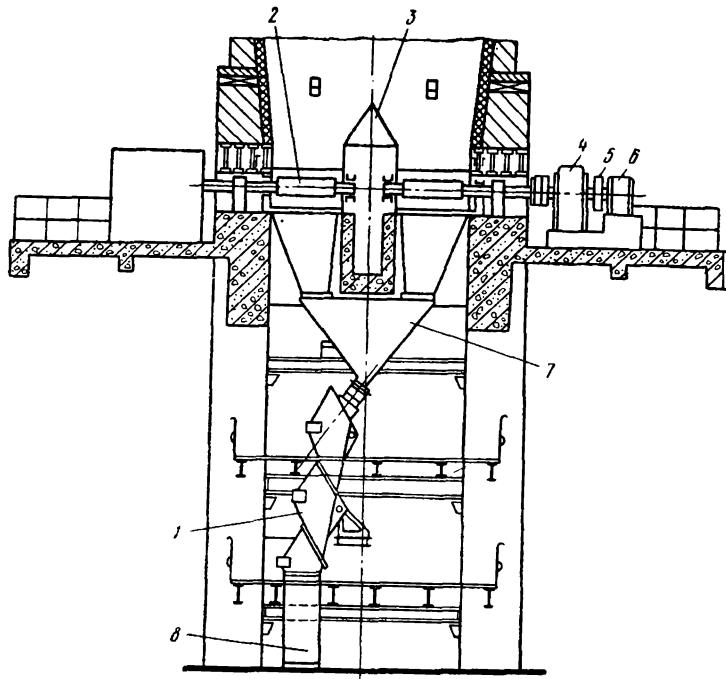


Рис. 42. Выгрузочное устройство с вращающимися валками конструкции Союзгипрострома:  
1 — шлюзовой затвор, 2 — валок, 3 — балка-рассекатель, 4 — редуктор, 5 — муфта, 6 — электродвигатель, 7 — бункер, 8 — течка

тов-ограничителей вдоль штока 8. Механизм выгрузки со смещением хода колосниковой решетки работает при неравномерном опускании материала в шахте печи (при наличии зависаний, сваров шихты и т. п.).

Выгрузочное устройство с вращающимися валками конструкции Союзгипрострома (рис. 42) включает в себя механизм выгрузки с приводом, бункер 7, шлюзовой затвор 1 и течку 8.

Механизм выгрузки выполнен в виде двух секций, расположенных по обе стороны от балки-рассекателя 3. Каждая секция состоит из десяти зубчатых валков 2 диаметром 0,4 м и длиной 1,5 м,

расстояние между поверхностями которых равно 70 мм. Зубцы валков выполнены из марганцовистой стали, что повышает их износостойчивость. Оси валков вращаются в подшипниках, снабженных водяным охлаждением. На каждом из валков со стороны привода насыжены зубчатые шестерни.

Каждые пять валков имеют самостоятельный привод, состоящий из электродвигателя 6 типа ПМУ5М12 мощностью 1 кВт, клиноременной передачи, двух последовательно работающих редукторов 4 и муфт. При вращении ведущего валка вращаются остальные четыре, причем в секции каждая пара валков вращается навстречу одна другой с частотой, которая регулируется в пределах от 0 до 0,135 об/мин. Максимальной частоте вращения валков соответствует производительность механизма 675 т/сут извести. Механизм выгрузки оборудован системой централизованной смазки всех вращающихся частей. Чтобы удобно было обслуживать отдельные детали механизма, под балкой 3 устроен специальный коридор.

Механизм выгрузки с вращающимися валками надежен в работе и обеспечивает равномерный отбор материала по поперечному сечению печи. Вращающиеся зубчатые валки легко дробят как крупные куски извести, так и комья сваров продукта обжига.

**Барабанный затвор** (рис. 43), применяемый для герметизации выгрузочного механизма шахтных печей, состоит из корпуса 5 и расположенного внутри него ячейкового (секционного) барабана, который вращается на валу 12 в опорных подшипниках 13 с частотой 3,05 об/мин. На валу 12 насыжено зубчатое колесо 8, соединенное с шестерней 11. Шестерня 11 соединена с выходным валом редуктора 1, который посредством шкива 4 и клиноременной передачи 3 соединен с электродвигателем 2 мощностью 4,5 кВт. Барабанный затвор снабжен входным 6 и выходным 9 патрубками.

При вращении барабана куски извести из бункера через входное отверстие затвора поступают в подошедшую ячейку и заполняют ее. Заполненная известью ячейка, вращаясь, перемещается к выгрузочному отверстию, а следующая за ней ячейка в это время наполняется известью.

При шестисекционном барабане между загрузочным и выгрузочным отверстиями затвора на пути воздуха находятся постоянно две лопасти барабана с частично заполненными известью ячейками (секциями).

Барабанные затворы обеспечивают достаточную герметизацию печи при давлении дутьевого воздуха до 2500 Па и температуре выгружаемой извести до 100° С.

**Шлюзовый затвор** (рис. 44) состоит из трех последовательно соединенных камер 6, имеющих клапаны 9, 11, 13 с принудительными зажимами. Противовесы 10, 12, 14 плотно прижимают клапаны к горловинам 7 камер, не пропуская известь и воздух в другие камеры. Клапаны последовательно открываются посредством тяг 5, соединенных с кулачками 3 переключающего механизма. Кулачки закреплены на оси 4, получающей вращение от электродвигателя 16 через червячный редуктор 15.

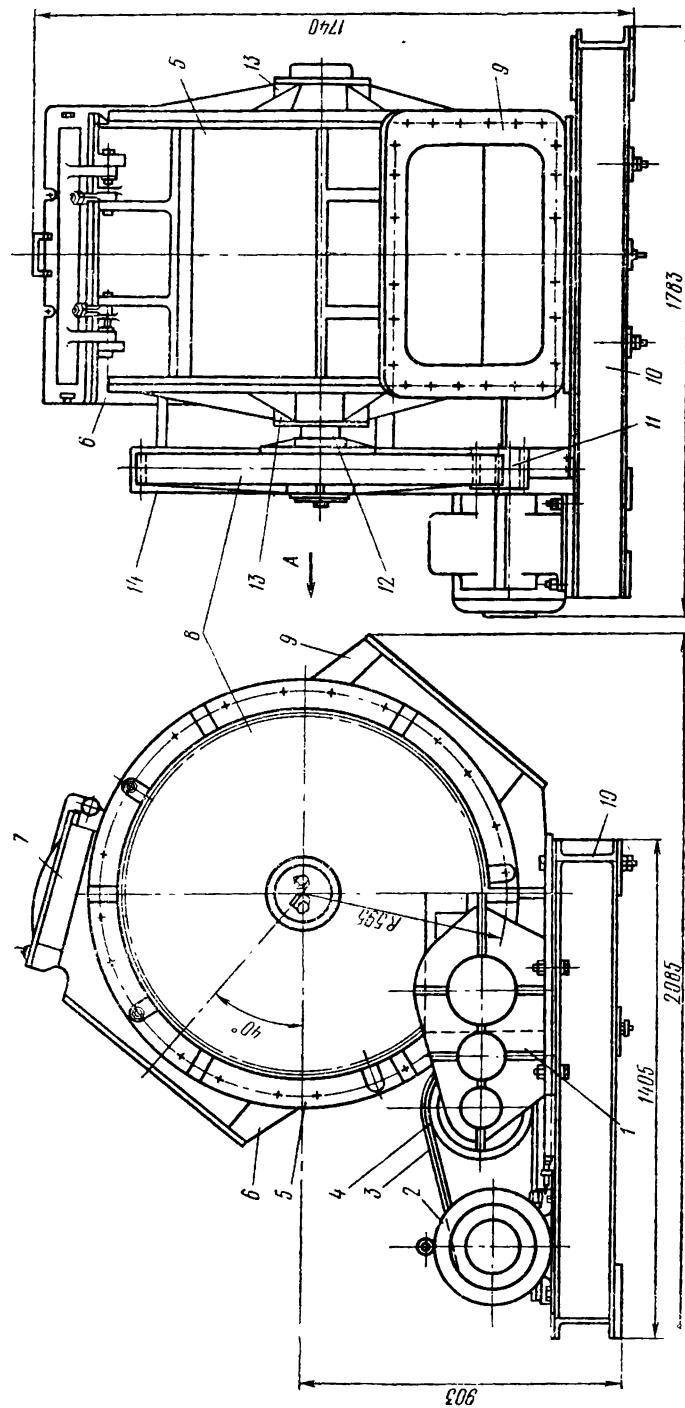


Рис. 43. Барабанный затвор:  
 1 — реулектор, 2 — электродвигатель, 3 — клипоременная передача, 4 — кипоременная передача, 5 — шкив, 6 — корпус барабана, 7 — патрубок, 8 — лоток, 9 — зубчатое колесо, 10 — выходной патрубок, 11 — рама, 12 — шестерня, 13 — вал, 14 — подшипник.

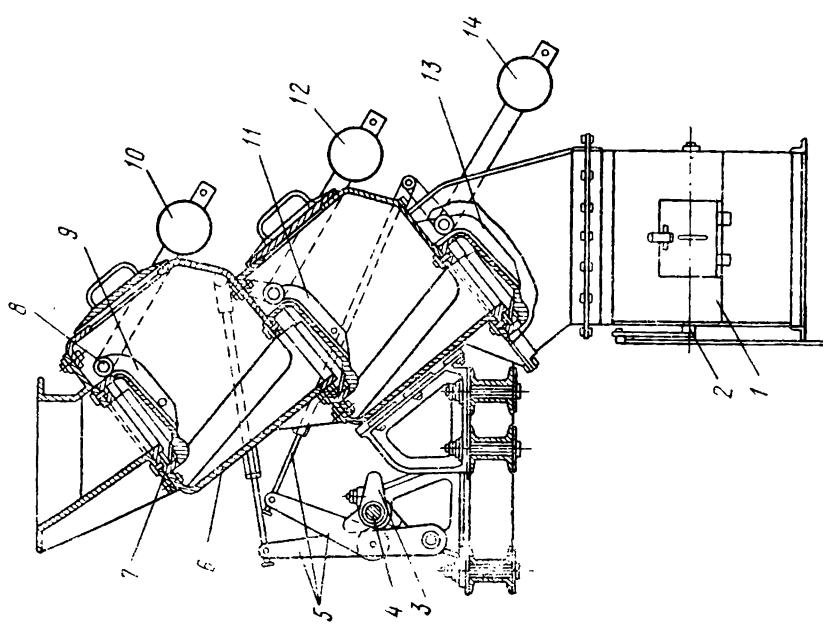
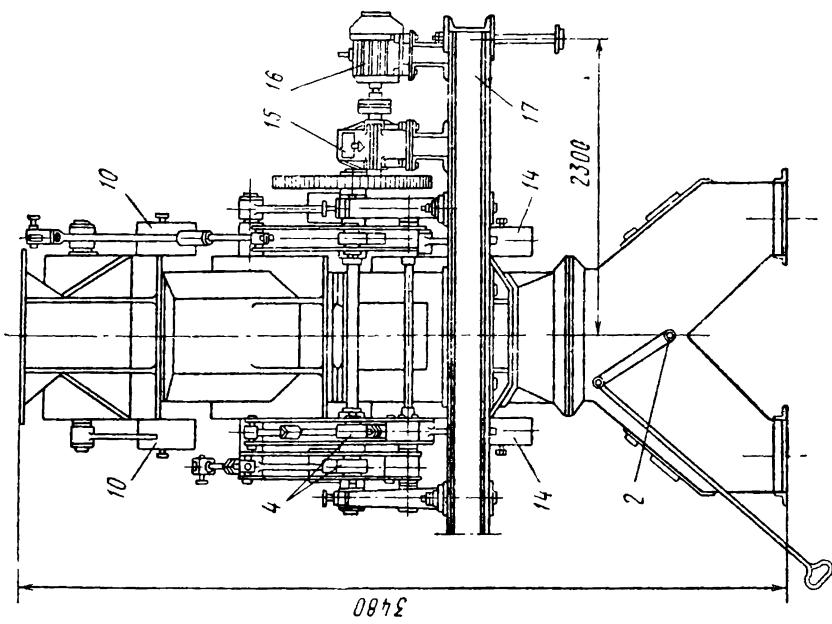


Рис. 44. Шлазовой затвор:  
1 — течка, 2 — поворотный шибер, 3 — камера, 4 — кулачки, 5 — ось, 5 — тяги, 6 — камера, 7 — горловина камеры, 8 — клапаны, 9, 11, 13 — клапаны, 10, 12, 14 — противовесы, 15 — редуктор, 16 — электродвигатель, 17 — рама

Таблица 4

## Технические характеристики механического оборудования шахтных печей конструкции Союзгипростроя

Показатели	Производительность печи, т/сут					
	30	50	100	150	200	450
<i>Скиповое загрузочное устройство</i>						
Масса (ориентировочно), т	12,4	13	13,7	23,6	23,6	63,2
<b>С к и п о в о й подъемник</b>						
Грузоподъемность лебедки, т	2	2	2	4	4	8
Скорость подъема ковша, м/с	0,63	0,63	0,63	0,45	0,45	0,4
Мощность привода лебедки, кВт	14	14	14	20	20	40
Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	0,5	0,5	0,75	1,5	1,5	3 (два ковша)
<b>Двухклапанный механизм загрузки с поворотной чашей</b>						
Частота вращения чаши, об/мин	1,8	1,8	2,4	1,35	1,35	1,35
Мощность привода чаши, кВт	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	3
<b>Выгрузочное устройство</b>						
Масса (ориентировочно), т	8,1	10	12,8	18,7	18,7	60
<b>Механизм выгрузки</b>						
Движущаяся колосниковая решетка конструкции Союзгипростроя						
Производительность максимальная, т/ч	3,2	3,2	4,2	8,3	16	28
Максимальный ход каретки, м	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	—
Максимальное усилие на штоке, кН	40	40	110	180	180	—
Максимальная частота вращения валков, об/мин	—	—	—	—	—	0,135
<b>Гидравлический привод</b>						
Регулирование ходов штока	числа	Плавное дроссельное				
Максимальное усилие на штоке, кН	52	110	180		400	

*Продолжение табл. 4*

Показатели	Производительность печи, т/сут					
	30	50	100	150	200	240
Рабочее давление масла в гидросистеме, МПа	5	3,5	5		5	
Число гидроцилиндров, шт.	1	2	2	1	1	—
Объемный расход масла, л/с	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	—
Мощность электродвигателя насоса, кВт	1,7	2,8	4,5	5,5	5,5	—
<b>Электромеханический привод с храповым вариатором</b>						
Регулирование числа ходов штока	Ступенчатое					
Максимальное усилие на штоке, кН	250					
Частота вращения эксцентриковой шайбы редуктора, об/мин	36					
Эксцентрикитет шайбы, м	0—0,122					
Максимальное передаточное число храпового механизма $i_{\max}$	80					
Пределы регулирования передаточного числа храпового механизма	1—18					
Мощность электродвигателя, кВт	7,5					
Частота вращения электродвигателя, об/мин	1500					
Тип редуктора	РМБ 400-II-2					

Переключающий механизм отрегулирован таким образом, что известь пропускается только при открытом клапане одной камеры; клапаны двух других камер в это время закрыты.

Клапаны шлюзового затвора могут открываться и закрываться электрическими исполнительными механизмами, а также гидроприводами или пневмоприводами.

Поворотный шибер 2 служит для направления потока извести по течке 1 на рабочий или резервный конвейер. Шлюзовой затвор обеспечивает герметизацию нижней части шахты печи при давлении воздуха до 6000 Па. Цикл открывания затворов механизма составляет 20—40 с и регулируется частотой вращения кулачкового вала. Мощность электродвигателя привода 1 кВт.

Барбанные и шлюзовые затворы работают только при незаполненном известью бункере выгрузочного механизма. Поэтому вначале включают в работу затвор, а затем выгрузочный механизм.

Технические характеристики механического оборудования шахтных печей конструкции Союзгипрострома приведены в табл. 4.

## §18. УСТРОЙСТВО И РАБОТА ШАХТНЫХ ПЕРЕСЫПНЫХ ПЕЧЕЙ

Шахтные печи, работающие на твердом топливе пересыпным способом, широко применяют при производстве извести. В шахтных печах этого типа производительностью 30—370 т/сут в нашей стране выпускается более половины общего производства извести.

Шахтные печи конструкции Союзгипростроя широко применяют в промышленности строительных материалов, черной металлургии, химической и пищевой промышленности.

Печи отличаются значительной рабочей высотой шахты в пределах 18—24 м и достаточной теплоизоляцией корпуса, что обеспечивает высокую экономичность процесса обжига (табл. 5).

Таблица 5

**Показатели шахтных пересыпных печей конструкции Союзгипростроя**

Показатели	Производительность, т/сут				
	30	50	100	200	370
Высота печи, м:					
рабочая . . . . .	18	18,2	18	19	24
строительная . . . . .	27,2	27,2	27,8	34,6	45
Внутренний диаметр шахты, м . . . . .	2	2,5	3,2	4,3	6,13
Полезный объем шахты, м <sup>3</sup>	56,5	89	143	265	666
Съем извести в сутки:					
с 1 м <sup>2</sup> поперечного сечения, т/м <sup>2</sup> ·сут . . . . .	9,55	10,2	12,5	13,8	12,5
с 1 м <sup>3</sup> полезного объема, т/м <sup>3</sup> ·сут . . . . .	0,53	0,56	0,7	0,75	0,56
Расход условного топлива, кг/т . . . . .	134	133	133	133	129

Предусмотренные съемы извести в сутки с единицы поперечного сечения (1 м<sup>2</sup>) зоны обжига и единицы полезного объема (1 м<sup>3</sup>) шахты отличаются умеренными величинами (см. табл. 5), что позволяет организовать достаточно мягкий обжиг с минимальным содержанием пережженной извести и высоким (80—85%) содержанием активных окислов кальция и магния. Умеренные съемы извести с 1 м<sup>3</sup> полезного объема (0,53—0,75) обеспечивают достаточную длину зоны подогрева, низкую температуру отходящих газов 110—120° (без подсасывания холодного воздуха) и, следовательно, относительно низкий удельный расход топлива на обжиг.

*Шахтные пересыпные печи этого типа производительностью 100 и 200 т извести в сутки показаны на рис. 45. Шахта в зонах обжига и подогрева имеет цилиндрическую форму с круглым сечением, которое в зоне охлаждения, постепенно уменьшаясь, переходит на квадратное.*

Кладка шахты в зоне обжига состоит из футеровки 2 (шамотный кирпич марки Д толщиной 345 мм), слоя 3 из легковесного шамотного кирпича ШЛБ-1,3 толщиной 230 мм и слоя 4 теплоизоля-

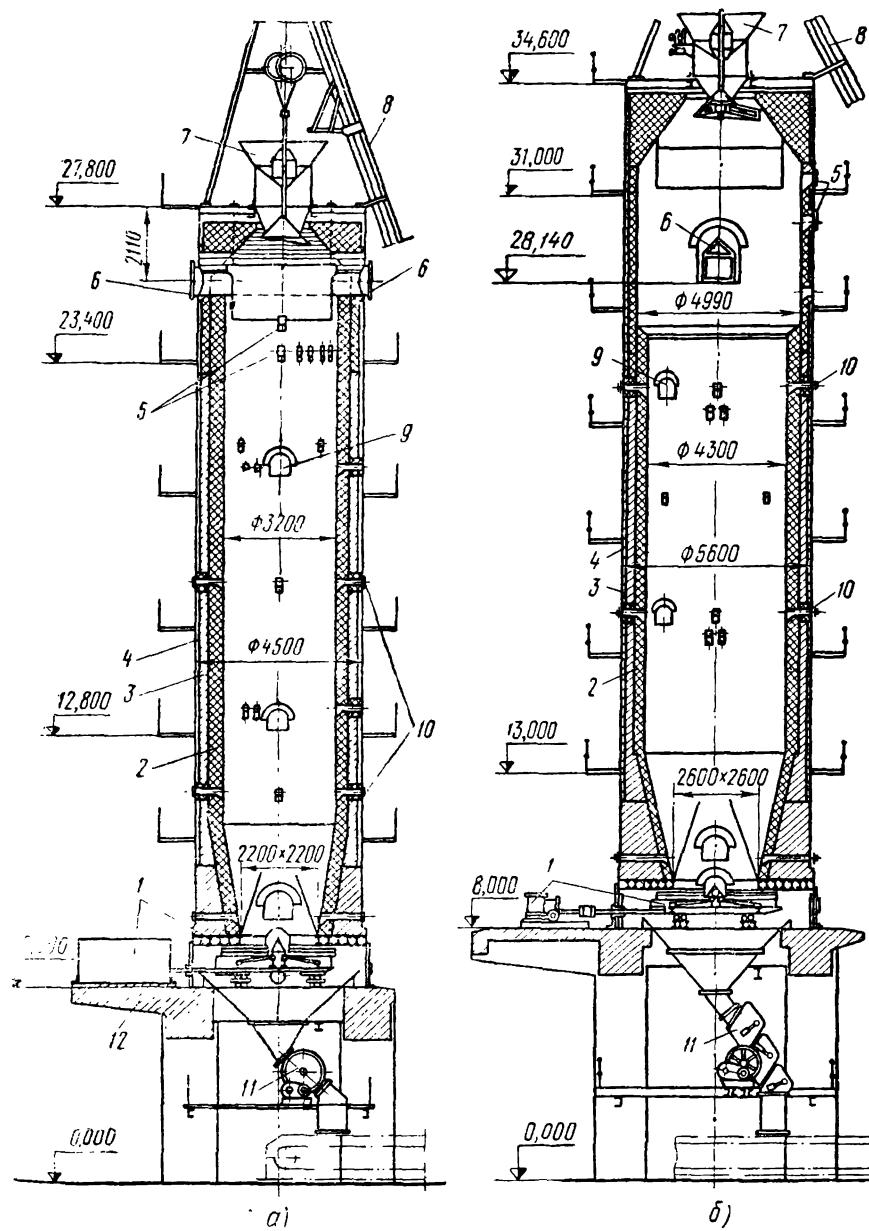


Рис. 45. Шахтные пересыпные печи конструкции Союзгипрострома производительностью:

*a* — 100 т/сут, *b* — 200 т/сут; 1 — выгрузочный механизм, 2 — футеровка, 3 — слой кладки из газокерамического кирпича, 4 — слой теплоизоляционной засыпки, 5 — отверстия для установки генераторов уровня шихты, 6 — патрубки (короб) для отсоса газов, 7 — загрузочное устройство, 8 — склоновой подъемник, 9 — вспомогательные люки (лазы), 10 — гляделки, 11 — механический затвор, 12 — фундаментная плита

ционной засыпки трепелом толщиной 65 мм. Корпус печей заключен в кожух из листовой стали толщиной 8—10 мм. Футеровка зоны подогрева опирается на два опорных кольца, прикрепленных к внутренней стороне кожуха. Это позволяет менять футеровку зоны обжига при ремонте печи, не нарушая футеровки зоны подогрева, срок службы которой обычно значительно больше.

В корпусе шахты печей предусмотрено по высоте три лаза (люка) 9, необходимых для загрузки печи материалами в период ее подготовки к пуску и во время ремонта. В верхней части шахты расположены отверстия 5 для установки измерительных преобразователей КИП. В зоне обжига шахты предусмотрено два ряда отверстий-гляделок 10 для контроля режима обжига и отверстия для установки измерительных преобразователей КИП.

Сырье и топливо загружают в печь с помощью скрапового подъемника 8 и автоматического дозатора. Объем ковша скрипа для печи производительностью 50 т/сут равен 0,5 м<sup>3</sup>, для печи 100 т/сут — 0,75 м<sup>3</sup> и для печи 200 т/сут — 1,5 м<sup>3</sup>.

Загрузка материалов в печь полностью автоматизирована и производится по сигналу уровнемера шихты, что позволяет поддерживать в шахте уровень шихты в заданных пределах. Механизмы загрузки печей — двухклапанные с поворотной чашей. На печах производительностью 100 и 200 т/сут нижний распределительный конус механизма — неравнобокий, поворачивающийся. На печи производительностью 50 т/сут он снабжен, кроме того, отбойными пластинами.

Из печей производительностью 50 и 100 т/сут газы отсасываются с двух сторон шахты через патрубки 6, из печи производительностью 200 т/сут — через металлический короб, сообщающийся с шахтой нижней своей частью. Короб находится постоянно под слоем известняка, что значительно снижает подсос холодного воздуха в печь через загрузочное устройство.

На всех печах предусмотрена очистка отходящих газов от пыли с помощью циклонов НИИОГАЗ типа ЦН-15. На печи производительностью 50 т/сут установлено четыре циклона диаметром 400 мм, на печи 100 т/сут — шесть циклонов диаметром 550 мм и на печи 200 т/сут — шесть циклонов диаметром 600 мм.

Печные газы отсасываются дымососами Д-10 (для печей 50 и 100 т/сут) и Д-12 (для печи 200 т/сут).

Известь выгружается выгрузочной решеткой 1 с возвратно-поступательным движением. Привод решетки — гидравлический. Герметизация нижней части печей производительностью 50 и 100 т/сут осуществляется барабанным затвором 11, у печи производительностью 200 т/сут трехшлюзовым затвором. Воздух под решетку нагнетается дутьевым вентилятором ВВД-8у (для печей 50 и 100 т/сут) и ВВД-10 (для печи 200 т/сут).

*Шахтная пересыпная печь конструкции Союзгипрострома* производительностью 370 т/сут (рис. 46) представляет собой цилиндрическую шахту, установленную на железобетонную плиту 3, которая четырьмя колоннами 2 опирается на фундамент. В зонах обжи-

та и подогрева шахта имеет круглое поперечное сечение, которое в зоне охлаждения на уровне валков 15 механизма выгрузки плавно переходит на квадратное.

Футеровка 5 шахты в зоне обжига (области высоких температур) выполнена магнезитохромитовым кирпичом марки МХСО толщиной 380 мм, а в верхней части зоны подогрева и зоне охлаждения — шамотным доменным кирпичом марки Д толщиной 345 мм. Цокольная часть шахты выложена из шамотного кирпича 4 общего назначения. Тепловая изоляция шахты состоит из слоя шамотного кирпича 6 марки ШЛБ-1,3 толщиной 230 мм и слоя 7 теплоизоляционной засыпки молотым трепелом толщиной 64 мм. Кладка заключена в кожух 8 из листовой стали толщиной 16 мм.

Полезная высота шахты 24 м обеспечивает высокую степень использования тепла отходящих газов и низкий удельный расход условного топлива (129 кг на 1 т извести). Производительность печи, равная 370 т/сут, определена из расчета удельного съема извести с единицы поперечного сечения шахты в зонах обжига и подогрева 12,5 т/м<sup>2</sup>·сут при выпуске извести с содержанием активных CaO+MgO не ниже 85%. Оборудование печи выбрано с учетом повышения ее производительности на 20% по сравнению с проектной.

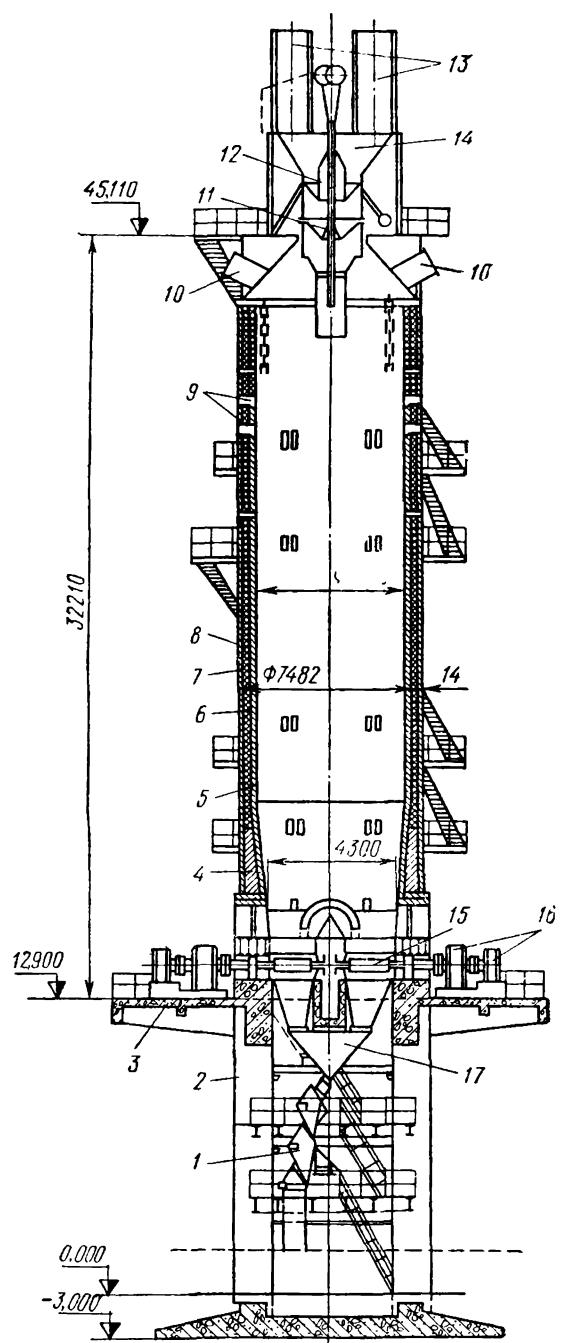
Печь загружается известняком и коксом с помощью автоматического ленточного дозатора, скипового подъемника 13 и двухклапанного механизма загрузки с поворотной чашей 14 и распределительным лотком 26.

Скиповoy подъемник 13 оборудован двумя ковшами вместимостью 3 м<sup>3</sup> каждый, которые двигаются и разгружаются синхронно: загруженный ковш поднимается одновременно с опусканием порожнего, один ковш выгружается одновременно с загрузкой другого. Такое устройство позволило снизить скорость движения ковша и массу металлоконструкций подъемника, уменьшить расход электроэнергии на привод лебедки. Подъемник оборудован системой для улавливания ковшей при обрыве каната, а лебедка снабжена блокировочными устройствами, отключающими ее при ослаблении или обрыве каната.

Новым в работе механизма загрузки печи является использование отдельной лебедки ЛОК-3,5 для подъема колокола 12 и опускания конуса 11. Мощность электродвигателя лебедки 6,5 кВт, средняя скорость движения каната 0,51 м/с.

Для защиты футеровки от ударов кусков сырья и топлива при загрузке материалов в шахту предусмотрена цепная завеса 25 из свободно висящих цепей ЦОН 20×120. Цепная завеса (рис. 47) укреплена на опорной конструкции (плите) 3 крюками.

Известь равномерно отбирается по поперечному сечению шахты и выдается на пластинчатые конвейеры выгрузочным устройством, состоящим из механизма выгрузки с вращающимися валками 15 (см. рис. 46) и привода 16, балки-рассекателя 19, промежуточного бункера 17 и шлюзового затвора 1. В шлюзовом затворе вместо рычажно-кулачкового механизма для открывания клапанов использу-



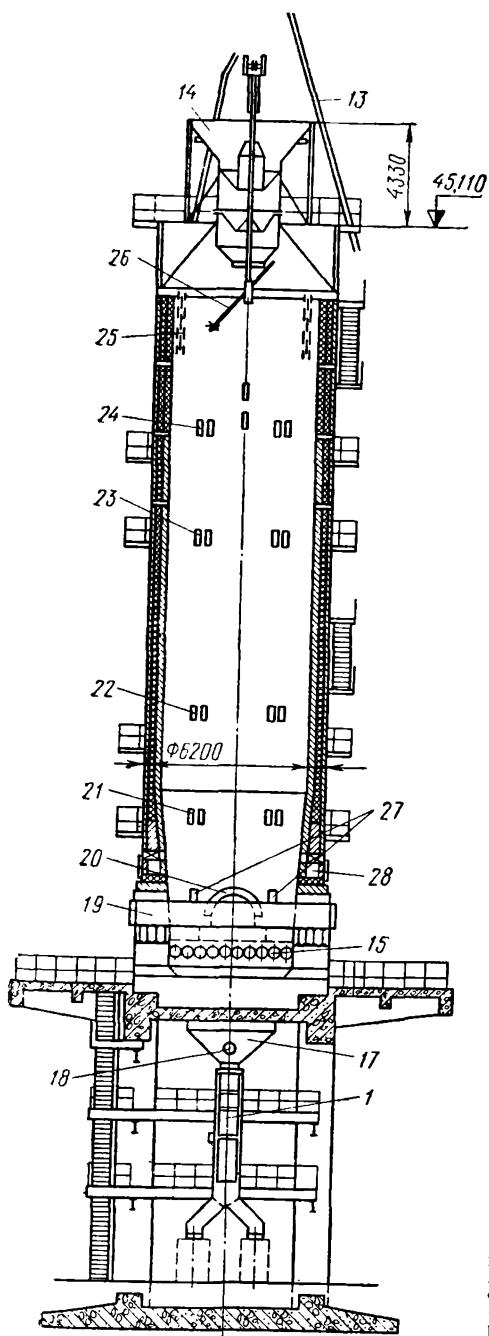


Рис. 46. Шахтная пересыпная печь конструкции Союзгипростроя производительностью 370 т/сут:

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 преобразователей уровня мера шихты, 10 — патрубок для отсоса газов, 11 — конус, 12 — колокол, 13 — сквозной подъемник, 14 — поворотная чаша, 15 — валки, 16 — привод валков, 17 — бункер, 18 — патрубок, 19 — балка-рассекатель, 20, 28 — лазы, 21 — отверстие-глайделька, 22, 23, 24, 27 — отверстия для установки измерительных преобразователей КИП, 25 — цепная завеса, 26 — распределительный лоток

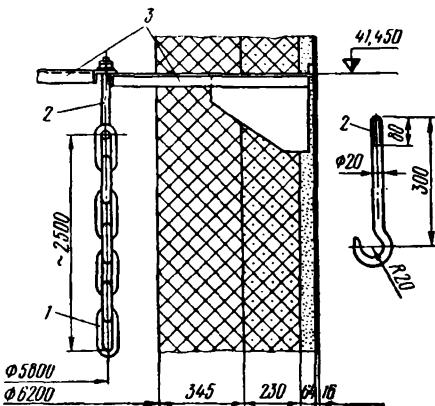


Рис. 47. Цепная завеса:  
1 — цепь, 2 — крюк, 3 — опорная конструкция

В корпусе шахты предусмотрены лазы (люки) 20, 28, отверстия 9 для установки преобразователей радиоактивного указателя уровня материала в шахте, отверстия 21—24, 27 для установки измерительных преобразователей КИП.

Для ведения процесса обжига в оптимальном режиме на печи смонтированы: система автоматического регулирования параметров отходящих газов и система автоматической загрузки печи по сигналу уровнемера шихты, система дистанционного управления оборудованием и механизмами печи, автоматическая аппаратура для измерения температуры, давления и состава печных газов.

*Шахтная пересыпная печь конструкции Гипрохима* производительностью 300 т/сут (рис. 48) представляет собой два усеченных конуса, сопряженных по большим основаниям цилиндром. Диаметр цилиндрической части шахты в свету равен 6,2 м, диаметр верха шахты — 4,2 м и низа шахты — 4,5 м. Рабочая высота шахты 22,5 м, полезный объем 520 м<sup>3</sup>.

Футеровка шахты толщиной 575 мм выложена из шамотного кирпича Д; слой теплоизоляции толщиной 133 мм выполнен из шамотной крошки и асбеста. Кладка печи заключена в стальной кожух толщиной 12 мм.

На загрузочную площадку печи известняк подается подвесными ковшами (люльками) канатной дороги со склада сырья. При загрузке ковшей известняком фракция менее 40 мм отсеивается на валковом грохоте. Установленный на загрузочной площадке печи автоматический весовой дозатор «Ростерай» загружает кокс в ковш поверх слоя известняка. Точность дозирования кокса  $\pm 2\%$ . Фракция кокса менее 10 мм перед подачей в дозатор отсеивается на виброгрохоте.

Печь оснащена двухклапанным механизмом загрузки конструкции Гипрохима, состоящим из приемной воронки 10, клапанов 12,

зованы исполнительные механизмы МЭО. Выгрузочное устройство рассчитано на максимальную производительность 675 т/сут.

Воздух для горения твердого топлива и охлаждения извести подается в промежуточный бункер 17 через два диаметрально расположенных патрубка 18 двумя вентиляторами под давлением 6500 Па. Отходящие газы удаляются из печи через два патрубка 10 и после мокрой очистки от твердых примесей направляются компрессором в технологический цех для использования содержащейся в них углекислоты.

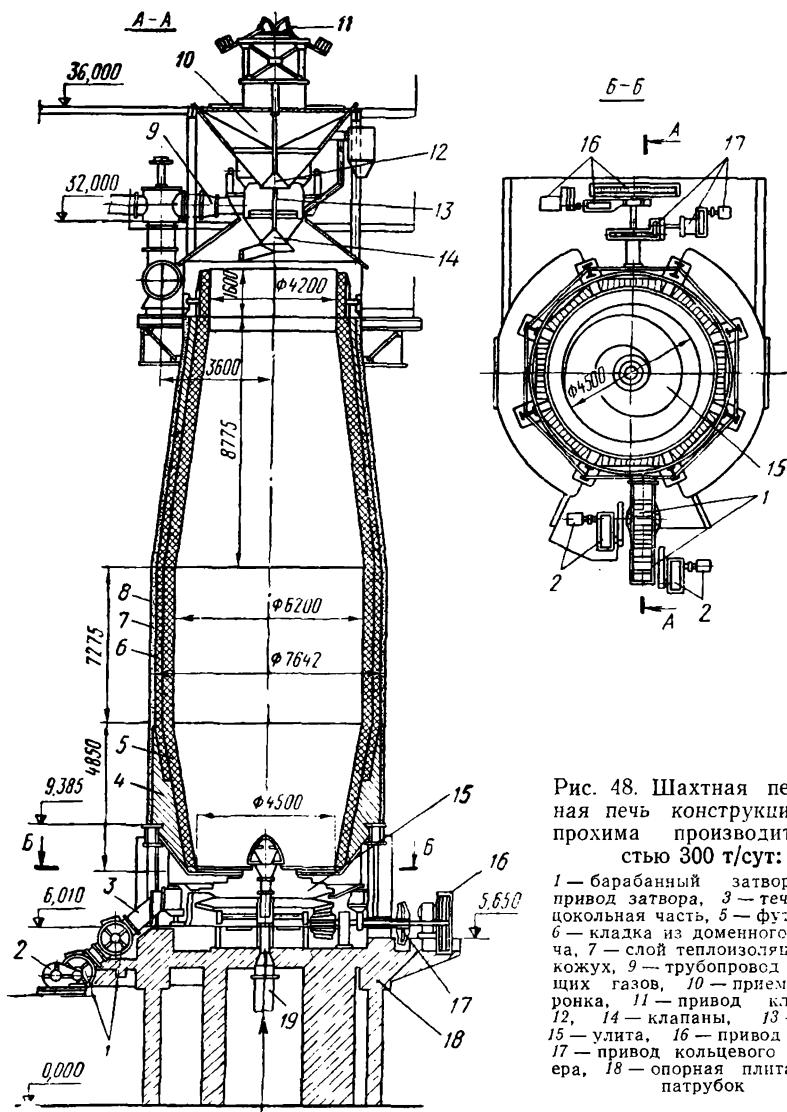


Рис. 48. Шахтная пересыпная печь конструкции Гипропрома производительностью 300 т/сут:

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 — улитка, 16 — привод улиты, 17 — привод кольцевого конвейера, 18 — опорная плита, 19 — патрубок

14 и их привода 11 и штока 13. За один цикл в приемную воронку 10 механизма загрузки опрокидывается четыре ковша (8 т) известняка. Газы из промежуточного бункера механизма загрузки отсываются вентилятором № 3.

Уровень шихты в печи измеряется штанговым уровнемером.

Известь выдается из печи выгрузочным устройством, состоящим из механизма выгрузки с вращающимся подом (улиткой) 15, течки 3 и двух последовательно установленных барабанных затворов 1.

Печь работает под давлением. Воздух для горения топлива на-

гнетается в шахту двумя потоками: в приосевую зону печи через патрубок 19 в количестве 2500—3000 м<sup>3</sup>/ч вентилятором «ЕНЕК-35,5», под кольцевой конвейер в пристенную и промежуточную зоны печи в количестве 13 000 м<sup>3</sup>/ч вентилятором «ЕНЕК-56».

Газы удаляются из печи через два вертикальных патрубка, соединенных с трубопроводом 9, по которому поступают в вертикальный трубчатый электрофильтр-скрубер СМС-6,2. После очистки газы подаются в технологический цех для использования содержащейся в них углекислоты.

Печь оснащена контрольно-измерительной и регулирующей аппаратурой. Содержание CO<sub>2</sub> в отходящих газах измеряется комплексом, состоящим из преобразователя ТП-20220 и вторичного самопищащего прибора МРС1-03. Система автоматического регулирования включает термометр ТХК, который измеряет температуру, пропорциональную температуре выгружаемой из печи извести, регулятор и исполнительный механизм, воздействующий на привод улиты. Регулятор поддерживает температуру выгружаемой извести в заданных пределах изменением частоты вращения улиты.

Печь рассчитана на рабочий режим со съемом 10 т извести в сутки на 1 м<sup>2</sup> поперечного сечения шахты в зоне обжига. Съем извести при этом составляет 0,57 т/м<sup>3</sup>·сут. Проектный удельный расход условного топлива равен 127 кг на тонну извести.

## § 19. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ШАХТНЫХ ПЕРЕСЫПНЫХ ПЕЧЕЙ

Перед пуском выстроенной или прошедшей капитальный ремонт печи проверяют соответствие монтажа оборудования техническому проекту и выполняют сушку печного агрегата.

### Сушка печи

Общий срок сушки состоит из трех периодов: периода вентиляции печи, предварительного подогрева и окончательной сушки.

*Первый период* длится 1—2 суток. В это время сушка ведется только на дровах. Для этого выбирают крупные, не очень сухие поленья. Закладывают известняком механизмы и металлические части (гребень, конус, выгрузочный механизм), находящиеся внизу зоны охлаждения печи, открывают полностью загрузочное устройство и дымовую трубу и на защитном слое раскладывают костер из дров. После розжига костра поддерживают его умеренное горение, впуская в печь воздух через открытые люки выгрузочного механизма. Температуру дымовых газов в шахте на уровне первого ряда гляделок поддерживают 50—90°С.

*Второй период* сушки имеет ту же продолжительность. Температуру греющих газов поддерживают 120—160°С. Для этого сушку ведут при закрытом загрузочном устройстве и открытой дымовой трубе. Подачу воздуха ограничивают, частично прикрывая люки выгрузочного механизма.

*В третий период* частично прикрывают шибер дымовой трубы и температуру на уровне первого ряда гляделок постепенно поднимают до 500°С. После достижения 500°С сушку считают законченной и приступают к постепенному охлаждению печи.

На время охлаждения печи закрывают люки выгрузочного механизма, гляделки и шибер дымовой трубы. Первые сутки печь охлаждается за счет потерь тепла в окружающую среду и подсоса холодного воздуха через неплотности гляделок, люков и т. п. На вторые сутки шибер и гляделки слегка приоткрывают и печь доводят до полного охлаждения. Резкое охлаждение печи из-за возможности повреждения футеровки не допускается, в связи с чем в период охлаждения нельзя продувать печь вентилятором или дымососом.

При сушке печи необходимо следить, чтобы возле люков и гляделок не было людей. Обжигальщик при наблюдении за процессом сушки через гляделки пользуется защитными очками; дверки, смотровые окна и люки открывает в рукавицах; при осмотре загрузочного механизма пользуется противогазом.

#### **Пуск и остановка печи**

Перед розжигом и пуском печи после монтажа, ремонта или длительной остановки начальник цеха, механик, сменный мастер и обжигальщик тщательно осматривают и проверяют состояние футеровки печи, а также оборудование всей технологической линии от склада сырья и топлива до склада извести. Проверяют состояние дымососа и вентилятора печи, ее загрузочных и выгрузочных механизмов; осматривают электроаппаратуру и контрольно-измерительные приборы; проверяют наличие запаса сырья и топлива, а также необходимых для розжига печи материалов.

Убеждаются в наличии на рабочих местах противопожарных средств, аптечки и средств индивидуальной защиты обслуживающего персонала. На каждом рабочем месте в рамке под стеклом вывешивают инструкцию по безопасным методам работы на данном агрегате, машине или механизме.

*Подготовка шахтной пересыпной печи к розжигу* начинается с заполнения зоны охлаждения печи комовой известью (чтобы не повредить выгрузочный и герметизирующий механизмы), а затем дровами. Перед этим закладывают досками выгрузочные окна, закрывают люки и удаляют людей от окон и люков. Далее поверх кусков извести выкладывают 5—10 м<sup>3</sup> сухих поленьев размером около 1 м, располагая их в клетку. В середину деревянной кладки закладывают изготовленный из ветоши фитиль. Конец фитиля выводят наружу через гляделку.

Поленья дров выкладывает рабочий, находящийся в шахте печи. Он работает под наблюдением рабочего, находящегося у вспомогательного загрузочного окна. Дрова загружают в печь небольшими порциями (15—20 поленьев). Уложенные в шахту дрова пропитывают жидким горючим (керосином, нефтью, мазутом). Для этого горючее подают в ведрах через вспомогательный загрузочный

ный люк и равномерно выливают по всей поверхности загруженных дров с тем, чтобы все поленья и фитиль пропитались горючим.

Пропитка дров горючим по мере выкладки в шахте недопустима, так как при этом образуются ядовитые взрывоопасные пары и работать в шахте становится опасно.

После пропитки дров горючим заделывают все вспомогательные люки в шахте и приступают к загрузке печи известняком и твердым топливом до уровня, соответствующего  $\frac{2}{3}$  рабочего объема. В связи с тем что в период пуска печи требуется больше топлива, чем в период эксплуатации, расход твердого топлива для первой засыпки устанавливают на 15—20% больше, чем это требуется при нормальной работе печи.

После заполнения печи шихтой закрывают загрузочное устройство и включают дымосос. Затем проверяют наличие в печи необходимого разрежения которое на уровне нижних гляделок должно составлять 50—70 Па. При этом воздух поступает в шахту через открытые люки выгрузочного механизма печи. Если печь не имеет дымососа, то необходимое разрежение в печи создается за счет тяги, создаваемой дымовой трубой.

**Розжиг печи.** Разжигают печь с помощью фитиля, заложенного в середину деревянной кладки. При этом необходимо следить за тем, как горят дрова и загорается твердое топливо. По мере горения дров шихта в печи оседает и ее уровень поддерживают новыми порциями известняка и топлива в соотношении, установленном для режима нормальной эксплуатации печи. К моменту выгорания дров топливо должно хорошо разгореться, а нижний слой известняка, расположенный над дровами, нагреться до темно-красного цвета, соответствующего температуре 600—700° С.

**Вывод печи на рабочий режим** начинается с пуском дутьевого вентилятора. Через 18—20 ч после начала розжига делают кратковременную пробную выгрузку материалов из печи. Одновременно продолжают наблюдение за работой печи через гляделки и по показаниям приборов расхода дутьевого воздуха, разрежения (давления) в печи, температуры отходящих газов.

Спустя 30—36 ч после растопки через нижние гляделки должно быть видно ясное светлое пламя без темных пятен. Это означает, что известь равномерно обожглась по всему поперечному сечению печи. После этого пускают выгрузочный механизм на малую скорость. Если число темных пятен в нижнем ряду гляделок резко возрастает, то выгрузку извести следует временно приостановить. Первые порции полученной извести обычно содержат большое количество недожога и поэтому их можно возвратить в печь для повторного обжига.

Дальнейшее наблюдение за процессом обжига ведут по приборам и визуально через гляделки нижнего и верхнего рядов. Через нижние гляделки определяют степень готовности извести, через верхние — высоту зоны обжига. При появлении красных отблесков пламени в верхних гляделках следует увеличить выгрузку, одновременно догружая печь сырьем и топливом. Подъем зоны обжига

выше установленного уровня можно обнаружить также по быстрому росту температуры отходящих газов.

По мере повышения содержания  $\text{CaO} + \text{MgO}$  в воздушной извести до 80—90% увеличивают количество выгружаемой извести, загружаемого сырья и топлива и расхода дутьевого воздуха до проектных значений. После выхода печи на проектные показатели загрузку шихты в печь переводят на автоматическое управление и режим обжига поддерживается в дальнейшем постоянным.

*Остановку шахтной пересыпной печи* выполняют в такой последовательности. Прежде всего прекращают подачу в печь твердого топлива, а через 2—3 ч и сырья. В случае подъема при этом температуры отходящих газов выше 300°С временно выключают дымосос, оставив дутьевой вентилятор в работе до полной выгрузки материала из печи. После выгрузки материала из печи останавливают выгрузочное устройство и дутьевой вентилятор. Печь остывает при работающем дымососе 1—2 суток. При снижении температуры в шахте печи ниже 50°С приступают к ее осмотру.

### Обжиг известняка

**Организация теплового режима.** Для того чтобы при обжиге известняка получить известь заданных свойств и качества, необходимо обеспечить в печи определенный тепловой режим.

Выделение необходимого для разложения известняка количества тепла происходит при горении твердого топлива. Шихта пересыпных печей содержит 6,5—10,5% топлива. Процесс горения разбавленного слоя топлива происходит в несколько стадий. Вначале из топлива выделяется влага, затем летучие вещества, позднее образовавшийся твердый остаток сгорает в присутствии кислорода воздуха.

Процесс разложения каменного угля начинается при низких температурах. При температуре до 500°С из антрацита выделяется водород, метан и летучая сера. Летучие вещества выделяются в интервале 500—700°С, т. е. в зоне подогрева печи, где кислорода недостаточно для их полного сжигания. Ввиду высокой теплоты сгорания метана и водорода потеря тепла с летучими (химический недожог) для антрацита достигает 8,5% от его теплоты сгорания. Меньше всего летучих содержится в коксе, поэтому химический недожог для кокса не превышает 2% его теплоты сгорания.

Потери тепла твердого топлива с летучими веществами учитывают пересчетом его теплоты сгорания по формуле

$$Q_{\text{факт}}^p = Q_n^p - 1408H^p,$$

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

Первостепенное значение имеет правильная организация в печи определенного режима горения твердого топлива. Скорость сгорания кокса или антрацита определяется в основном тремя факторами: максимальной температурой в печи, размером кусков топлива и давлением поступающего воздуха.

Максимальная температура в печи зависит от удельного расхода топлива. Так, при удельном расходе условного топлива 142 кг на 1 т извести максимальная температура превышает 1400°С, а при 127 кг составляет всего 1000°С. Чтобы предотвратить «пережог» извести, максимальная температура в печи не должна превышать 1200°С. Отсюда следует, что в печи необходимо поддерживать с большой точностью удельный расход топлива близко к минимальному значению.

С увеличением размера кусков твердого топлива увеличивается высота зоны его горения в печи. Установлено, что для кусков кокса размером 20 мм высота зоны горения составляет 0,5 м, для фракции 40—60 мм находится в пределах 1,5—1,75 м, фракции 60—80 мм — 2—2,5 м, фракции более 80 мм — 3—3,5 м. Увеличение высоты зоны горения топлива при использовании одной и той же фракции обжигаемого сырья сопровождается ростом производительности печи.

Скорость сгорания твердого топлива в температурном интервале 900—1100°С зависит от скорости подвода кислорода к топливу, т. е. для данной фракции сырья от давления поступающего воздуха.

При температуре выше 1100°С скорость горения топлива зависит только от размера кусков топлива. Таким образом, чем крупнее куски твердого топлива, тем выше производительность печи и меньше вероятность «пережога» извести. Однако размер твердого топлива не должен превышать размер кусков сырья.

При горении углерода топлива помимо  $\text{CO}_2$  образуется значительное количество окиси углерода  $\text{CO}$ . Этому процессу способствует соприкосновение  $\text{CO}_2$  с раскаленной поверхностью углерода топлива (твердого остатка). Такие условия создаются в верхней части зоны обжига, где кислорода недостаточно, при неравномерном распределении топлива в слое шихты и завышенной дозировке топлива.

Разбавление слоя топлива инертным материалом способствует дожиганию окиси углерода. Однако процесс сжигания  $\text{CO}$  никогда не происходит полностью и ухудшается с увеличением содержания в шихте мелочи, которая забивает промежутки между кусками и тем самым препятствует перемешиванию газов.

Содержание  $\text{CO}$  в отходящих газах увеличивается также при послойной загрузке сырья и топлива.

По мере выгорания топлива его куски уменьшаются и поэтому часть из них, проваливаясь между комьями извести, попадает на выгрузочный механизм, составляя потери тепла от механического недожога топлива. Потери от механического недожога минимальны при соотношении размера кусков материала и топлива 1 : 1.

**Организация аэродинамического режима.** Аэродинамическое сопротивление шихты<sup>1</sup> зависит от многих факторов, основными из которых являются гранулометрический состав шихты и скорость газового потока. Чем крупнее куски известняка, тем больший объем пустот между кусками и тем ниже сопротивление единицы высоты слоя. Так, в условиях зоны обжига сопротивление 1 м высоты слоя материала со средним размером 90 мм составляет 140 Па (14 кгс/м<sup>2</sup>), для 60 мм 230 Па и для 30 мм — 600 Па (при скорости газов в шахте около 0,35 м/с). Поэтому в шахтных печах, как правило, обжигают материалы, раздробленные на куски размером более 50 мм. При этом общее сопротивление шахты составляет 2000—2500 Па (2—2,5 кПа).

Присутствие в шихте мелких фракций известняка резко увеличивает сопротивление единицы высоты слоя в шахте.

Большое значение имеет характер распределения газов по поперечному сечению печи. При заполнении шахты известняком объем межкускового пространства у стен всегда больше, чем в центральной части. В связи с этим сопротивление шахты, заполненной материалом, всегда выше в центре по сравнению с периферией. Это явление, называемое «эффектом стенки», приводит к неравномерному распределению скорости газового потока по поперечному сечению шахты. В результате в пристенной части шахты движется на 30% больше воздуха, чем в центральной.

Наиболее резко «эффект стенки» проявляется при вводе воздуха по периферии шахты. Неравномерность движения газов по поперечному сечению печи увеличивается, если применяются несовершенные загрузочные механизмы (без поворотной чаши и специальных распределительных устройств).

Равномерность движения газов в шахте улучшается путем подачи части дутьевого воздуха (20—40%) под давлением 5—6 кПа в центральную часть зоны охлаждения печи через дутьевой конус или балку-рассекатель механизма выгрузки.

**Стадии обжига и их характеристики.** При обжиге известняка в шахтной печи различают три стадии, каждая из которых происходит в определенной зоне печи: зоне подогрева, обжига и охлаждения. Схема шахтной пересыпной печи с расположением зон и распределением в печи состава и температуры газов изображена на рис. 49.

Зона подогрева печи расположена в верхней части шахты и занимает 55—65% ее полезной высоты. В этой зоне куски твердого топлива и известняка, опускаясь вниз, встречаются с горячими газообразными продуктами обжига и нагреваются ими в конце зоны до температуры 850—900°С (кривая 1). Газы выходят из зоны обжига с температурой 900—950°С и, проходя снизу вверх зону подогрева, охлаждаются до температуры 110—150°С (кривая 3).

<sup>1</sup> Аэродинамическим сопротивлением шихты называют потери энергии (напора) газов, которые возникают при их движении через заполненную кусковыми материалами шахту.

В начале зоны подогрева происходят сушка и нагрев шихты, а в конце при температуре 700—800°С завершается процесс газификации топлива с выделением летучих веществ. Для того чтобы топливо не воспламенялось в зоне подогрева, выходящие из зоны обжига газы должны содержать кислород менее 2% (кривая 5).

В температурном интервале 700—900°С полностью разлагается содержащийся в известняке углекислый магний и происходит частичное разложение поверхностных слоев углекислого кальция. Вы-

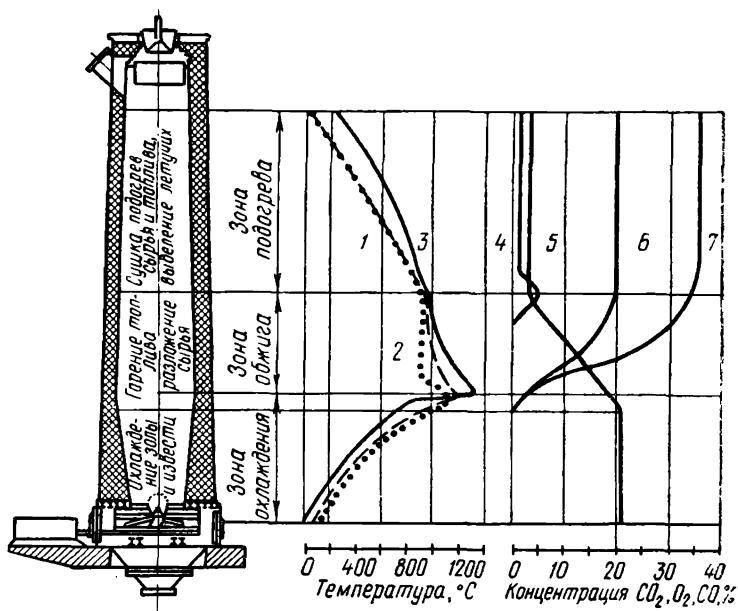


Рис. 49. Расположение зон в шахтной печи, работающей на твердом короткопламенном топливе, распределение по ним температуры материала и газов, состав газообразных продуктов:  
1, 2, 3 — кривые температуры поверхности кусков сырья, центра кусков (пунктирная), газов, 4, 5, 6, 7 — кривые содержания в газах CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> в результате горения топлива, суммарного CO<sub>2</sub>

ходящие из зоны подогрева газы при правильной организации процесса обжига содержат 36—42% углекислого газа CO<sub>2</sub>, 1—3% кислорода O<sub>2</sub> и 0,5—2% окси углерода CO (кривые 7, 5, и 4).

Зона обжига расположена в средней части шахты печи и занимает 10—15% ее полезной высоты. В зоне обжига сгорает основное количество топлива, в результате чего известняк подогревается до необходимой температуры и достаточно быстро разлагается (обжигается). Поэтому под зоной обжига печи следует понимать ту часть шахты, в которой происходит интенсивное выделение CO<sub>2</sub> в результате разложения CaCO<sub>3</sub> (кривая 7).

Температура поверхности кусков известняка (кривая 1) повышается от 850—900°С в начале зоны обжига до 1100—1150°С в конце, что необходимо для полного разложения кусков CaCO<sub>3</sub>. Мак-

суммум температуры газов (кривая 3) совпадает с границей конца зоны обжига и начала зоны охлаждения, так как в этом месте тепло горения топлива расходуется в основном на подогрев воздуха. Зона горения топлива распространяется несколько ниже зоны обжига и занимает часть зоны охлаждения извести. Для того чтобы топливо равномерно выгорало по высоте зоны обжига, необходимо обеспечить поступление воздуха в количестве, соответствующем коэффициенту избытка воздуха  $\alpha = 1,05 - 1,2$ .

*Зона охлаждения* располагается в нижней части печи и занимает 25—30% ее полезной высоты. В зоне охлаждения куски извести отдают тепло движущемуся навстречу холодному воздуху.

Так как физическое тепло извести достаточно для подогрева воздуха лишь до температуры 600—700° С (по тепловому балансу), то дальнейший ее подогрев до температуры 1000—1100° С осуществляется за счет тепла догорающего топлива. Поэтому, чтобы газы (воздух) поступали в зону обжига с температурой 1000—1100° С, необходимо, чтобы зона горения топлива кончалась несколько ниже зоны обжига. Оставшаяся после сжигания топлива зола и известь опускаются к выгрузочному механизму, охлаждаясь до температуры 80—100° С встречным потоком воздуха.

### **Регулирование процесса обжига**

Основные показатели работы печи: производительность по извести, удельный расход топлива и сырья. На показатели работы печи влияют параметры процесса обжига, важнейшими из которых являются: температура обжига, температура отходящих газов, температура выгружаемой извести, скорость и давление (разрежение) газов, химический состав газов, химический и минералогический состав извести.

Заданные параметры процесса обжига поддерживает либо сам обжигальщик, либо они регулируются автоматическими устройствами, которые изменяют соотношение «топливо — сырье», гранулометрический состав топлива и сырья, соотношение «топливо — воздух», режим выгрузки и загрузки печи.

**Расход сырья и топлива.** На расход сырья и топлива при обжиге значительно влияет степень диссоциации сырья ( $\eta_{c.d.}$ ).  $\eta_{c.d.}$  для шахтных печей колеблется в пределах 85—95%.

Сыре и топливо загружают в ковш скипового подъемника автоматическим весовым дозатором. Первоначальную массу сырья и топлива устанавливают на основании проектных данных печи и теплоты сгорания применяемого топлива.

**Пример.** Проектом предусмотрен расход условного топлива на 1 т извести активностью 85% 133 кг. Обжигу подлежит известняк средней механической прочности следующего химического состава, %:  $\text{CaCO}_3 = 95,8$ ,  $\text{MgCO}_3 = 2,1$ ;  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 = 2,1$ ; влажность  $W^P = 3$ . Степень диссоциации известняка  $\eta_{c.d.} = 95\%$ . Топливо — антрацит сорта АК, теплота сгорания  $Q_a^P = 30\ 300$  кДж/кг, содержание водорода  $H^P = 1,6\%$ .

Вычислим теоретический коэффициент расхода сухого сырья  $K_t$

$$y = \left( \frac{\eta_{c.t.}}{100} \right) \cdot \left( \frac{\text{CaCO}_3}{100} \right) \cdot 0,44 + \frac{\text{MgCO}_3}{100} \cdot 0,522 = \frac{95}{100} \cdot \frac{95,8}{100} \cdot 0,44 + \\ + \frac{2,1}{100} \cdot 0,522 = 0,412 \frac{\text{кг CO}_2}{\text{кг сырья}}; \\ K_t = \frac{1}{1-y} = \frac{1}{1-0,412} = 1,7 \frac{\text{кг сырья}}{\text{кг извести}}.$$

Коэффициент расхода влажного сырья

$$K_W = \frac{K_t}{100 - W^p} \cdot 100 = \frac{1,7}{100 - 3} \cdot 100 = 1,752 \frac{\text{кг сырья}}{\text{кг извести}}.$$

С учетом пылеуноса в размере около 1%

$$K_{\text{сырья}} = \frac{1,752}{100 - 1} \cdot 100 = 1,77 \frac{\text{кг сырья}}{\text{кг извести}}.$$

Фактическая теплота сгорания антрацита составит

$$Q_{\text{факт}} = Q_n^p - 1408H^p = 30\ 300 - 1408 \cdot 1,6 = 28\ 030 \text{ кДж/кг.}$$

Расход антрацита на 1 т извести

$$133 \cdot \frac{29\ 300}{28\ 030} = 139,2 \text{ кг,}$$

или на 1 т известняка

$$\frac{139,2}{1,77} = 78,7 \approx 79 \text{ кг.}$$

На дозаторе устанавливают массу антрацита в расчете 79 кг на 1000 кг известняка.

Если на склад поступает антрацит худшего качества (выше зольность и влажность и ниже теплота сгорания), то необходимо сделать перерасчет дозы, так как для поддержания в печи необходимой температуры придется израсходовать большее количество топлива.

**Гранулометрический состав топлива и известняка.** Состав топлива и известняка оказывает большое влияние на температуру обжига в печи и на полноту горения топлива, т. е. на его удельный расход. Наилучшим считается такое соотношение размеров топлива и известняка, когда применяются идентичные фракции, например, известняк фракции 100—50 мм и антрацит АК. Однако такой гранулометрический состав шихты обеспечить трудно. Удовлетворительные результаты получаются, если размер кусков антрацита не более чем вдвое меньше кусков известняка. Например, при обжиге известняка фракции 120—80 мм целесообразно использовать антрацит сорта АК (фракция 100—50 мм), допустимо применение антрацита сорта АО (фракция 50—25 мм) и нельзя использовать антрацит сортов АМ, АС и АСШ.

Применение для обжига в шахтных пересыпных печах каменных углей с размером кусков меньше 25 мм сопровождается перевыходом топлива на 1 т выпускаемой извести, снижением производительности печи и ухудшением качества извести (появление «пережога» и уменьшение содержания CaO).

Отрицательно влияет на процесс обжига неодинаковый гранулометрический состав известняка. Удовлетворительные результаты получены при обжиге фракций, размеры мелких кусков в которых не более чем в 1,5—2 раза меньше крупных. Наличие в известняке свыше 10% мелочи вызывает неравномерное распределение воздуха по сечению шахты и поэтому неравномерное и неполное выгорание топлива. Следствием этого является образование в зоне обжига участков повышенных и низких температур, что сопровождается недожогом и «пережогом» извести.

**Соотношение топливо — воздух.** Для правильного ведения процесса обжига важно поддерживать в печи заданное соотношение топливо — воздух.

**Пример.** Для печи производительностью 100 т/сут теоретический расход воздуха на 1 кг топлива составит (по формуле табл. 1)

$$V_{\text{в}}^{\text{т}} = 1,01 \cdot \frac{Q_{\Phi}}{4190} + 0,5 \text{ м}^3/\text{кг} = 1,01 + \frac{28\,030}{4190} + 0,5 = 7,26 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Часовой расход антрацита АК:  $\frac{100}{24} \cdot 139,2 = 579 \text{ кг/ч.}$

Теоретический расход воздуха будет равен:  $V_{\text{в}}^{\text{т}} = 7,26 \cdot 579 \sim 4200 \text{ м}^3/\text{ч.}$

Практический расход воздуха при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1,2$  составит:  $V_{\text{в}}^{\text{п}} = 4200 \cdot 1,2 \sim 5000 \text{ м}^3/\text{ч.}$

Таким образом, для поддержания данного режима необходимо вводить в печь 5000 м<sup>3</sup>/ч воздуха, что контролируется по прибору.

Если в ходе работы печи количество вводимого в нее топлива изменилось, то необходимо соответственно изменить количество вдуваемого воздуха с помощью регулирующей заслонки, установленной на дутьевом трубопроводе.

**Скорость выгрузки извести.** Скорость выгрузки извести из печи может изменяться в широких пределах (1 : 10), что является важным регулирующим средством при ведении процесса обжига.

Скорость выгрузки непосредственно связана с производительностью печи и поэтому используется как регулирующее средство лишь кратковременно и плавно. При продолжительном изменении скорости выгрузки извести (более 15 мин) необходимо привести в соответствие с новой производительностью количество вводимого в печь топлива и воздуха.

#### **Отклонения от заданного режима обжига и способы их устранения**

Отклонения в соотношении расхода топлива и сырья, расхода топлива и расхода воздуха и другие нарушения режима обжига вызывают смещение зоны обжига по высоте шахты. Смещение зоны обжига сопровождается изменениями температуры отходящих газов.

зов и выгружаемой извести, а также концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  в отходящих газах. На рис. 50 показано влияние расположения зоны обжига в печи на характер распределения температуры и состава газов. По кривым распределения температуры и состава газа можно определить направление смещения зоны обжига от нормального положения.

*Снизилась температура в зоне обжига на уровне нижних гляделок (потемнел накал извести). Если при этом увеличилась температура извести в верхних гляделках и температура отходящих*

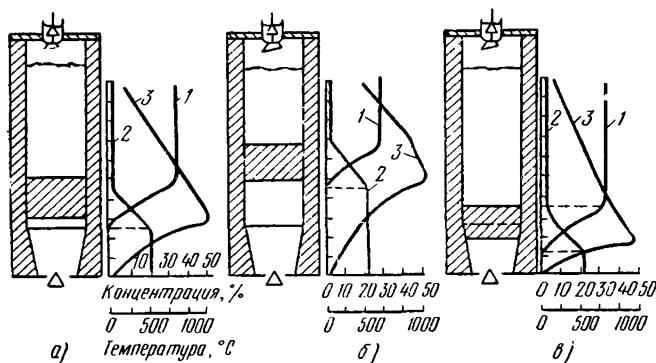


Рис. 50. Влияние расположения зоны обжига на температуру и состав газов в печи:  
а — нормальное расположение зоны обжига, б — зона обжига смешена вверх, в — зона обжига смешена вниз; 1, 2 — концентрация  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$ , 3 — температура газов

газов, то снижение температуры в зоне обжига связано с перемещением вверх этой зоны. Зона обжига может переместиться вверх в результате применения слишком мелких кусков топлива. Для возвращения зоны обжига в нормальное положение следует временно увеличить скорость выгрузки извести и догрузить печь известняком без топлива. После этого необходимо обеспечить дозирование топлива нужного размера.

Если при этом температура извести в верхних гляделках снизилась, то причиной является несоответствие соотношения топливо — сырье. Следует проверить дозирование топлива и его качество; при необходимости увеличить дозу топлива в ковш скрипа. Если топлива достаточно, то следует проверить скорость выгрузки извести. Для этого скорость выгрузки постепенно снижается.

*Температура в зоне обжига резко возросла (ослепительно белый накал извести).* Прежде всего следует открыть гляделки для подсоса в печь холодного воздуха, а затем выяснить причины повышения температуры. Необходимо проверить скорость выгрузки извести, повысив ее величину. Если при этом с известью начнут выгружаться частично несгоревшие куски топлива, то выгрузку нужно сократить до прежней величины и проверить правильность дозировки топлива, а также его качество.

*Значительно возросла температура выгружаемой извести.* Обычно при этом в выгружаемой извести содержатся куски частично несгоревшего топлива. Это говорит о том, что зона обжига опустилась слишком низко. Если температура в зоне обжига снизилась, то необходимо проверить количество вдуваемого в печь воздуха и увеличить его до требуемого значения. При нормальной температуре в зоне обжига причиной может служить слишком большой размер кусков топлива. Следует проверить гранулометрический состав и дозировку топлива.

Чтобы восстановить положение зоны обжига, необходимо временно снизить скорость выгрузки извести и увеличить количество вдуваемого в печь воздуха. После этого нужно устранить причину смещения зоны обжига и вернуться к нормальной скорости выгрузки извести.

*Повысилась температура выгружаемой извести и отходящих печных газов при недостаточно высокой температуре в зоне обжига.* Это явление наблюдается при слишком растянутой зоне обжига. Причиной, как правило, является большой разброс фракционного состава сырья и топлива, а также нерациональное соотношение их размеров. При этом горение топлива растягивается по высоте печи и происходит вяло. Чтобы восстановить нормальное положение зоны обжига, следует отрегулировать сортировочные механизмы сырья и топлива.

*Одностороннее горение топлива в печи (перекос огня).* Это отклонение наблюдается в результате неравномерного распределения крупных и мелких фракций шихты по поперечному сечению шахты или односторонней выгрузки извести. В первом случае следует отрегулировать загрузочное устройство, во втором — выгрузочный механизм.

*Образование спекания материала в шахте.* При невнимательном обслуживании печи в зоне обжига может развиться температура выше 1300°С, которая приводит к спеканию и зависанию материала в шахте. Спекшаяся масса извести и кусков полусгоревшего топлива («козел») создает в шахте своды, препятствующие прохождению известняка. При движении материалов в шахте под сводами образуются пустоты. Образование «козлов» в печи может произойти и при нормальной температуре обжига, если в печь попадает сырье с большим содержанием глинистых примесей.

Обрушивание сводов больших размеров может повредить футеровку печи.

Слабо спекшиеся массы ликвидируют резким увеличением скорости выгрузки извести. Если «козел» не разрушается, то его разбивают штангами через отверстия гляделок. При этом необходимо прекратить выгрузку извести. Если эти меры оказываются недостаточными для разрушения сводов, следует в течение 1—2 суток охладить шихту, включив на полную мощность вентилятор или дымосос. Охлажденные своды зависшего материала растрескиваются сами. После этого восстанавливают нормальный режим работы печи.

Следствие местного повышения температуры или присутствия в известняке глинистых примесей — приваривание шихты к стенкам печи. Обычно это явление сопровождается ярко-белым накалом извести в месте привара и может быть своевременно обнаружено. Привары удаляют осторожно, ударяя по ним штангой через отверстия гляделок.

### **Техническое обслуживание печи**

Во время приема-сдачи смены обжигальщик осматривает наружное состояние печи, ее вспомогательные механизмы и устройства, проверяет наличие запаса сырья и топлива и расписывается в приемо-сдаточном журнале.

В течение смены обжигальщик обязан:

систематически следить за показаниями контрольно-измерительных приборов и руководствоваться ими при управлении режимом обжига в печи; при этом пользоваться данными лаборатории о качестве сырья и топлива, поступающих в печь, и качестве выгружающей извести;

при управлении печью выполнять установленные задания по качеству извести, производительности агрегата, нормам расхода топлива на обжиг и стойкости футеровки;

следить за механическим состоянием печи и вспомогательных механизмов и устройств;

наблюдать за температурой кожуха печи и футеровки;

следить за герметичностью трубопроводов, пылеосадительных устройств, загрузочных и выгрузочных механизмов и шлюзовых затворов, не допуская выбросов пыли и печных газов в помещение цеха;

ежечасно записывать в приемо-сдаточный журнал основные показатели работы печи, в конце смены — данные о состоянии печи и ее вспомогательного оборудования.

### **Правила техники безопасности**

При ведении процесса обжига, его регулировании и устранении нарушений обжигальщик соблюдает следующие правила техники безопасности.

При визуальном контроле процесса обжига через гляделки обжигальщик пользуется защитными очками; лючки открывает обязательно в рукавицах.

При осмотре загрузочного устройства обжигальщик надевает шланговый противогаз, защищающий от СО; при осмотре выгрузочного механизма пользуется респиратором.

Зависание материала в шахте обжигальщик обрушивает в рукавицах и защитных очках с помощью длинных штанг; запрещается для разрушения «козлов» пользоваться водой, так как при бурном испарении воды в печи возможны ожоги обслуживающего персонала.

Во время работы дутьевого вентилятора нельзя открывать люки выгрузочного механизма, а также лючки гляделок в зоне, находящейся под давлением, так как при этом раскаленные газы могут обжечь рабочего.

При обнаружении красных пятен на кожухе, деформации кожуха или частичного разрушения футеровки печь следует немедленно остановить, поставив об этом в известность мастера смены.

#### § 20. УСТРОЙСТВО И РАБОТА ШАХТНЫХ ПЕЧЕЙ НА ГАЗООБРАЗНОМ ТОПЛИВЕ

Перевод шахтных печей на газообразное топливо сопровождается повышением качества извести за счет уменьшения ее «пережога», улучшением условий труда обслуживающего персонала и снижением себестоимости извести.

Печь конструкции Росстромпроекта производительностью 150 т/сут (рис. 51) предназначена для работы на газообразном топливе. Полезная высота шахты печи составляет 18 м. Поперечное сечение шахты — щелевидное размерами  $1,6 \times 8$  м. Кладка шахты в зонах подогрева и охлаждения выполнена из обыкновенного глиняного кирпича и имеет толщину 375 мм. Изнутри кладка футерована доменным многошамотным кирпичом марки Д длиной 230 м. Для улучшения теплоизоляции кладки в зоне подогрева зазор между ней и кожухом размером 40 мм заполнен молотым трепелом.

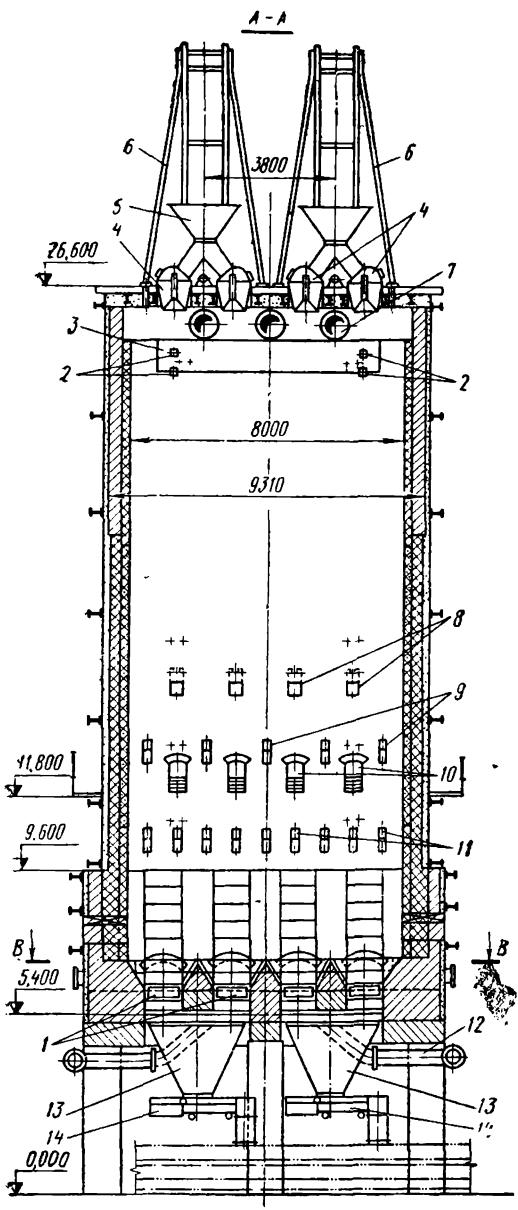
Кладка шахты в зоне обжига выполнена из многошамотного кирпича марки Д длиной 345 мм и футерована слоем хромомагнезитового кирпича длиной 230 мм. Слой теплоизоляционной засыпки равен 70 мм.

Шахта печи снабжена стальным кожухом из листов толщиной 10 мм. В зонах подогрева и обжига шахта имеет параллельные стенки, в зоне охлаждения расстояние между ее длинными сторонами увеличивается с 1,6 до 2,12 м, что улучшает выгрузку извести из печи.

В верхней части шахты устроены отверстия 2 для установки преобразователей уровня; в зоне обжига предусмотрены гляделки 8, два ряда отверстий 9 и 11 для горелок и смотровые отверстия 10. Печь оборудована двумя скиповыми подъемниками 6 с вместимостью ковша  $0,75 \text{ м}^3$  и двумя загрузочно-распределительными устройствами, состоящими из двух приемных воронок 5, четырех запорно-распределительных конусов 4 и отбойной обечайки 3.

Известь выгружают из печи восемью движущимися каретками 1, расположенными по четыре с каждой стороны печи. Движущиеся каретки сбрасывают известь в два промежуточных бункера 13, откуда она качающимися питателями 14 подается на два пластинчатых конвейера 15.

Газообразное топливо подается в печь диффузионными периферийными горелками (рис. 52), расположенными в два яруса: восемь надцать горелок нижнего яруса и десять горелок верхнего яруса.



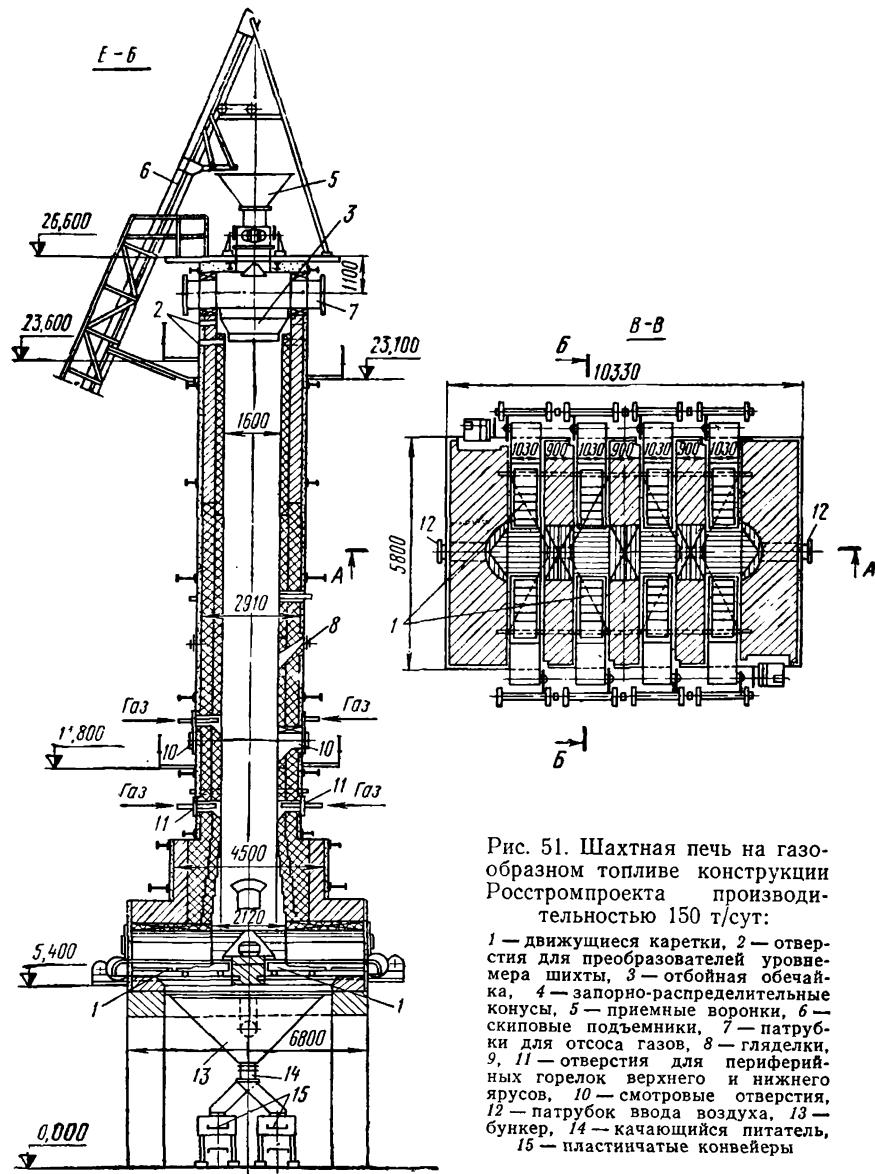


Рис. 51. Шахтная печь на газообразном топливе конструкции Росстромпроекта производительностью 150 т/сут:

1 — движущиеся каретки, 2 — отверстия для преобразователей уровня шихты, 3 — отбойная обечайка, 4 — запорно-распределительные конусы, 5 — приемные воронки, 6 — скоповые подъемники, 7 — патрубки для отсоса газов, 8 — гляделки, 9, 11 — отверстия для периферийных горелок верхнего и нижнего ярусов, 10 — смотровые отверстия, 12 — патрубок ввода воздуха, 13 — бункер, 14 — качающийся питатель, 15 — пластинчатые конвейеры

Воздух на горение газа вводится под выгрузочный механизм через два патрубка 12 (см. рис. 51). Продукты горения отсасываются из печи через шесть патрубков 7 вентилятором ВВД-13,5.

Характеристика печи: полезный объем шахты — 238 м<sup>3</sup>, съем извести с единицы площади поперечного сечения — 12,5 т/м<sup>2</sup>·сут, с единицы полезного объема — 0,65 т/м<sup>3</sup>·сут; удельный расход условного топлива (в расчете на 85% извести) — 145 кг/т.

Особенность печей этого типа состоит в том, что применение периферийного ввода газа приводит к образованию в пристенной области шахты поля высоких температур (1300—1350° С). Это влечет за собой преждевременный выход из строя

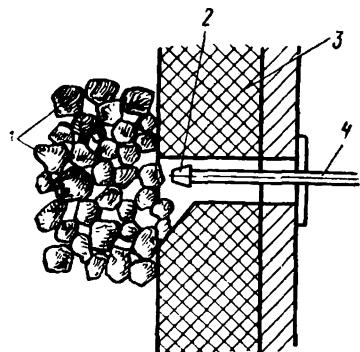


Рис. 52. Установка периферийной диффузионной горелки:  
1 — слой известняка в шахте, 2 — сопло горелки, 3 — футеровка шахты, 4 — горелка

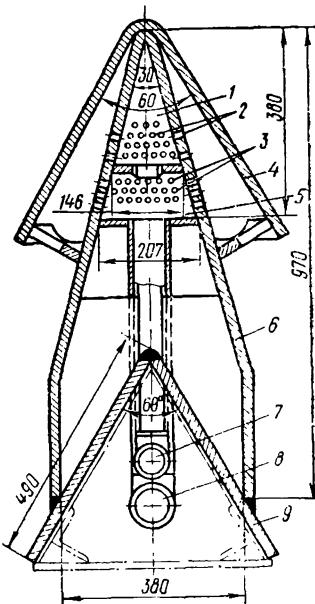


Рис. 53. Пирамидальная центральная (подовая) горелка конструкции НИИСтромпроекта:

1, 5 — камеры природного и рециркуляционного газов, 2, 3 — отверстия, 4 — пирамидальный козырек, 6 — корпус горелки, 7, 8 — трубы для подвода природного и рециркуляционного газов, 9 — рассекатель выгрузочного механизма

шамотной футеровки из-за ее выгорания и разрушения при приварах извести, поэтому обжигаемый известняк должен содержать не более 2,5% глинистых примесей. При выполнении футеровки в зоне обжига из хромомагнезитового кирпича срок ее службы увеличивается до 3—5 лет.

Показатели работы печей с щелевидным поперечным сечением шахты улучшаются при установке пирамидальных центральных (подовых) горелок (рис. 53).

Печь конструкции Союзгипростроя производительностью 200 т/сут (рис. 54). Шахта печи в зоне обжига имеет форму квадрата размером 3,74×3,74 м со скругленными углами. В нижней части зоны подогрева квадратное сечение, по-

степенно расширяясь кверху, переходит на круглое диаметром 4,3 м и затем в верхней части на диаметр 4,9 м. В зоне охлаждения квадратное сечение сужается до размера  $2,6 \times 2,6$  м на уровне выгрузочной решетки. Рабочая высота шахты 19 м.

Шахта в зоне обжига выложена из шамотного легковесного кирпича ШЛБ-1,3 и имеет минимальную толщину слоя (по углам квадрата) 230 мм и максимальную (по осям квадрата) — 500 мм. Кладка футерована внутри слоем многошамотного кирпича марки

Д длиной 345 мм или хромомагнезитовым кирпичом марки ХМ. Зоны подогрева и охлаждения футерованы кирпичом марки Д. Между стальным кожухом печи (толщиной 10 мм) и кладкой уложен слой теплоизоляционной засыпки (трепела) толщиной 65 мм.

В кладке шахты предусмотрены гляделки 5, отверстия 3 для установки приборов и лазы.

Газообразное топливо вводится в два яруса через периферийные и центральные ба-

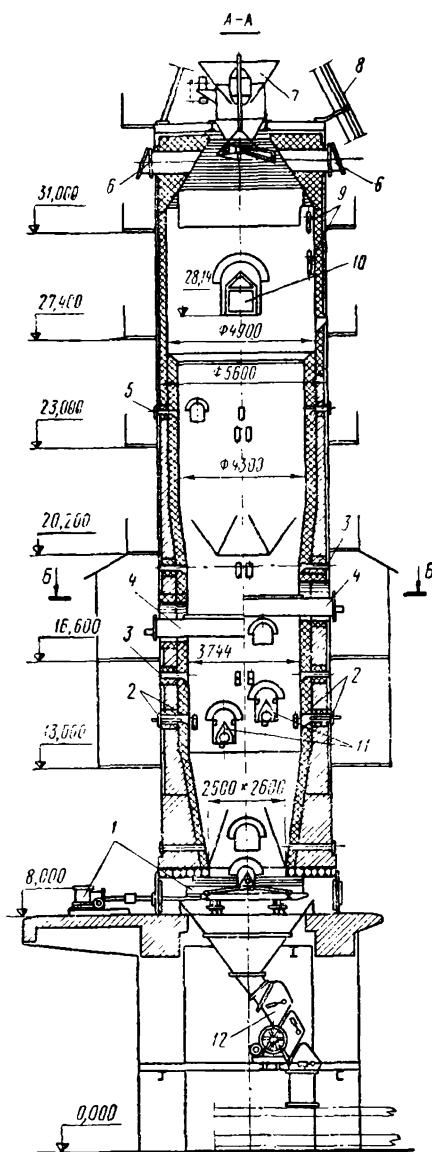
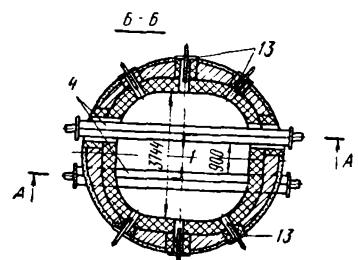


Рис. 54. Шахтная печь на газообразном топливе конструкции Союзгипростроя производительностью 200 т/сут:  
1 — выгрузочная решетка, 2 — периферийные горелки нижнего яруса, 3, 9 — отверстия для установки преобразователей давления, температуры и уровня материала, 4 — две балочные горелки верхнего яруса, 5 — гляделка, 6 — предохранительный взрывной клапан, 7 — двухклапанное загрузочное устройство, 8 — скиповой подъемник, 10 — короб отсоса дымовых газов, 11 — две балочные горелки нижнего яруса, 12 — трехшлюзовой затвор, 13 — периферийные горелки верхнего яруса



лочные горелки. В нижний ярус газ подается через шесть периферийных диффузионных горелок 2 и в центральную область шахты двумя балочными многосопловыми водоохлаждаемыми горелками (рис. 55).

Балочные горелки расположены в ярусе параллельно одна другой на расстоянии 900 мм. По высоте шахты они смешены одна относительно другой на 600—700 мм, что необходимо для предотвращения подвисания материала на балках. В верхнем ярусе газ вводится в центральную область печи двумя балочными горелками (см. рис. 54), расположенными в направлении, перпендикулярном к нижним горелкам, а по периферии — через шесть диффузионных горелок 13. Расстояние между соответствующими балками нижнего и верхнего яруса 3 м.

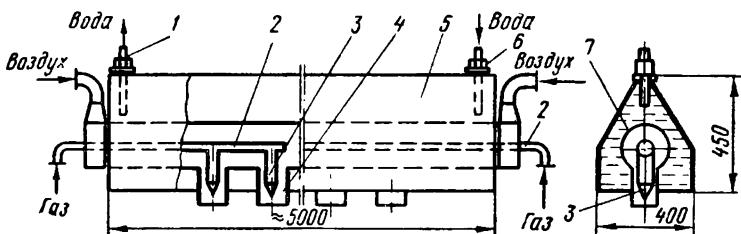


Рис. 55. Балочная многосопловая горелка:  
1, 6 — патрубки выхода и входа охлаждающей воды, 2 — горелка, 3 — сопло, 4 — патрубок, 5 — стальная балка, 7 — труба для ввода воздуха

Одновременно с топливом через балочные горелки вводится первичный воздух. Вторичный воздух подается в зону охлаждения печи через рассекатель выгрузочного механизма дутьевым вентилятором ВВД-10. Таким образом, данная система ввода и распределения газообразного топлива создает благоприятные условия для полного его сжигания в слое кускового материала.

Печь снабжена загрузочно-распределительным устройством, состоящим из скипового подъемника 8 с ковшом вместимостью 1,5 м<sup>3</sup>, вращающейся чаши и двухклапанного устройства 7, нижний распределительный конус которого — спиралеобразный с отбойной пластиной. Известняк загружается в ковш автоматическим дозатором.

Выгрузочная решетка 1, имеющая возвратно-поступательное движение и гидравлический привод, равномерно выгружает известь по всему поперечному сечению шахты. Герметизация печи осуществляется трехшлюзовым затвором 12.

Печные газы отсасываются через металлический короб 10 дымососом Д-13,5. Перед выбросом в атмосферу они проходят очистку от пыли в группе циклонов НИИОГАЗ ЦН-15 диаметром 750 мм. В верхней части шахты предусмотрено два предохранительных взрывных клапана 6.

Необходимый уровень материала в печи поддерживается автоматически преобразователем уровня, установленным в отверстиях

9 шахты и посылающим управляющий сигнал электродвигателю сколовой лебедки. Основные проектные характеристики шахтной печи приведены в табл. 6.

Таблица 6  
Проектные показатели шахтных печей конструкции Союзгипрострома,  
работающих на газообразном топливе

Показатели	Производительность, т/сут		
	50	100	200
Высота печи, м:			
рабочая	18,2	18	19
строительная	27,2	27,8	34,6
Внутренний диаметр шахты в зоне обжига, м	2,5	3,2	$3,74 \times 3,74$
Средняя площадь поперечного сечения шахты в зонах обжига и подогрева, м <sup>2</sup>	4,9	8	13,6
Полезный объем шахты, м <sup>3</sup>	89	143	258
Удельный съем извести:			
т/м <sup>2</sup> .сут	10,2	12,5	14,7
т/м <sup>3</sup> .сут	0,56	0,7	0,8
Удельный расход условного топлива, кг/т	156	156	155
Расход оборотной воды на охлаждение горелочных устройств, м <sup>3</sup> /ч	25	50	180
Горелочные устройства	2 балочные водоохлаждаемые горелки и 12 периферийных	2 балочные водоохлаждаемые горелки и 16 периферийных	4 балочные водоохлаждаемые горелки и 12 периферийных
Загрузочное устройство	Питатель электровибрационный 185-ПТ		
Выгрузочный механизм	Скип с ковшом вместимостью: 0,5 м <sup>3</sup>	0,75 м <sup>3</sup>	1,5 м <sup>3</sup>
Герметизирующее устройство выгрузочного механизма	Двухклапанное загрузочное устройство Союзгипрострома	Выгрузочная решетка конструкции Союзгипрострома с гидроприводом	Шлюзовой трехклапанной затвор
	Барабанный затвор	Барабанный затвор (заменен с 1970 г. на шлюзовой)	

Печь конструкции ВНИИСтрома производительность 100 т/сут, работающая на природном газе (рис. 56). Шахта печи в зоне обжига имеет круглое сечение диаметром в свету 3,2 м, в зоне охлаждения на уровне выгрузочной решетки переходит в квадратное размером 2,2×2,2 м. Рабочая высота шахты — 18 м, полезный объем — 143 м<sup>3</sup>. Средняя площадь поперечного сечения в зонах обжига и подогрева — 8 м<sup>2</sup>.

Кладка шахты выполнена из легковесного огнеупора ШЛБ-1,3 толщиной 230 мм и футерована многошамотным кирпичом марки Д

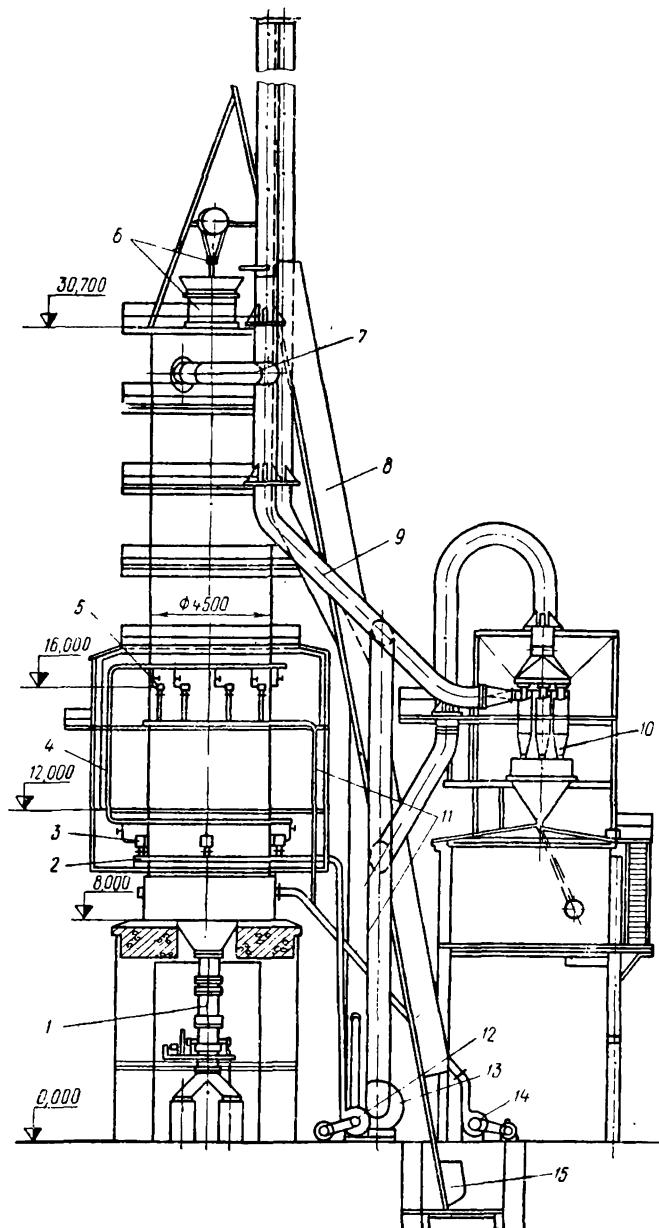


Рис. 56. Шахтная печь на газообразном топливе конструкции ВНИИСтрома производительностью 100 т/сут:

1 — шлюзовой затвор, 2 — коллектор рециркуляционных газов, 3, 5 — консольные фирменные горелки нижнего и верхнего ярусов, 4 — газопровод, 6 — загрузочное устройство, 7, 9 — трубопроводы отходящих газов, 8 — скивовой подъемник, 10 — группа циклонов НИИОГАЗ, 11 — трубопровод дутьевого воздуха, 12, 14 — вентиляторы, 13 — дымосос, 15 — ковш

длиной 345 мм. Между кладкой и стальным кожухом находится слой теплоизоляционной засыпки толщиной 65 мм из молотого трепела.

Природный газ по газопроводу 4 вводится в печь в два яруса: в верхнем ярусе — через десять консольных фурменных горелок (рис. 57), в пристенную область зоны обжига, в нижнем ярусе — через четыре консольные фурменные горелки 3 (см. рис. 56) в приосевую область зоны охлаждения. Расстояние между ярусами 5 м. Горелки верхнего яруса охлаждаются первичным воздухом, горелки нижнего яруса — рециркуляционными газами, которые поступают под давлением по коллектору 2 от вентилятора 12. Количество рециркуляционных газов регулируется поворотной заслонкой.

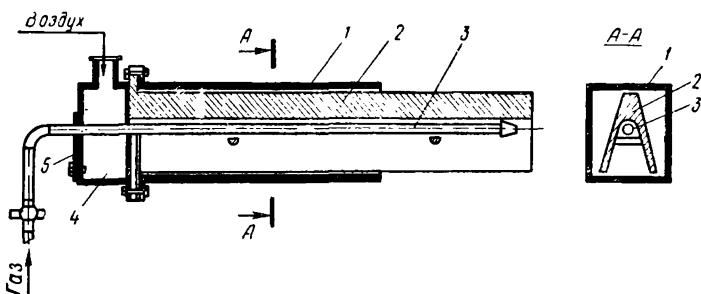


Рис. 57. Консольная фурменная горелка конструкции ВНИИ-Строма:

1 — монтажная фурма, 2 — защитная фурма, 3 — диффузионная горелка,  
4 — воздухораспределительная коробка, 5 — крышка

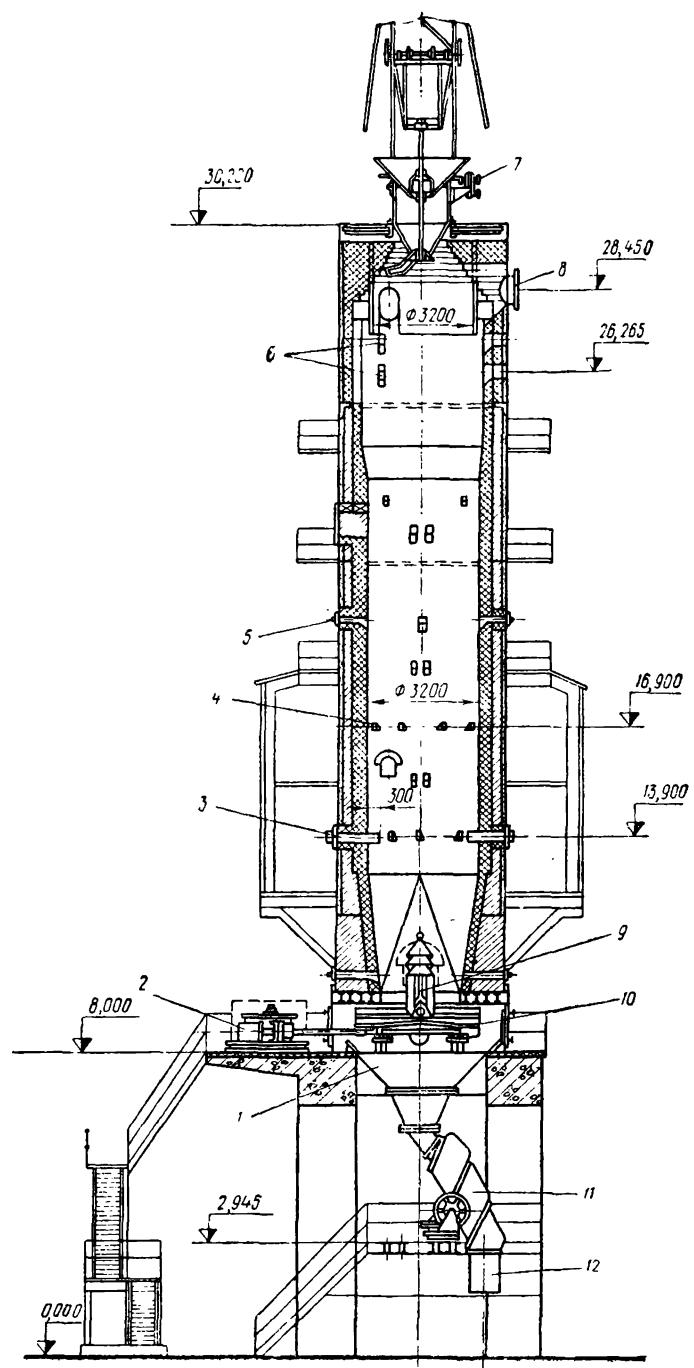
Воздух вентилятором 14 типа ВВД-8у по трубопроводу 11 подается в печь через консольные фурменные горелки 5 верхнего яруса и в зону охлаждения печи через рассекатель выгрузочного механизма.

Газообразные продукты по трубопроводам 7, 9 отсасываются из печи дымососом 13 типа Д-13,5. Отходящие газы перед выбросом их в атмосферу очищаются в установке, состоящей из шести циклонов НИИОГАЗ 10 диаметром 600 мм типа ЦН-15.

В верхней части шахты установлен предохранительный взрывной клапан, служащий для выхода через него газов, образующихся в шахте в момент взрыва (хлопка) газообразного топлива.

Известняк загружается в печь скиповым подъемником с ковшом вместимостью 0,75 м<sup>3</sup> и двухклапанным герметизирующим устройством 6 с вращающейся чашей, работающим автоматически в комплексе с преобразователем уровня материала в шахте. Известняк в ковше скипа загружается автоматически электровибрационным дозатором через определенные интервалы. Выгружается из печи непрерывно с помощью выгрузочной решетки с гидроприводом.

Для герметизации низа шахты и непрерывной выдачи извести на пластинчатый конвейер установлен шлюзовой затвор 1.



При обжиге известняка класса Б по ОСТ 21—27—76 фракции 40—120 мм производительность печи составляет 105 т/сут при активности извести 75—80% и расходе условного топлива на обжиг 125—150 кг на 1 т извести.

Шахтная печь конструкции НИИСтромпроекта производительностью 100 т/сут (рис. 58). Шахта печи в зоне обжига имеет диаметр в свету 3,2 м, в верхней части зоны подогрева расширяется до диаметра 3,43 м, в нижней части зоны охлаждения переходит на квадрат со стороной 2,2 м. Рабочая высота шахты 18 м.

Шахта выложена из легковесного кирпича ШЛБ-1,3 толщиной 230 мм и футерована доменным кирпичом длиной 345 мм. Между кладкой и кожухом печи устроен слой теплоизоляционной засыпки толщиной 65 мм.

Система ввода газообразного топлива состоит из конусной центральной горелки 9 и расположенных в два яруса 16 воздухоохлаждаемых консольных фирменных горелок 3 и 4, заглубленных в материал на 0,3 м. Расстояние между ярусами горелок — 3 м. Рециркуляционные газы нагнетаются в центральную горелку вентилятором ВВД-8.

Отходящие из печи газы очищаются от пыли в группе циклонов НИИОГАЗ типа ЦН-15 диаметром 650 мм и дымососом Д-13,5 через трубу выбрасываются в атмосферу.

Проектная характеристика печи: удельный съем извести — 12,5 т/м<sup>2</sup>·сут, удельный расход условного топлива на обжиг 1 т извести — 155 кг; площадь попечного сечения шахты в зонах обжига и подогрева — 8,32 м<sup>2</sup>; расход природного газа — 533,3 м<sup>3</sup>/ч, общий расход воздуха — 5543 м<sup>3</sup>/ч.

Шахтная печь конструкции НИИСтромпроекта производительностью 200 т/сут. Шахта в зоне обжига имеет диаметр 4,3 м, который в зоне подогрева плавно увеличивается до 4,99 м, а в зоне охлаждения уменьшается и переходит в квадрат со стороной 2,6 м на уровне выгрузочной решетки.

Кладка печи в зоне обжига выполнена из слоя шамотного легковесного кирпича ШЛБ-1,3 толщиной 230 мм и слоя футеровки из доменного или хромомагнезитового кирпича толщиной 345 мм. Между кладкой и кожухом печи устроен слой теплоизоляционной засыпки из трепела толщиной 65 мм. Шахта в зонах подогрева и охлаждения футерована многошамотным кирпичом марки Д.

Система ввода в печь газообразного топлива состоит из центральной (подовой) конусной горелки, расположенной на рассекателе выгрузочного механизма, и двух ярусов воздухоохлаждаемых консольных фирменных горелок по 12 шт. в ярусе. Расстояние ме-

Рис. 58. Шахтная печь на газообразном топливе конструкции НИИСтромпроекта производительностью 100 т/сут:

1 — промежуточный бункер, 2 — гидропровод выгрузочной решетки, 3, 4 — консольные фирменные горелки, 5 — гляделки, 6 — отверстия для установки преобразователей уровня, 7 — загрузочное устройство, 8 — патрубок для отвода газов, 9 — центральная (подовая) горелка, 10 — выгрузочная решетка, 11 — шлюзовой затвор, 12 — течка

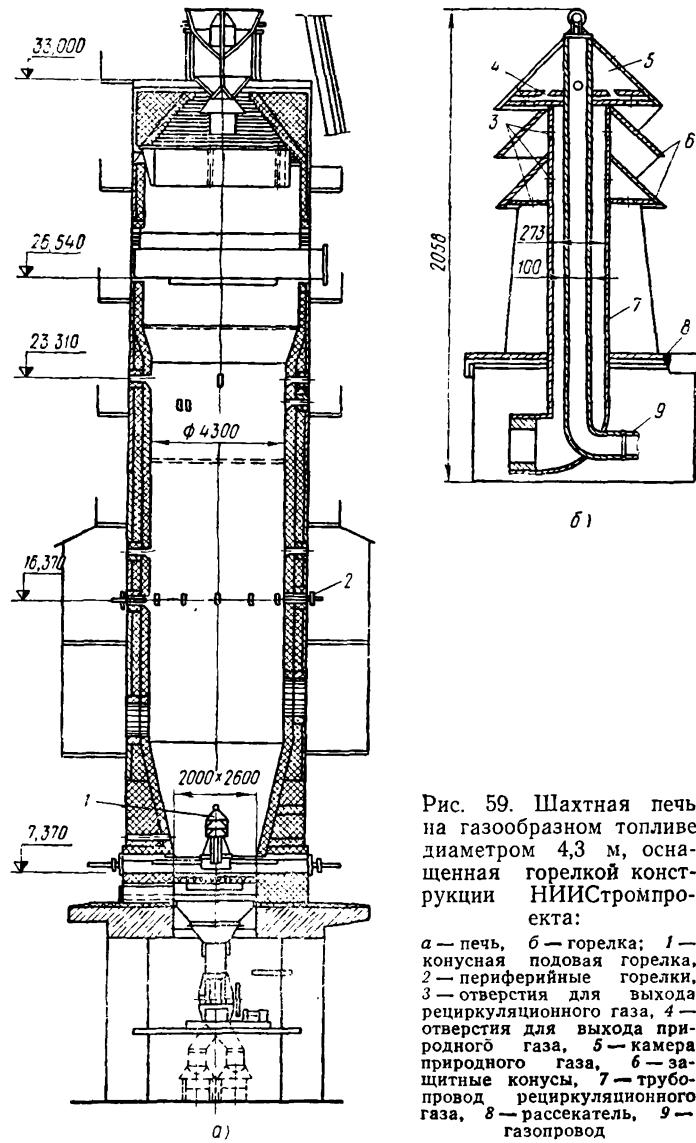


Рис. 59. Шахтная печь на газообразном топливе диаметром 4,3 м, оснащенная горелкой конструкции НИИСтромпроекта:  
 а — печь, б — горелка; 1 — конусная подовая горелка, 2 — периферийные горелки, 3 — отверстия для выхода рециркуляционного газа, 4 — отверстия для выхода природного газа, 5 — камера природного газа, 6 — защитные конусы, 7 — трубопровод рециркуляционного газа, 8 — рассекатель, 9 — газопровод

жду ярусами консольных горелок 2 м, величина их заглубления в материал 0,3 м.

Печь оборудована системой рециркуляции газов, состоящей из вентилятора ВВД-9 ( $Q=3500 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $H=4000 \text{ Па}$ ,  $n=1500 \text{ об}/\text{мин}$ ) и трубопровода с регулирующей заслонкой ПРЗ.

Печные газы отсасываются дымососом Д-15,5 ( $Q=65000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $H=3950 \text{ Па}$ ,  $n=1000 \text{ об}/\text{мин}$ ). Газы очищаются в группе циклонов

НИИОГАЗ типа ЦН-15, состоящей из восьми циклонов диаметром 750 мм.

Известняк загружается в ковш вместимостью 1,5 м<sup>3</sup> электровибрационным питателем 185-ПТ автоматически по сигналу уровня шахты. Герметизация загрузки известняка производится с помощью двухклапанного затвора. Выгружается известь решеткой конструкции Союзгипрострому с гидравлическим приводом. Для герметизации низа печи предусмотрен трехшлюзовой затвор.

Техническая характеристика печи и показатели работы: рабочая высота шахты — 19 м; площадь поперечного сечения шахты в зонах обжига и подогрева — 15,1 м<sup>2</sup>; рабочий объем шахты — 265 м<sup>3</sup>; удельные съемы извести — 13,6 т/м<sup>2</sup>·сут и 0,75 т/м<sup>3</sup>·сут; удельный расход условного топлива на 1 т извести с содержанием активных CaO+MgO, равным 85%, — 150 кг.

На обеих печах предусмотрено автоматические регулирование соотношения «газ — воздух» и «газ — рециркуляционные газы». Подача в печь газообразного топлива при падении давления газа, падении разрежения в печи и повышении температуры в зоне центральной горелки выше 600°С отключается автоматически.

Печь диаметром 4,3 м на газообразном топливе, оснащенная горелкой конструкции НИИСтромпроекта (рис. 59). Четыре водоохлаждаемые балочные горелки центрального газовоздушного ввода шахтной печи Союзгипрострому производительностью 200 т/сут были демонтированы, и диаметр шахты в зоне обжига увеличен до 4,3 м. На печи установлена одна центральная (подовая) горелка 1 и 12 расположенных в один ярус периферийных горелок 2. При эксплуатации печи получены следующие показатели: производительность 178 т/сут; удельные съемы извести 12,3 т/м<sup>2</sup>·сут и 0,63 т/м<sup>3</sup>·сут; содержание активных CaO+MgO 85%; расход условного топлива на обжиг 182 кг на 1 т извести.

## § 21. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ШАХТНЫХ ПЕЧЕЙ НА ГАЗООБРАЗНОМ ТОПЛИВЕ

**Сушка.** Сушка печи производится с помощью перфорированных труб диаметром 100 мм с заваренным концом, которые укладываются на кирпичах, выложенных на решетке механизма выгрузки. Газ зажигают в такой последовательности: факел из обтирочных материалов, намотанных на конец длинного прута из арматурной стали, окунают в керосин (мазут, соляровое масло), вводят в шахту и подносят к перфорированной трубке, затем пускают в трубу газ. Сушка выполняется в соответствии с утвержденным графиком режима сушки печи.

**Пуск и остановка.** Подготовку газовой печи к пуску начинают с осмотра и опробования технологического и транспортного оборудования всей линии от склада сырья до склада извести. Просматривают акты о проверке и опрессовке систем газоснабжения печи и водяного охлаждения балочных горелок. Проверяют наличие необ-

ходимых запасов кондиционного известняка и растопочных материалов.

Ответственный за газовое хозяйство и обжигальщик извести проверяют давление газа на вводе (должно быть не ниже 25 кПа), внимательно осматривают все газовые задвижки и краны, следя за тем, чтобы краны и задвижки продувочной линии были открыты, а краны перед газовыми горелками закрыты; проверяют исправность взрывного клапана и аппаратуры аварийной отсечки газа. Обжигальщик извести и электрик осматривают пусковую аппаратуру электродвигателя дымососа. Слесари по КИП регулируют и проверяют работу измерительной и регулирующей аппаратуры.

Начальник цеха, мастер и инженер по технике безопасности проверяют обеспечение рабочих мест противопожарными средствами и средствами индивидуальной защиты (противогазы, респираторы, защитные очки). По их указанию на рабочих местах вывешивают инструкции по безопасным методам обслуживания каждого агрегата, машины, механизма.

*Подготовку шахтной газовой печи к розжигу* начинают с загрузки зоны охлаждения печи комовой известью. Известь загружают в шахту до уровня на 1 м ниже балочной горелки или нижнего ряда периферийных горелок. Далее шахту загружают известняком до уровня верхнего загрузочного люка. После закладки люка кирпичом стены шахты закрывают деревянными щитами, чтобы не повредить футеровку при загрузке печи сырьем, и догружают шахту материалом до  $\frac{3}{4}$  ее рабочей высоты.

*Розжиг печи* с балочными горелками начинают с пуска горелки верхнего яруса (рис. 60, а). Перед розжигом горелки необходимо перевести предохранительный клапан ПКН на ручное управление, открыть кран 1 на вводе и последующие краны по ходу газа и в течение 2–3 мин продуть газопровод 6 на свечу 4; убедиться, что газопровод продут. Для этого газ, продуваемый в свечу, с помощью запальной горелки пропускают в ведро с мыльной эмульсией, затем пузыри поджигают. Если пламя газа желтое, коптящее, то считается, что газопровод хорошо продут. После этого закрывают кран 5 на свече.

Балочную горелку разжигают посредством переносной запальной горелки (запальника). Для этого горящую спичку подносят к запальнику, зажигают газ и регулируют его факел. Затем запальник вводят в печь и подносят к соплу одной из горелок. Далее плавно открывают кран на газопроводе балочной горелки. После того как выходящий из горелки газ загорится, перекрывают кран запальника и последний вынимают из печи. Аналогично разжигают горелки с противоположного конца балки. После розжига регулируют работу балочной горелки, устанавливая расход газа и воздуха в пределах 30% ее номинальных значений.

Через 3–4 ч после розжига балочной горелки пускают периферийные обычные или консольные фурменные горелки. Убедившись в устойчивой работе горелок верхнего яруса, в той же последовательности разжигают горелки нижнего яруса.

Если при розжиге отрывается пламя или затухает горелка, следует немедленно прекратить подачу газа в печь, потушить переносной запальник, отрегулировать разрежение в печи и по истечении 5—10 мин вновь приступить к розжигу горелок.

Если печь оборудована центральными горелками (подовой, смонтированной на балке-рассекателе механизма выгрузки, или

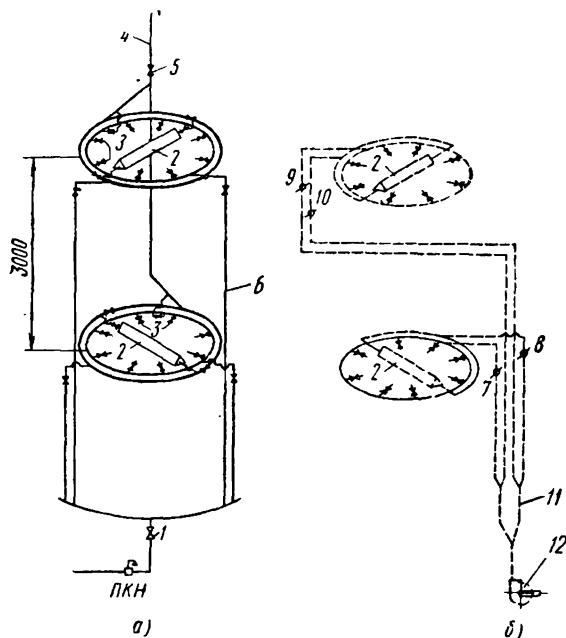


Рис. 60. Схема двухъярусного ввода природного газа и воздуха в шахтную печь:

*а* — ввод газа, *б* — ввод первичного воздуха; 1 — кран на газопроводе ввода газа в печь, 2 — балочная горелка, 3 — периферийная горелка, 4 — свеча для выброса газа в атмосферу, 5 — кран на свечу, 6 — газопровод, 7—10 — регулирующие заслонки, 11 — воздухопровод, 12 — вентилятор первичного воздуха

консольных фурменных, установленных в зоне охлаждения печи), то розжиг начинают с периферийных горелок и только при устойчивой их работе включают центральные горелки. Пуск центральной горелки начинают с подачи в нее рециркуляционных газов. Затем постепенно открывают газовую задвижку и подают газ. Температуру воспламенения смеси регулируют, изменяя количество вводимого в горелку рециркулята.

*Вывод печи на рабочий режим* начинается с пуска всех горелок на расход газа в количестве 40—50% от нормального и поднятия температуры в зоне обжига печи до 800—900° С. При этом печь по мере оседания известняка догружают сырьем до нормального уровня. По мере увеличения расхода газа увеличивают также количест-

во вводимого вентилятором 12 первичного воздуха, открывая заслонки 7—10 (рис. 60, б). С пуском дутьевого вентилятора вторичного воздуха расход газа доводят до 60—70% и следят за температурой в зоне обжига.

Природный газ в пусковой период работы печи распределяется по горелкам следующим образом: в верхний и нижний ярусы подают приблизительно одинаковое количество газа, в каждом ярусе 70% газа подают в балочную многосопловую горелку 2 и 30% — в периферийные горелки 3.

После того как температура в зоне обжига печи поднимется до 1000—1100°С (желтый накал материала в верхних и нижних гляделках), а температура отходящих газов вырастет до 200°С,пускают на малую скорость выгрузочный механизм и одновременно догружают печь новыми порциями известняка до нормального уровня.

Вывод печи на рабочий режим продолжается в течение 2—3 суток. В первые сутки производительность печи составляет 20—25% от проектной (при расходе газа 50—60% от нормального значения). На вторые сутки по мере повышения температуры в зоне обжига до 1100—1200°С и повышения содержания CaO в воздушной извести до 80—85% производительность печи повышают до 50% от проектного значения. На третьи сутки после повышения активности извести до 90% производительность печи увеличивают до проектной величины и печь переводят на автоматическую загрузку известняком. Вывод печи на рабочий режим считается законченным.

*Остановку шахтной печи*, оборудованной диффузионными горелками, выполняют в такой последовательности: вначале закрывают краны горелок верхнего яруса и кран на коллекторе верхнего яруса, открывают кран на свечу верхнего яруса; далее закрывают краны горелок нижнего яруса и кран на коллекторе нижнего яруса, открывают кран на свечу нижнего яруса; после этого закрывают кран 1 на воде природного газа.

Если печь оборудована центральными горелками, то вначале прекращают подачу газообразного топлива в центральные горелки и останавливают вентилятор рециркуляционных газов, а затем закрывают краны периферийных горелок верхнего и нижнего ярусов.

Через 10—15 мин после прекращения работы горелок выключают вентиляторы первичного и вторичного воздуха и открывают люки выгрузочного механизма. Прекращают подачу в печь известняка. После выгрузки материалов из печи останавливают выгрузочное устройство. При снижении температуры в шахте печи до 250°С выключают систему водяного охлаждения балочных горелок, а после снижения температуры до 50°С выключают дымосос и приступают к осмотру шахты печи.

**Обжиг известняка.** Для того чтобы газообразное топливо полностью сгорело, необходимо обеспечить хорошее перемешивание его с достаточным количеством воздуха и минимальную температуру

для воспламенения. В зависимости от типа системы ввода природного газа в шахтную печь и конструкции горелочных устройств эти условия удовлетворяются разными способами:

Газообразное топливо в шахтных печах отечественных конструкций сжигается в межкусковом пространстве материала. Газ и воздух, двигаясь в межкусковом пространстве, перемешиваются относительно медленно, и полное сгорание топлива происходит на участке 3—5 м по высоте шахты от места ввода. При увеличении в шихте мелочи условия смешивания газа и воздуха ухудшаются и часть газа не успевает выгореть в зоне обжига, увеличивая потери тепла с химическим «недожогом».

*Периферийная диффузионная горелка* (см. рис. 52), применяемая в шахтных печах, представляет собой отрезок трубы диаметром 25—40 мм с соплом 2 на конце, вставленный в прямоугольное отверстие в футеровке 3 шахты. Газ под давлением 1—10 кПа вытекает из сопла со скоростью 25—100 м/с в слой известняка 1. Так как межкусковое пространство не имеет прямых каналов, то энергия струи газа быстро падает от столкновения с кусками сырья и глубина проникновения струи в слой материала невелика (0,5—0,8 м от места ввода).

Периферийные диффузионные горелки самостоятельно применяют лишь в шахтных печах щелевидного или эллипсного сечения с размером одной из сторон не более 1,6 м. При этом необходимо использовать сырье с отношением размера мелких кусков к крупным соответственно не более 1 : 1,6:

*Водоохлаждаемая балочная горелка* (см. рис. 55) действует так. Вода поступает в балочную горелку через патрубок 6 с температурой 10—15° С, а выходит через патрубок 1 с температурой 60° С. Газ и первичный воздух выходят через сопла 3 и патрубки 4 в подбалочное пространство, где они смешиваются и газ частично сгорает. Основная же масса выходящего из горелки газа перемешивается со вторичным воздухом, двигаясь в межкусковом пространстве шахты, ввиду чего процесс выгорания газа растягивается по высоте шахты на 2,5—3 м.

Балочная горелка позволяет пропустить 400—600 м<sup>3</sup>/ч природного газа при давлении 2—5 кПа и 1000—1500 м<sup>3</sup>/ч воздуха при потере напора 400 Па. Для ее охлаждения требуется от 12 до 50 м<sup>3</sup>/ч воды. Потери тепла с охлаждающей водой достигают 10% от общего расхода тепла на единицу продукции.

Применение воды в балке делает горелку опасной в эксплуатации. Для предотвращения несчастных случаев в патрубке 1 на выходе воды из балки установлен термометр ТС-100, подключенный к сигнальной и предохранительной (клапан отсечки газа) аппаратуре.

*Пирамидальная подовая газовая горелка* (см. рис. 53) смонтирована на рассекателе 9 выгрузочного механизма и состоит из стального пирамидального корпуса 6, в который по отдельным трубам 7 и 8 подается природный (в камеру 1) и рециркуляционный (в камеру 5) газы. Природный и рециркуляционный

газы выходят через отверстия 2 и 3 под пирамидальный козырек 4 и перемешиваются под ним, после чего образовавшаяся смесь газов выходит в зону охлаждения шахтной печи. Смесь газов, поднимаясь в зону охлаждения печи вверх, смешивается с движущимся по шахте печи воздухом, образуя топливную смесь. Топливная смесь (природный и рециркуляционный газы и воздух), достигнув низа зоны обжига (температура 900°С и выше), воспламеняется и сгорает в пределах зоны обжига.

Вводимый в горелку рециркуляционный газ представляет собой часть отходящих печных газов и служит для разбавления природного газа, что необходимо по следующим причинам.

Природный газ состоит в основном из метана, пределы взрываемости которого в смеси с воздухом находятся между 4,5 и 13,5%. Температура воспламенения смеси метана с воздухом составляет 530—800°С. Действительная концентрация газа с воздухом в печи равна 7—10%, что находится в пределах взрываемости природного газа. Таким образом, при вводе газа в печь снизу в ней может образоваться взрывоопасная смесь, что недопустимо. Чтобы расширить пределы взрываемости топливной смеси и повысить температуру воспламенения, в нее вводят инертный газ (например, продукты горения). При соотношении смеси природного газа и инертного (рециркуляционного) 1 : (2...3) температура воспламенения смеси повышается до 900—1100°С, что обеспечивает горение газа в пределах зоны обжига.

Воздухоохранная консольная фурменная горелка показана на рис. 57. Монтажная форма 1 сваривается из обычной стали толщиной 20 мм. Защитная форма 2, заглубляемая в обжигаемый материал на 100—800 мм, выполнена литьем из жаропрочной стали. Газообразное топливо поступает в слой материала через диффузионную горелку 3, а воздух или инертные газы вводятся для охлаждения формы 2 через коробку 4. Крышка 5 предназначена для обслуживания горелки.

Известняк обжигают в три стадии, последовательно протекающие в зонах подогрева, обжига и охлаждения печи.

Зона подогрева газовых печей составляет 30—40% полезной высоты шахты, что позволяет снизить температуру отходящих газов до 300—350°С (без учета подсосов холодного воздуха) и подогреть известняк в конце зоны до температуры 900°С. Выходящие из зоны подогрева печные газы при рациональном режиме содержат 24—26% углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) и 3—4% кислорода ( $\text{O}_2$ ).

Зона обжига занимает 35—40% полезной высоты шахты. В зоне обжига происходит сжигание природного газа и диссоциация известняка. Среднюю температуру газов в зоне обжига поддерживают на уровне 1100—1200°С. Равномерность распределения температуры газового потока по поперечному сечению шахты в зоне обжига зависит от равномерности распределения газа и воздуха по сечению шахты и условий их перемешивания. В результате неблагоприятных условий смешивания газа и воздуха в слое коэффициент избытка воздуха поддерживают в пределах  $\alpha = 1,2 \div 1,3$ .

**Зона охлаждения** занимает 25—30% полезной высоты шахты и служит для охлаждения извести до температуры 80—120° С перед ее поступлением на выгрузочный механизм.

**Регулирование процесса обжига.** Обжигальщик поддерживает температуру в зоне обжига на заданном уровне, регулируя расход газа, его распределение между горелками и соотношение «газ — воздух» в зонах обжига и подогрева.

В шахтных печах с периферийным вводом природного газа в два яруса 35—40% общего расхода природного газа на печь вводят в нижний ярус и 60—65% — в верхний. Первичный холодный воздух в количестве 25% от общего расхода вводят в зону обжига периферийно, а 75% воздуха через зону охлаждения (вторичный воздух).

При периферийном вводе газообразного топлива зона максимальных температур располагается в поперечном сечении шахты в виде пристенного кольца. В приосевой области температура газового потока на 200—300° С ниже максимальной. В связи с этим максимальную температуру в зоне обжига необходимо поддерживать в пределах 1250—1300° С, что приводит к относительно быстрому выгоранию футеровки шахты.

В печах, оснащенных балочными многослойными горелками, в нижний ярус вводят 35—40% общего расхода природного газа и 60—65% — в верхний ярус. В каждом ярусе на балочную горелку (центральный ввод газа и воздуха) подают от 70 до 100% общего расхода газа на ярус, в периферийные горелки — до 30% газа.

Воздух в количестве 20—24% от необходимого для полного сжигания газа вводят в качестве первичного через балочные горелки (центральный ввод), 5—10% вводят в зону обжига периферийно, а остальное количество поступает в зону обжига как вторичный воздух через зону охлаждения. Общий коэффициент избытка воздуха в зоне обжига шахтной газовой печи поддерживают в пределах  $\alpha = 1,2 \div 1,3$ . Температуру в подбалочном пространстве поддерживают в пределах 1250—1300° С, а в пристенной области — 1000—1100° С. В результате стойкость футеровки в печах с балочными горелками выше, чем в печах с периферийными горелками.

В печах, оборудованных центральными горелками, смесь газов, состоящая из природного и рециркуляционных газов и воздуха, поступает в зону обжига через зону охлаждения с температурой 900—1000° С. Природный газ подают в центральные горелки в количестве 60% от общего расхода, а 40% — в зону обжига периферийно в два яруса. Рециркуляционные газы вводят в расчете 2—3 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> (при нормальных условиях) природного газа. Воздух вводят в печь в соотношении: 25% первичного (периферийный ввод) и 75% вторичного (через зону охлаждения).

Известняк употребляется только в виде тщательно отсортированных узких фракций, например, 120—80 или 80—40 мм.

Загрузочное устройство шахтной газовой печи регулируют таким образом, чтобы более крупные куски известняка располагались преимущественно в приосевой области шахты. Тем самым снижается

«эффект стенки» при движении газов и их распределение по попечному сечению шахты выравнивается. Особое значение такая загрузка известняка приобретает для печей, снабженных только периферийными горелками.

**Отклонения от заданного режима обжига и способы их устранения.** Снизилась температура в зоне обжига. Если при этом производительность печи не изменилась, то следует проверить расход природного газа на печь. Если расход газа на горелки не менялся, то необходимо проверить соотношение «газ — воздух» в зоне обжига. При нормальной работе вентиляторов первичного и вторичного воздуха необходимо проверить, не появились ли значительные подсосы холодного воздуха в зонах обжига или охлаждения (открытые лючки гляделок, окон, трещины в кожухе). При появлении подсосов нужно отрегулировать подачу воздуха в печь и устраниить избыточные подсосы его из окружающей среды.

**Возросла температура отходящих газов.** Если при этом температура в зоне обжига не изменилась, то это связано с недогрузом печи известняком. Необходимо с помощью кнопок ручного управления додгрузить печь до нормального уровня и проверить работу уровнемера. Если одновременно увеличилась температура в зоне обжига, то следует проверить расход газа на печь и отрегулировать его величину.

**Резко возросла температура выгружаемой извести при снижении температуры отходящих газов.** Это может произойти в результате смещения зоны обжига вниз. В печах, оснащенных периферийными или балочными горелками, необходимо уменьшить количество газа, подаваемого в нижний ярус горелок. В печах с центральной (подовой) горелкой следует увеличить количество вводимого в горелку инертного газа.

**Подвисание материала.** В месте входа газа в шахту часто развивается высокая температура (1200—1300°С), при которой содержащиеся в известняке примеси оплавляются. В результате куски извести слипаются и материал зависает в окне горелки. Условия подвода воздуха к газу ухудшаются, и горелка работает с едва заметным факелом (вязлое горение газа). Через отверстие гляделки наблюдается потемнение цвета извести. Обжигальщик разрушает подвисание в горелке металлической штангой. В дальнейшем необходимо периодически осматривать периферийные горелки и прочищать их от слегка подвисающего материала.

Подвисание материала на балочной горелке обнаруживается по ярко-белому накалу извести по бокам подбалочного пространства. Температура в подбалочном пространстве резко возрастает, и куски извести частично спекаются между собой. Обжигальщик сбивает подвисший материал металлической штангой через гляделку балочной горелки. Если подвисание обнаружено с запозданием и на ходу не устраняется, обжигальщик отключает подачу газа в горелку и после снижения температуры в подбалочном пространстве разрушает подвисание.

При образовании в шахте печи значительного зависания материала необходимо выключить подачу газа в печь и после охлаждения материала (через 2—3 ч) приступить к разрушению зависаний. Обжигальщик сбивает зависший материал металлической штангой через отверстия периферийных и балочных гляделок.

Техническое обслуживание печи, работающей на газообразном топливе, производится обжигальщиком по правилам, приведенным на стр. 122.

**Правила техники безопасности.** Пуск, остановка и эксплуатация шахтной газовой печи производится обжигальщиком с соблюдением следующих правил техники безопасности.

При наблюдении за процессом горения топлива через гляделки он пользуется защитными очками; при шуровке камня в зоне обжига предварительно выключает горелку в месте работы и вновь включает ее, окончив шуровку.

На печи, отапливаемой природным газом, нельзя работать при отсутствии в ней разрежения; опасно стоять напротив открытых люков работающих горелок из-за возможного выбивания пламени.

Не разрешается проверять уплотнения газопровода и арматуры с помощью огня, что может привести к взрыву и пожару. Газопроводы проверяют на утечку газа только с применением мыльной эмульсии.

## § 22. УСТРОЙСТВО И РАБОТА ШАХТНЫХ ПЕЧЕЙ НА ЖИДКОМ ТОПЛИВЕ

Шахтная печь на мазуте конструкции институтов ВНИИСП (г. Киев) и НИПИСиликатобетон (т. Таллин) производительностью 30 т/сут представляет собой реконструированную типовую печь конструкции Союзгипрострома с диаметром шахты в зонах обжига и подогрева 2 м и полезной высотой 17 м.

При реконструкции печи внесены следующие изменения: по периферии шахты (в зоне обжига) в один ярус смонтированы три выносные топочные камеры для газификации мазута (рис. 62, б). Топки установлены под углом 30° к горизонту. Расстояние от выходного отверстия топки до выгрузочного механизма составляет 4 м. Распределительный конус механизма загрузки имеет диаметр основания 1,3 м и центральный угол, равный 90°. Такая конструкция конуса обеспечивает загрузку крупной фракции сырья в приосевую область шахты, что способствует более равномерному распределению газов по поперечному сечению шахты при периферийном вводе топлива.

В камерах для газификации установлены инжекционные форсунки конструкции «Хемимаш» (Венгрия) с паромеханическим распылением мазута. В камеры отдельным вентилятором ВВД-5 под давлением 600 Па нагнетается первичный воздух.

Отбор газов из печи осуществляется дымососом Д-10. При обжиге известняка фракции 60—120 мм ( $\text{CaCO}_3$  — 90,5%,  $\text{MgCO}_3$  — 5,5%) с использованием мазута марки 40 производительность печи составила 36 т/сут; удельный съем извести 11,5 т/ $\text{m}^2 \cdot \text{сут}$ ; содержание

ние активных  $\text{CaO} + \text{MgO}$  — 71,6% при остаточной  $\text{CO}_2$  — 8,62%, расход условного топлива на 1 т извести 134 кг.

Шахтные печи, работающие на мазуте, производительностью 50, 100 и 150 т/сут, основные показатели которых даны в табл. 7, разработаны в Союзгипрострое в 1971—1974 гг.

В зоне подогрева эти печи имеют цилиндрическую шахту. В зоне обжига поперечное сечение шахты сужается и переходит в прямоу-

Таблица 7

**Проектные характеристики шахтных печей, работающих на мазуте, конструкции Союзгипростроя**

Показатели	Производительность, т/сут		
	50	100	150
Высота печи, м:			
рабочая	18,6	17,4	20,6
строительная	29	30	34,6
Внутренний диаметр шахты, м:			
в зоне подогрева	3,3	4,29	4,95/4,3
в зоне обжига	2,2×2,7	2,9×3,7	3,744×3,744
в зоне охлаждения	1,6×1,6	2,2×2,2	2,6×2,6
Средняя площадь поперечного сечения шахты в зонах обжига и подогрева, м <sup>2</sup>	5	9,5	13,6
Полезный объем шахты, м <sup>3</sup>	96	180	285
Удельный съем извести:			
т/м <sup>2</sup> ·сут	10	10,5	11
т/м <sup>3</sup> ·сут	0,52	0,56	0,53
Удельный расход условного топлива, кг/т	194	194	185
Установленная мощность токоприемников, кВт	84,2	146,7	203,3
Расход оборотной воды на охлаждение горелочных устройств, м <sup>3</sup> /ч	20	60	90
Горелочные устройства	1 водоохлаждаемая балка, 2 топочные камеры с двумя форсунками ГМГ	2 водоохлаждаемые балки, 4 топочные камеры с четырьмя форсунками	
Загрузочное устройство	Питатель электровибрационный С-471	185-ПТ	
Выгрузочное устройство	Скиповой подъемник с ковшом вместимостью, м <sup>3</sup>		
	0,5   0,75   1,5		
Герметизирующее устройство механизма выгрузки	Двухклапанный механизм загрузки Союзгипростроя		
	Механизм выгрузки Союзгипростроя		
	Барабанный затвор	Шлюзовой трехклапанный затвор	

гольное; в зоне охлаждения шахта имеет квадратное выходное отверстие.

Футеровка печей производительностью 50 и 100 т/сут в зонах подогрева и охлаждения выполнена из шамотного кирпича марки Д толщиной 345 мм (в зоне подогрева) и 230 мм (в зоне охлаждения), в зоне обжига — из магнезитохромитового кирпича марки МХСО толщиной 300—345 мм. Футеровка печи производительностью 150 т/сут в верхней части зоны подогрева и нижней части зоны охлаждения выложена шамотным кирпичом марки Д толщиной 230 мм, а в средней и нижней части зоны подогрева, в зоне обжига и верхней части зоны охлаждения — магнезитохромитовым кирпичом марки МХСО толщиной 345 мм.

Теплоизоляция шахты в зоне обжига включает в себя слой шамотного кирпича марки ШЛБ-1,3 толщиной 230—595 мм и слой теплоизоляционной засыпки трепелом толщиной 50—65 мм. Теплоизоляция шахты в зоне подогрева для печей производительностью 50 и 100 т/сут состоит из слоя засыпки трепелом толщиной соответственно 55 и 50 мм, для печей 150 т/сут — из слоя кирпича марки ШЛБ-1,3 толщиной 230 мм и слоя засыпки трепелом толщиной 65 мм.

Печи оснащены водоохлаждаемыми балками, установленными в шахте в два яруса. Под каждой балкой нижнего яруса в стенке шахты встроены топочные камеры для газификации мазута: на печи производительностью 50 т/сут — две, на печах 100 и 150 т/сут — четыре. Топочные камеры оборудованы паромеханическими форсунками ГМГ. Балка второго яруса расположена на 3 м выше и перпендикулярно направлению нижних. Эта балка служит для выравнивания распределения газов по поперечному сечению шахты и дожигания продуктов газификации мазута в ее подбалочном пространстве.

Отходящие газы очищаются от механических примесей в групповых циклонах ЦН-15.

Печи производительностью 50 и 100 т/сут оснащены одним предохранительным взрывным клапаном диаметром 800 мм, а печь производительностью 150 т/сут — двумя.

Газы из печей производительностью 50 и 150 т/сут отбираются через патрубки, расположенные над слоем материала, а из печи 100 т/сут — с помощью металлического короба, находящегося под слоем материала. Печи оснащены современной регулирующей и измерительной аппаратурой.

Шахтная печь производительностью 150 т/сут конструкции Союзгипростроя (рис. 61). Мазут вводится в печь в один ярус в подбалочное пространство двух водоохлаждаемых балок 9, расположенных одна от другой на расстоянии (по оси) 1744 мм. Четыре форсунки 10 с механическим распылением мазута установлены в камерах, которые находятся ниже балок с двух их сторон. Мазут от кольцевого мазутопровода по тупиковым трубопроводам под давлением до 2,5 МПа при температуре 105°С поступает к форсункам, к которым через кольцевой коллектор пода-

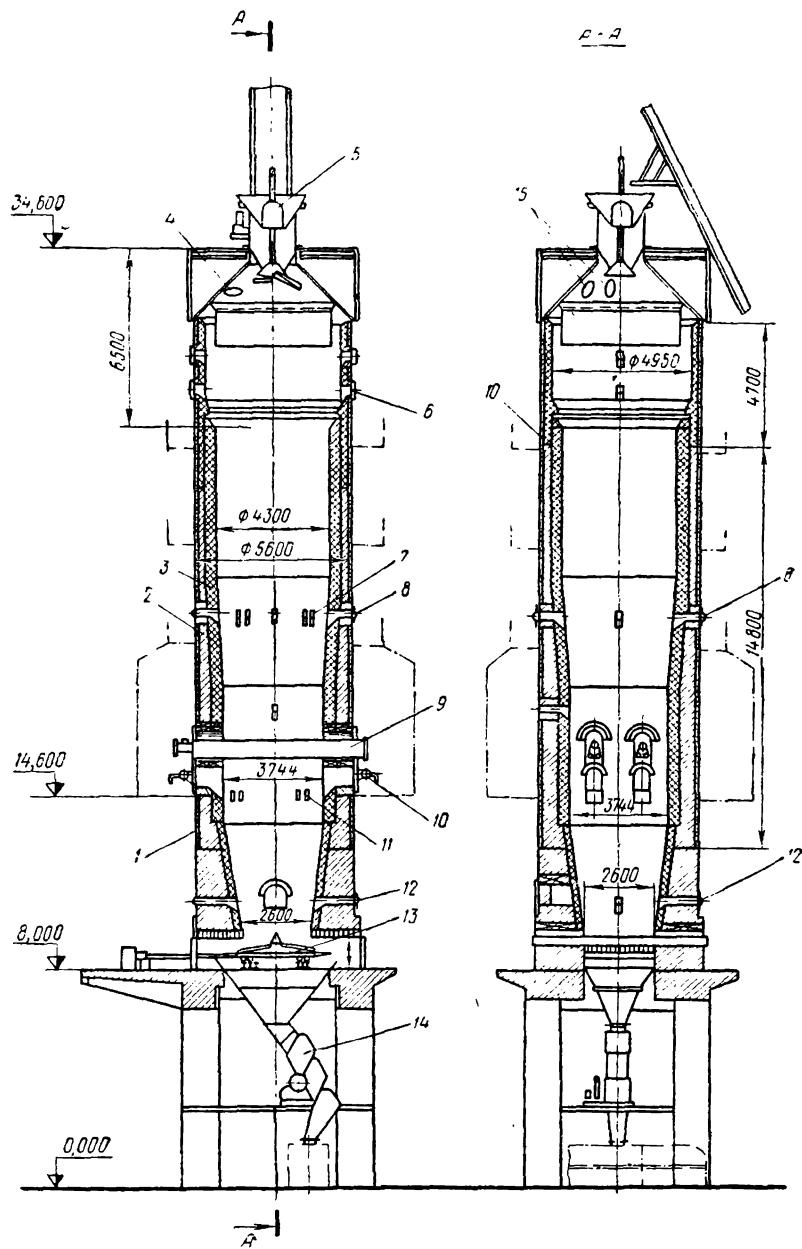


Рис. 61. Шахтная печь на мазуте конструкции Союзгипростроя производительностью 150 т/сут:

1 — кожух печи, 2 — кладка из легковесного кирпича, 3 — футеровка из доменного кирпича, 4 — отверстие для отсоса отходящих газов, 5 — загрузочное устройство, 6, 7, 11 — отверстия для установки преобразователей КИП, 8, 12 — гляделки, 9 — балка с водяным охлаждением, 10 — мазутная форсунка, 13 — выгрузочная решетка, 14 — трехшлюзовой затвор, 15 — предохранительные взрывные клапаны

ются рециркуляционные газы (температура 250°С, содержание кислорода 12%). Рециркуляционные газы отбираются из верхней части шахты мельничным вентилятором ВВСМ-1у ( $Q=12\,000\text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $H=4000\text{ Па}$ ,  $n=1460\text{ об/мин}$ ) и нагнетаются в кольцевой коллектор. Туда же от вентилятора ВВД-11у через трубопровод с установленной на нем регулирующей заслонкой (ПРЗ) поступает холодный воздух в количестве 25% общего расхода на горение топлива.

Газификация мазута происходит в объеме подбалочного пространства, куда поступает смесь распыленного мазута и рециркуляционных газов. Часть продуктов газификации (коксовый остаток мазута) сгорает в объеме подбалочного пространства, а основное их количество сгорает в межкусковом пространстве зоны обжига над балками при соединении с движущимся по шахте вторичным воздухом, который нагнетается в печь вентилятором ВВД-11у ( $Q=10\,000\text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $H=3000\text{ Па}$ ,  $n=1000\text{ об/мин}$ ).

Дымовые газы отсасываются из печи мельничным вентилятором ВМ-50/1000-11у ( $Q=56\,000\text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $H=3880\text{ Па}$ ,  $n=1480\text{ об/мин}$ ) через газоочистную установку, состоящую из восьми циклонов НИИОГАЗ типа ЦН-15 диаметром 800 мм.

По проекту предусмотрено автоматическое регулирование соотношения расхода мазута и рециркуляционных газов. Температура рециркулята перед вентилятором ВВСМ-1у регулируется изменением подачи холодного воздуха от вентилятора ВВД-11у.

Подача в форсунки мазута прекращается автоматически при повышении или понижении установленных пределов изменения давления в мазутопроводе, понижении разрежения в печи на уровне горелочных устройств и повышении температуры воды в балках. При этом одновременно автоматически переключаются шиберы, установленные на трубопроводах отходящих газов, на естественную тягу в печи с выключением из работы газоочистного устройства и вентилятора рециркуляции газов.

## § 23. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ШАХТНЫХ ПЕЧЕЙ НА ЖИДКОМ ТОПЛИВЕ

**Сушка печи.** Сушка печи производится по утвержденному графику режима сушки и розжига шахтной печи и выполняется на сжиженном газообразном топливе или на дровах.

**Пуск и остановка.** Подготовку к пуску шахтной печи на жидкое топливо (мазуте) начинают с осмотра и опробования технологического и транспортного оборудования от склада сырья до склада извести, а также оборудования, баков и трубопроводов системы хранения и транспортирования мазута к печам. При этом проверяют наличие актов по опрессовке системы водяного охлаждения балок в зоне обжига печи, мазутопровода и паропровода, служащего для подогрева мазута. Убеждаются в наличии необходимых запасов кондиционного известняка и жидкого топлива в мазутохранилище. Проверяют исправность пусковой аппаратуры дымососа и дутьевых вентиляторов печи.

Проверяют обеспечение рабочих мест противопожарными средствами (ящики с песком; огнетушители ОП-5, ОП-8) и средствами индивидуальной защиты обслуживающего персонала.

Администрация должна вывесить на каждом рабочем месте инструкцию по безопасным методам обслуживания данного агрегата, машины или механизма.

После опробования и наладки всех механизмов, регулирующих и контрольно-измерительных приборов печи, системы водяного охлаждения балок и системы подачи в печь жидкого топлива приступают к розжигу печи.

*Подготовку шахтной печи к розжигу* начинают с загрузки ее материалами в следующем порядке. Зону охлаждения печи заполняют комовой известью до уровня на 0,5—1 м ниже водоохлаждаемой балки нижнего яруса. Зону обжига заполняют сухими дровами. Дрова поливают сверху жидким горючим (керосин, газойль и т. п.). Зону подогрева заполняют на  $\frac{3}{4}$  высоты известняком.

Затем включают систему водяного охлаждения балок, открывают люки выгрузочного механизма и приступают к розжигу печи.

*Розжиг печи.* Факелом, изготовленным из пропитанных керосином или газойлем тряпок, через подбалочные люки зажигают дрова. Как только дрова загорятся, включают дымосос на минимальную тягу в зоне обжига печи (30—50 Па). Горение дров продолжается 4—6 ч и температура в зоне обжига поднимается до 700° С. По мере горения дров известняк оседает в шахте и печь догружают сырьем до прежнего уровня.

После поднятия температуры до 700° С приступают к пуску мазутных форсунок. Сначала пускают вентилятор первичного воздуха. Проверяют температуру подогрева мазута, которая в зависимости от марки должна находиться в пределах 80—105° С, затем включают насос, подающий мазут к форсункам, и устанавливают давление мазута в пределах 1,0—1,5 МПа.

При наличии на печи двух ярусов ввода продуктов газификации мазута первыми разжигают форсунки верхнего яруса.

Вначале пускают форсунки, камеры которых выходят в подбалочное пространство. При пуске ротационной форсунки вначале включают электропривод форсунки и в камеру вводят факел, плавно открывая кран подачи мазута в ротационную форсунку. При пуске паромеханической форсунки предварительно продувают ее паром, пускают пар избыточного давления 0,1—0,4 МПа, затем мазут в количестве 25—50% от номинального значения. В камере температура постепенно поднимается до 900—1100° С, мазут газифицируется и продукты газификации поступают в подбалочное пространство. Затем пускают форсунки периферийного ввода.

Пустив форсунки верхнего яруса, приступают к розжигу форсунок нижнего яруса, который выполняют в таком же порядке.

После розжига всех форсунок плотно закрывают люки выгрузочного механизма, пускают дутьевой вентилятор вторичного воздуха и приступают к выводу печи на рабочий режим.

*Выход печи на рабочий режим* начинается при расходе мазута в количестве 40—50% от нормального и подъеме температуры в зоне обжига до 800—900° С. С пуском дутьевого вентилятора дымосос открывают на полную производительность, а расход мазута увеличивают до 60—70% от нормального значения. После того как температура в зоне обжига поднимется до 1000—1100° С, а температура отходящих газов — до 200—250° С, пускают на малую скорость выгрузочный механизм. По мере оседания материала в шахте печь с помощью ручного управления догружают известняком до нормального уровня.

Выход печи на рабочий режим продолжается обычно в течение 2—3 суток. Производительность печи в первые сутки составляет 20—25% от проектного значения; на вторые сутки с ростом содержания в извести CaO производительность увеличиваются до 50—60% от нормы и на третий сутки после повышения CaO в воздушной извести до 90% выводят печь на проектную производительность. Затем загрузку печи переключают на автоматическое управление и вывод печи на рабочий режим считается законченным.

*Остановку печи* производят в следующем порядке. Вначале закрывают краны на мазутопроводе форсунок, останавливают дутьевые вентиляторы первичного и вторичного воздуха и открывают люки выгрузочного механизма для подсоса в печь холодного воздуха. Затем прекращают загрузку печи известняком и разгружают печь. После выгрузки материалов из печи останавливают выгрузочный механизм. При снижении температуры в шахте до 250° С выключают систему водяного охлаждения балок, а после снижения температуры в шахте до 50° С останавливают дымосос и приступают к оству печи.

**Обжиг известняка.** Особенности сжигания мазута в шахтных печах. Мазут сжигают, образуя с помощью форсунки состоянне тумана из мельчайших капелек мазута. При сжигании мазута образуется сажистый углерод, который не горит в факеле при плохом перемешивании с воздухом или недостаточно высокой температуре горения.

В шахтных печах применяют три способа сжигания мазута: непосредственно в слое материала, полное сжигание в выносной топке и предварительная газификация мазута в топочной камере с последующим дожиганием полугаза в слое материала.

При первом способе сжигания мазута сажистый углерод, образующийся при термическом разложении мазута, из-за слабого перемешивания с воздухом в слое материала сгорает лишь частично и печные газы содержат до 0,7 г/м<sup>3</sup> (при нормальных условиях) сажи, что сопровождается перерасходом топлива на обжиг в результате химического недожога топлива и загрязнением окружающей среды.

При полном сжигании мазута в топочной камере развивается высокая температура (1600—1700° С). Чтобы снизить температуру газов на выходе из топки до 1300° С (по условиям технологии обжига материала), процесс ведут с коэффициентом избытка воздуха

$a=2$ , что сопровождается перерасходом топлива из-за больших потерь тепла с отходящими газами.

Наиболее эффективен третий способ сжигания мазута, который получил широкое распространение за рубежом и начинает применяться в нашей стране.

Схемы двух топочных камер для газификации мазута показаны на рис. 62. Топочная камера конструкции Союзгипростроя представляет собой футерованную шамотным огнеупором камеру 3, снабженную со стороны торцовой съемной крышки форсункой 5. В камеру через патрубок 4 отдельным вентилято-

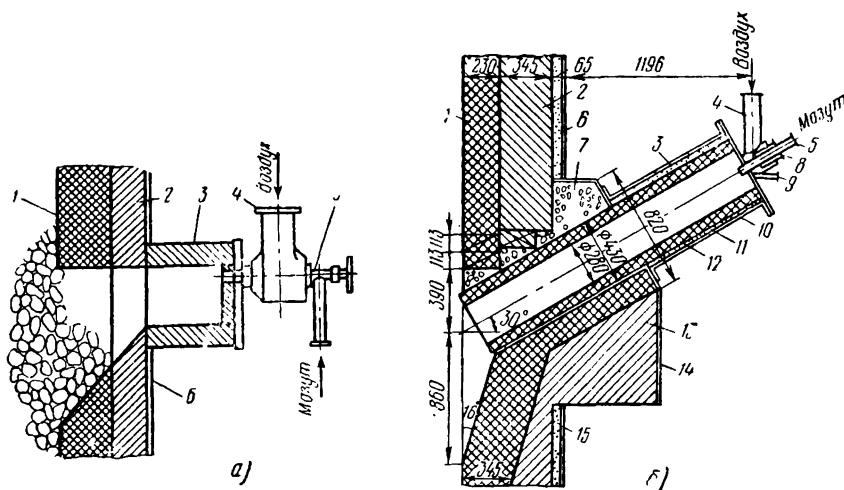


Рис. 62. Выносные топочные камеры для газификации мазута при его сжигании в шахтной печи:

а — конструкции Союзгипростроя, б — конструкции ВНИИСП; 1 — кирпич хромомагнезитовый, 2 — легковесный кирпич марки ШЛБ-1,3, 3 — топочная камера, 4, 8 — патрубки для ввода воздуха и пара, 5 — форсунка, 6, 10, 14 — стальные кожухи, 7 — бетон на шамотном растворе, 9 — патрубок для растопочного факела, 11, 15 — молотый трепел, 12 — кольца из шамотного огнеупора, 13 — глиняный кирпич

ром нагнетается первичный воздух, составляющий 25—40% от необходимого количества для полного сжигания мазута, или воздух и рециркуляционные газы. Мазут распыляют механическими форсунками с винтовым распылителем, ротационными и паромеханическими ГМГ форсунками.

Форсунка ГМГ состоит из ствола, колодки, распыливающей головки и лопаточного завихрителя первичного воздуха. Колодка снабжена топливным и паровым штуцерами, через которые к форсунке подводятся мазут и сухой насыщенный пар. Ствол представляет собой вставленные одна в другую трубы, соединенные одним концом с колодкой, а другим — с распыливающей головкой. По центральной трубе в головку поступает мазут, по наружной — пар для дополнительного распыливания мазута.

Распыливающая головка снабжена завихрителем топлива и завихрителем пара. Лопаточный завихритель первичного воздуха

представляет собой цилиндрическую обечайку, расположенную со-сно с распыливающей головкой и снабженную направляющими лопатками. Закрученные струи мазута и пара выходят из форсунки через центральное отверстие с углом раскрытия факела 65—75°.

Выносная топочная камера — газификатор мазута конструкции ВНИИСП (г. Киев) представляет собой цилиндрическую футерованную камеру 3 диаметром 0,28 м и длиной 2 м, в торцовой крышке которой установлена инжекционная форсунка 5 паромеханического распыливания мазута. Мазут, подогретый до 80° С, подается в форсунку под давлением 0,16 МПа. Сухой насыщенный пар под давлением 0,4 МПа поступает в форсунку в количестве 0,15—0,2 кг/кг мазута. Первичный воздух в количестве 40% от теоретически необходимого для полного сжигания мазута нагнетается по оси топки отдельным вентилятором через патрубок 4.

Форсунка 5 конструкции «Хемимаш» снабжена головкой-распылителем с конусным отверстием диаметром 4 мм и углом раскрытия 7°, обеспечивающим распыление мазута под углом 15°, что предотвращает попадание его на стенки камеры.

При газификации мазута марки 40 в топочной камере этой конструкции получен полугаз температурой 1000—1100° С и теплотой сгорания 4600 кДж (1100 ккал/м<sup>3</sup>).

Сжигание продуктов газификации в шахте печи происходит в основном таким же образом, как и в шахтной газовой печи, оснащенной периферийными и балочными горелками.

При рациональной организации сжигания жидкого топлива 40% от общего расхода мазута на обжиг подают в нижний ярус и 60% — в верхний. Воздух в количестве 20—30% от необходимого для сжигания топлива вводится в форкамеру и используется для газификации мазута (первичный воздух), остальные 70—80% вводятся дутьевым вентилятором под решетку выгрузочного механизма (вторичный воздух).

**Регулирование процесса обжига.** На температуру в зоне обжига влияет количество и теплота сгорания поступающих продуктов газификации мазута, фракционный и химический состав известняка, соотношение «топливо — воздух» и скорость выгрузки известия.

Количество поступающих в печь продуктов газификации мазута обжигальщик регулирует, изменяя количество подаваемого в форсунки мазута.

Теплота сгорания продуктов газификации мазута зависит от качества распыления и соотношения «мазут — воздух» в камере. Чтобы обеспечить хорошее распыление мазута механической форсункой, давление мазута должно быть 1,2—2 МПа, а температура не ниже 80° С. Соотношение «мазут — воздух» настолько сильно отражается на теплоте сгорания продуктов газификации, что должно поддерживаться регулирующим устройством. Например, отклонение количества вводимого в топку воздуха от установленного на ±20% приводит к изменению теплоты сгорания продуктов газификации вдвое.

Чем больше воздуха поступает на газификацию 1 кг мазута, тем ниже теплота сгорания образующегося полугаза. При газификации мазута в топочной камере, снабженной инжекционной форсункой с паровым распылением топлива, при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha=0,3\div0,4$  получен газ неполного сгорания (полугаз), теплота сгорания которого  $9\text{--}4 \text{ МДж}/\text{м}^3$  ( $2200\text{--}1100 \text{ ккал}/\text{м}^3$ ). Температура продуктов газификации на выходе из топки составляет  $900\text{--}1100^\circ\text{C}$ .

Качество известняка значительно влияет на ход процесса обжига, поэтому в шахтных печах на жидким топливом необходим пофракционный обжиг известняка.

Соотношение топливо — воздух в зоне обжига при сжигании мазута поддерживают в пределах  $\alpha=1,2\div1,3$ .

Скорость выгрузки извести обжигальщик изменяет только в случае значительного отклонения режима обжига от нормального.

**Отклонения от заданного режима обжига и способы их устранения.** Снизилась температура в зоне обжига. Причиной может послужить неудовлетворительная газификация мазута в некоторых топочных камерах. Необходимо проверить давление мазута перед форсунками и его температуру. Через гляделку в камере при нормальном режиме газификации должно быть видно желтое пламя. Если пламени нет, то это означает что форсунка закоксовалась.

Для смены форсунки необходимо закрыть вентиль на мазутопроводе данной форсунки, отсоединить и вынуть подводящую трубку с форсункой из корпуса, слить остатки мазута из форсунки в ведро и, зажав ее в тиски, сменить головку форсунки на запасную. Затем нужно форсунку установить на место, ввести в камеру факел и постепенно открыть вентиль мазута до нормального расхода. Закоксованную головку форсунки следует промыть газойлем и пропустить сжатым воздухом.

*Зона обжига сместилась вниз.* Чтобы отрегулировать положение зоны обжига, необходимо временно снизить расход мазута в нижний ярус форсунок и увеличить разрежение в печи, открыв полностью направляющий аппарат перед дымососом. После установления зоны обжига в нормальное положение следует отрегулировать подачу мазута в форсунки.

*Зона обжига сместилась вверх.* Чтобы возвратить зону обжига в нормальное положение, временно увеличивают скорость выгрузки извести и пещ загружают известняком до верхнего предельного значения уровня. После того как зона обжига установится в нормальное положение, необходимо откорректировать количество мазута, подаваемого в форсунки верхнего и нижнего яруса.

*Образование зависания материала.* При образовании зависания материала в печи необходимо снизить подачу топлива, увеличить скорость выгрузки извести и ликвидировать зависания металлическими штангами, соблюдая меры безопасности.

При снижении температуры мазута ниже  $50^\circ\text{C}$  необходимо прекратить подачу мазута в пещь (закрыть общий вентиль на мазутопроводе).

проводе). К растопке топочных камер следует приступить после того, как температура мазута поднимется до 80—105° С.

При пуске, остановке и обслуживании шахтной печи на жидким топливе обжигальщик руководствуется правилами безопасности, изложенными в соответствующих разделах шахтных пересыпных и газовых печей.

Техническое обслуживание печи, работающей на мазуте, производится обжигальщиком по правилам, приведенным на стр. 122.

#### § 24. АВТОМАТИЗАЦИЯ ШАХТНЫХ ПЕЧЕЙ

Современные шахтные печи оснащены приборами, устройствами и механизмами, которые осуществляют автоматическую загрузку сырья и топлива в печь, автоматическое измерение и регулирование теплотехнических параметров печи. Кроме того, они оснащены автоматикой безопасности, обеспечивающей автоматическое отключение подачи в печь газообразного или жидкого топлива при падении давления топлива в трубопроводе, при падении разрежения в печи или давления вторичного воздуха, при превышении температуры охлаждающей воды в балочных горелках или балках.

Система автоматической загрузки шихты в шахтную печь включает следующие устройства: автоматический дозатор, загрузочное устройство, механизм поворота чаши загрузочного устройства, радиоактивный или штанговый измеритель уровня материала в шахте.

**Дозаторы.** Для дозирования шихты применяют весовые автоматические дозаторы, электровибрационные и качающиеся питатели.

*Весовой автоматический дозатор шихты* (рис. 63) состоит из двух приемных бункеров 7 для известняка и твердого топлива, двух течек 6 и 14, двух качающихся питателей 5 и 15, весовой измерительной системы 9, дозирующего бункера 11 с течкой 3 и системы рычагов 1, 2 и 4. Бункер 11 посредством канатов 10 подведен к раме весовой измерительной системы, которая в свою очередь подвешена к бункерам 7 на канатах 8.

Дозатор работает следующим образом. Известняк из левого бункера 7 качающимся питателем 5 подается в дозирующий бункер. По мере заполнения бункера материалом измерительная весовая система приближается к равновесию. Как только масса известняка в бункере достигает установленного значения, измерительная система 9 выключает электродвигатель качающегося питателя 5.

Одновременно с этим включается электродвигатель качающегося питателя 15, который из правого бункера 7 подает твердое топливо в бункер 11. Когда общая масса шихты в бункере достигает заданного значения, измерительная весовая система выключает питатель 15.

При возвращении в нижнее положение ковш 13 скипового подъемника нажимает на рычаг 1, который через рычаги 2 и 4 открывает затвор 12 дозирующего бункера, и материал по течке 3сыпается в ковш. При движении ковша вверх система рычагов 1, 2 и 4 под

действием контргруза плотно закрывает затвор дозирующего бункера. Командный аппарат включает питатель 5, и цикл дозирования шихты повторяется. К моменту возвращения ковша в нижнее положение дозирующий бункер 11 вновь заполнен шихтой.

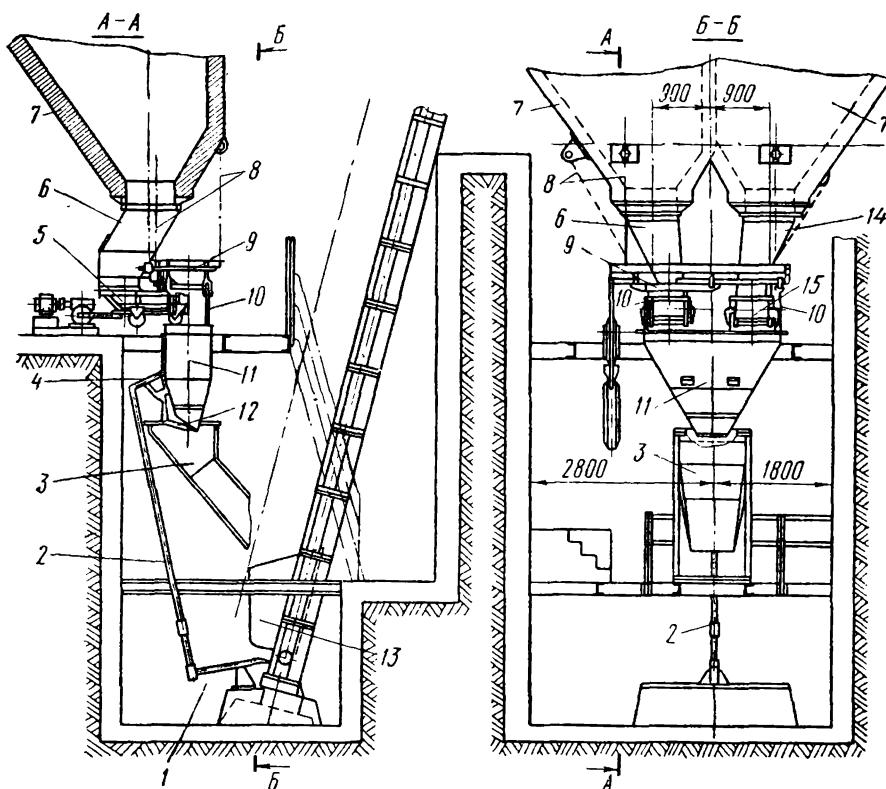


Рис. 63. Автоматический весовой дозатор:  
1, 2, 4 — рычаги, 3, 6, 14 — течки, 5, 15 — качающиеся питатели, 7 — бункера, 8, 10 — каналы и тяги, 9 — весовая измерительная система, 11 — дозирующий бункер, 12 — затвор, 13 — ковш

*Весовой автоматический дозатор АВДИ-425Ф или АВДИ-1200Ф* состоит из весовой измерительной системы, задатчика массы, двух впускных затворов и дозировочного бункера. Все оборудование смонтировано на металлической раме. Впускные затворы соединены с бункерами, один из которых заполнен известняком, другой твердым топливом.

Задатчик массы состоит из стрелки, надетой на ось циферблата-ного указателя весов, на которой закреплен фоторезистор. К корпусу указателя прикреплено кольцо, на котором смонтированы лампочки задатчика доз. В зависимости от требуемой дозы вилка

вставляется в соответствующее гнездо штепсельного разъема и напряжение 6,3 В подается на определенную лампочку.

При дозировании материала электропневматическим механизмом открывается заслонка первого затвора. По достижении заданной массы (фоторезистор и лампочка данной дозы совмещены в одной плоскости) заслонка закрывается и открывается заслонка второго впускного затвора. Известняк обычно дозируется в два приема. После достижения заданной массы с пульта управления открывают выпускное отверстие бункера и шихты высыпается в ковш скрапового подъемника.

Управление дозатором дистанционное, электропневматическое. Пределы взвешивания для дозатора АВДИ-425Ф 80—600 кг, для АВДИ-1200Ф—200—1200 кг.

Для дозирования известняка в ковш скрапового подъемника применяют *электровибрационные и качающиеся питатели* (см. рис. 22 и 23). Дозирование сырья осуществляется по установленному времени включения питателя.

Техническая характеристика электровибрационного питателя 185-ПТ: производительность при насыпной массе материала 1,5 т/м<sup>3</sup>—50 т/ч, максимальный размер кусков подаваемого материала — 150 мм, мощность электровибрационного привода — 0,5 кВт, размеры лотка — 500×1600 мм.

**Загрузочное устройство.** Загрузочное устройство шахтной печи состоит из скрапового подъемника с электрической лебедкой, поворотной чаши и двухклапанного затвора. На рис. 64 изображена кинематическая схема загрузочного устройства. Электрическая лебедка 1 посредством каната и системы блоков транспортирует шихту ковшом 2 на верх печи.

При движении вверх по стволу ковш своим выступом входит в зацепление с зубом ползуна П-1, поднимая с помощью каната и шкивов 3 и 4 верхний клапан 7. При этом шихта, находящаяся в приемной чаше, проваливается в нижнюю камеру, выходное отверстие которой закрыто клапаном 8.

Выходя из зацепления с ползуном П-1, ковш продолжает подниматься по стволу, а верхний клапан 7 под действием привода (или собственного веса) опускается вниз, плотно закрывая загрузочное отверстие верхней камеры. При дальнейшем движении вверх ковш входит в зацепление с ползуном П-2 и поднимает груз 9, который с помощью каната и блоков удерживает клапан 8 вверху.

Под действием собственного веса и веса шихты нижний клапан опускается вниз, пропуская сырье и топливо в шахту печи. Выходя из зацепления с ползуном П-2, ковш продолжает движение по стволу, а конус под действием груза поднимается вверх и плотно закрывает нижнее загрузочное отверстие.

Поднявшись на горизонтальный участок направляющих ствола подъемника, ковш воздействует на конечный выключатель, опрокидывается и высыпает содержимое в загрузочную чашу. Конечный выключатель разрывает цепь питания электродвигателя лебедки ската и включает через реле времени электродвигатель вращения

поворотной чаши. После возвращения ковша в нижнее положение он наполняется сырьем и топливом, и, получив соответствующий сигнал, начинает движение вверх по стволу подъемника.

**Радиоактивный указатель уровня.** Радиоактивный указатель уровня располагается на двух уровнях по высоте шахты.

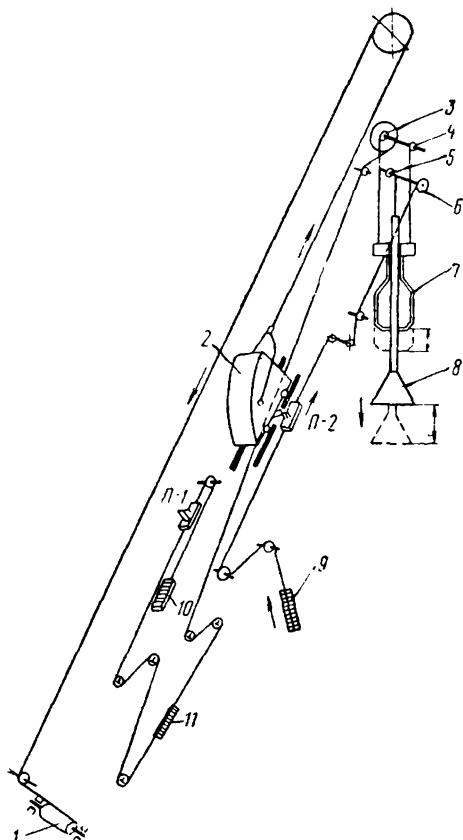


Рис. 64. Кинематическая схема автоматической работы загрузочного устройства шахтной печи:  
1 — лебедка, 2 — ковш скипового подъемника, 3—6 —  
шкивы, 7 — верхний клапан, 8 — нижний клапан,  
9, 10, 11 — грузы; П-1 и П-2 — ползуны

Указатель уровня ГР-7 состоит из двух источников излучения двух приемников и одного общего электронного блока, имеющего два выходных реле. При прохождении луча через слой материала приемник фиксирует снижение мощности излучения по сравнению с прохождением луча через свободное пространство. Электронный блок, воспринимая соответствующие электрические сигналы от нижнего 13 (рис. 65) и верхнего 14 указателей, управляет выходным реле, рабочие контакты которых посредством электрической цепи

аппарата КЭП-1 управляют электродвигателем скиповой лебедки и включают световую сигнализацию на пульте оператора.

**Штанговый указатель уровня.** Штанговый указатель уровня представляет собой металлический стержень с грузом на конце. Груз лежит на поверхности слоя шихты и опускается вместе с ней.

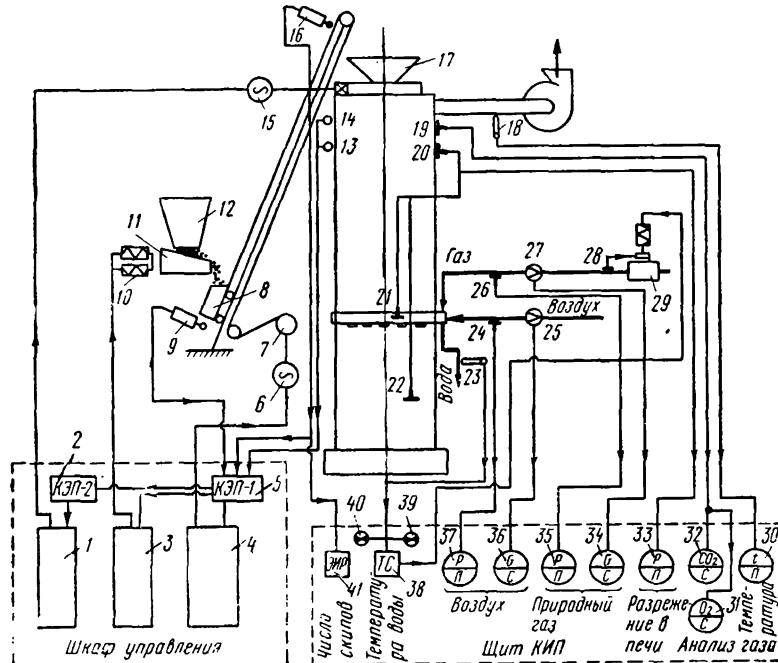


Рис. 65. Схема автоматической загрузки сырья и теплового контроля процесса обжига в шахтной печи на газообразном топливе:

1, 3, 4 — станции управления, 2, 5 — командно-электропневматический прибор КЭП, 6 — электродвигатель привода лебедки, 7 — лебедка, 8 — ковш, 9, 16 — конечный выключатель ВК, 10 — обмотка электрического вибратора, 11 — электровибрационный питатель, 12 — бункер, 13, 14 — нижний и верхний указатели уровня, 15 — электродвигатель привода поворота загрузочной чаши, 17 — загрузочная чаша, 18 — термометр ТХА, 19 — заборное устройство газоанализатора, 20, 21, 22 — преобразователи разряжения в печи, 23 — термобаллон, 24, 26, 28 — преобразователи давления, 25, 27 — диафрагма, 29 — предохранительный клапан ПКН, 30 — показывающий милливольтметр, 31 — газоанализатор на кислород, 32 — газоанализатор на CO<sub>2</sub>, 33 — показывающий мембранный напоромер, 34, 36 — самопищущий дифманометр, 35, 37 — показывающий мембранный тягомер, 38 — сигнализирующий термометр, 39, 40 — лампочки красного и зеленого цвета, 41 — регистратор импульсов электрический ЭИР

Перед загрузкой шихты в печь штанговый указатель поднимается вверх на канате, соединенном с ползуном, которым управляет ковш скипового подъемника. Находящаяся снаружи шахты часть стержня уровнемера снабжена выступом, расположенным по высоте между двумя конечными выключателями, которые входят в цепь управления лебедкой и цепь световой сигнализации. Если уровень шихты в печи опустится ниже заданного значения, то штанговый

указатель своим выступом воздействует на нижний конечный выключатель, включая электродвигатель лебедки и световой сигнал на пульте управления. Верхний конечный выключатель играет роль предохранителя на случай переполнения шахты: при его нажатии отключается цепь питания электродвигателя лебедки.

На рис. 65 изображена схема автоматической загрузки известняка в шахтную печь, работающую на газообразном топливе. Автоматическая загрузка печи осуществляется в зависимости от уровня находящегося в ней известняка. Рабочим (управляющим) при этом служит нижний указатель уровня 13, а верхний 14 предназначен для аварийного отключения механизма загрузки.

Когда уровень загрузки известняка в печи опускается ниже отметки «Уровень загрузки», то выходное реле указателя уровня 13 срабатывает и включает командно-электропневматический прибор (КЭП). КЭП-1 включает на заранее установленное время электровибрационный питатель 11, подающий известняк из загрузочного бункера 12 в ковш 8. После загрузки (по времени) ковша известняком КЭП-1 размыкает электрическую цепь питателя и замыкает электрическую цепь подъема ковша на верх печи.

Ковш, достигнув крайнего верхнего положения, воздействует на конечный выключатель 16 и на щите печи загорается сигнал «ковш наверху». Выключатель 16 прекращает движение ковша вверх и подает импульсы на реле ЭИР отсчета загруженного в печь известняка и на промежуточное реле времени. Промежуточное реле времени с заданной выдержкой подает сигнал на опускание ковша вниз и на КЭП-2, который управляет механизмом поворота загрузочной чаши 17. Получив соответствующий сигнал, КЭП-2 включает электродвигатель 15 поворота загрузочной чаши. Длительность замыкания контактов КЭП-2 обеспечивает поворот чаши на угол, величина которого возрастает с каждым циклом.

При движении ковша вниз конечный выключатель 16 разомкнется и сигнал «ковш наверху» погаснет. В крайнем нижнем положении ковш воздействует на конечный выключатель 9. При этом лебедка останавливается и загорается сигнал «Ковш внизу».

Циклы загрузки печи известняком продолжаются до тех пор, пока уровень шихты в печи не достигнет отметки «Уровень загрузки». При этом выходное реле электронного блока уровнемера разорвет цепь электродвигателя лебедки. Нижний конечный выключатель 9 служит для блокировки, предотвращая подъем ковша при его загрузке сырьем.

При ослаблении (обрыве) каната лебедки сработывает конечный выключатель КОТ (на схеме не показан), включая соответствующее реле, после чего электродвигатель 6 лебедки отключается, а на щите загорается сигнал «Аварийная остановка лебедки».

Схема автоматической загрузки предусматривает возможность перехода на местное (ручное) управление кнопками.

Элементы схемы теплового контроля параметров обжига показаны в правой части рис. 65. В шахтной печи, работающей под разрежением и отапливаемой природным газом, разрежение измеря-

ется преобразователями 20, 21, 22 и передается на показывающий тягометр 33.

Температура отходящих газов измеряется термометром 18 типа ТХА в комплекте с показывающим милливольтметром 30.

Расход подаваемого в балочную горелку природного газа измеряется комплектом, состоящим из диафрагмы и самопищащего дифманометра 34. Давление газа перед горелкой отбирается преобразователем 26 и поступает на показывающий прибор 35 (манометр или мембранный напорометр). Аналогично измеряется расход и давление воздуха, поступающего в балочную горелку (преобразователи 28 и 24).

Анализ отходящих газов на содержание в них углекислого газа CO<sub>2</sub> и кислорода O<sub>2</sub> выполняется заборным устройством 19 и автоматическими газоанализаторами 31, 32, расположенными на щите КИП оператора (обжигальщика).

Автоматический предохранительный клапан (ПКН) 29 и сигнализирующий термометр 38 обеспечивают безопасность работы печи. При падении давления в газопроводе клапан ПКН получает импульс от преобразователя давления 28 и мгновенно перекрывает газопровод, прекращая поступление газа в печь.

При повышении температуры воды на выходе балочной горелки сверх заданного значения ПКН получает импульс от термометра 38 и мгновенно прекращает подачу газа в печь. Контактная система термометра одновременно включает на пульте оператора красную лампочку 39 и звуковой сигнал. Звуковой сигнал снимается нажатием кнопки, а световой сигнал остается до тех пор, пока температура воды на выходе балочной горелки не снизится до значения ниже заданного.

## ГЛАВА VII

### ОБЖИГ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД ВО ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧАХ

Преимущества вращающихся печей для производства извести по сравнению с шахтными: механизация и управляемость процесса, равномерность обжига извести при высокой степени диссоциации карбонатов, возможность обжига рыхлого мела и известняка-ракушечника, а также мелких фракций сырья, простота организации сжигания газообразного и жидкого топлива.

Основные недостатки вращающихся печей: повышенный удельный расход топлива на обжиг, большие капиталовложения на оборудование и сооружения, значительная металлоемкость.

Вращающаяся печь представляет собой футерованный изнутри вращающийся стальной цилиндрический барабан, установленный наклонно на роликовых опорах.

Различают *длинные вращающиеся печи* с отношением длины барабана  $L$  к диаметру  $D_0$  (в свету) в пределах 35—45 и *короткие с запечными теплообменниками* (отношение  $L/D_0 = 14 \div 20$ ).

Длинные вращающиеся печи применяют для производства извести сухим и мокрым способами. При сухом способе карбонатное сырье поступает во вращающуюся печь в виде кусков фракции 5—20 или 20—50 мм с влажностью до 25 %. При мокром способе сырье (мел) поступает в печь в виде сметанообразной массы (шлама) с содержанием воды 37—44 %. Длинные вращающиеся печи выпускают с внутренними теплообменными устройствами или без них.

В коротких вращающихся печах в зависимости от конструкции запечного теплообменника обжигают известняк и гранулированный мел в виде узких фракций: 10—20 мм; 20—40 мм с влажностью до 8 %.

#### § 25. УСТРОЙСТВО И РАБОТА ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ С ВНУТРЕННИМИ ТЕПЛООБМЕННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Вращающаяся печь с теплообменными устройствами внутри корпуса (рис. 66) состоит из следующих основных конструктивных элементов: корпуса 8 с внутренними теплообменными устройствами 10, 11 и 14, роликовых опор 1, привода, разгрузочной 6 и загрузочной 12 головок.

Корпус печи представляет собой сваренный из секций полый стальной барабан диаметром от 2,2 до 7 м и толщиной до 30 мм. На корпусе закреплены бандажи 2, опирающиеся на роликовые опоры 1. Корпус печи фиксируется в определенном положении на

роликовых опорах системой гидравлических упорных роликов.

Для повышения жесткости корпуса его толщину под бандажами и приводной шестерней 9 увеличивают в 2—3 раза. Применявшиеся с этой целью прежде кольца жесткости 7 не оправдали себя на практике и в печах последних конструкций отсутствуют.

Корпус печи установлен с уклоном 3—4% к горизонту и вращается с частотой 0,5—1,5 об/мин от электродвигателя 5, соединенного с корпусом через редуктор 4, подвенцовую 3 и венцовую 9 шестерни. С увеличением диаметра корпуса увеличивается радиальное усилие, передаваемое подвенцовой шестерней. Поэтому печи большой мощности снабжены двусторонним приводом с одной венцовой и двумя подвенцовыми шестернями.

Печь в любом положении останавливается 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.

Концевая обечайка разгрузочной части корпуса современных мощ-

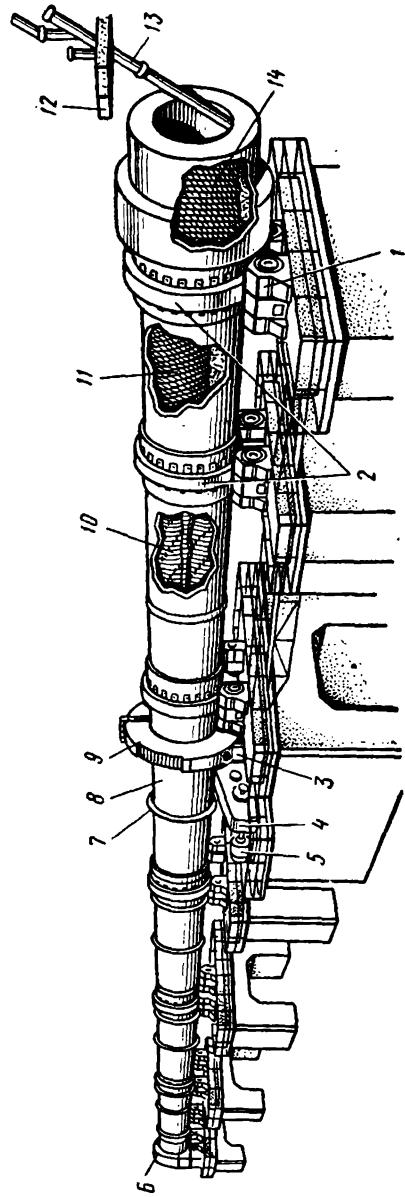


Рис. 66. Длинная вращающаяся печь с теплообменными устройствами внутри корпуса:  
1 — роликовые опоры, 2 — бандажи, 3 — венцовальная шестерня, 4 — редуктор привода, 5 — электродвигатель, 6 — разгрузочная головка печи, 7 — кольца жесткости, 8 — цилиндрический корпус, 9 — венцовая шестерня, 10, 11, 14 — теплообменные устройства, 12 — разгрузочная головка, 13 — течка сырья

ных печей охлаждается холодным воздухом, нагнетаемым вентилятором между ней и дополнительной конической обечайкой.

Корпус печи, оборудованный люками для производства ремонтных работ и пробоотборниками, загрузочным концом входит в загрузочную головку 12, разгрузочным — в откатную или стационарную головку 6.

Загрузочная 12 и разгрузочная 6 головки представляют собой стационарную металлическую конструкцию, сваренную из листовой стали и футерованную изнутри оgneупором. Разгрузочная головка переходной камерой соединена с приемной частью однобарабанного или колосникового холодильника. На передней части головки смонтирована дверь, в которой имеются отверстия для установки газовых или мазутных горелок и расположены два смотровых и один ремонтный люк. Загрузочная головка смонтирована на строительной конструкции. Со стороны передней стенки головка снабжена одним или двумя предохранительными взрывными клапанами и ремонтным люком. Нижняя часть головки выполнена в виде бункера — пылесборника. В верхней части головки расположен фланец, к которому крепится течка сырья 13, представляющая собой стальную трубу диаметром 200—300 мм.

Места входа корпуса печи в загрузочную и разгрузочную головки уплотнены.

Уплотнение загрузочного конца длинной печи достигается транспортерной лентой, один конец которой болтами прикреплен к обечайке, смонтированной на торцовом листе пылеосадительной камеры, а другой конец ленты свободно уложен на обечайку, смонтированную на корпусе печи. Чтобы улучшить прилегание к поверхности обечайки, конец ленты по окружности обтянут канатной пружинной стяжкой.

Уплотнительное устройство разгрузочного конца вращающейся печи (рис. 67) состоит из двух неподвижных обечаек 2 и 3, концентрически приваренных к торцу горячей головки, обечайки 5, смонтированной на концевой обечайке 6 корпуса печи, и металлических секторов 4, которые закрывают зазор между неподвижными и подвижной обечайками. Секторы 4 с помощью пружин 7 с канатами 10 прижимаются стержнями 8 к поверхности обечайки 5, чем обеспечивается необходимая герметизация печи. Канат 10 пропущен через шкивы роликов 9.

Аналогичная конструкция устройства применяется для герметизации загрузочного конца короткой вращающейся печи.

Футеровка вращающейся печи. Температура корпуса печи не должна превышать 300° С, так как это приведет к его деформации. Для защиты стального корпуса от перегрева его футеруют оgneупорным кирпичом и жаростойким бетоном. При нагревании футеровка расширяется и в ней возникают напряжения, размер которых пропорционален температуре. Неравномерность нагрева по толщине футеровки вращающейся печи сопровождается повышенным напряжением в ее внутреннем слое, что приводит к скальва-

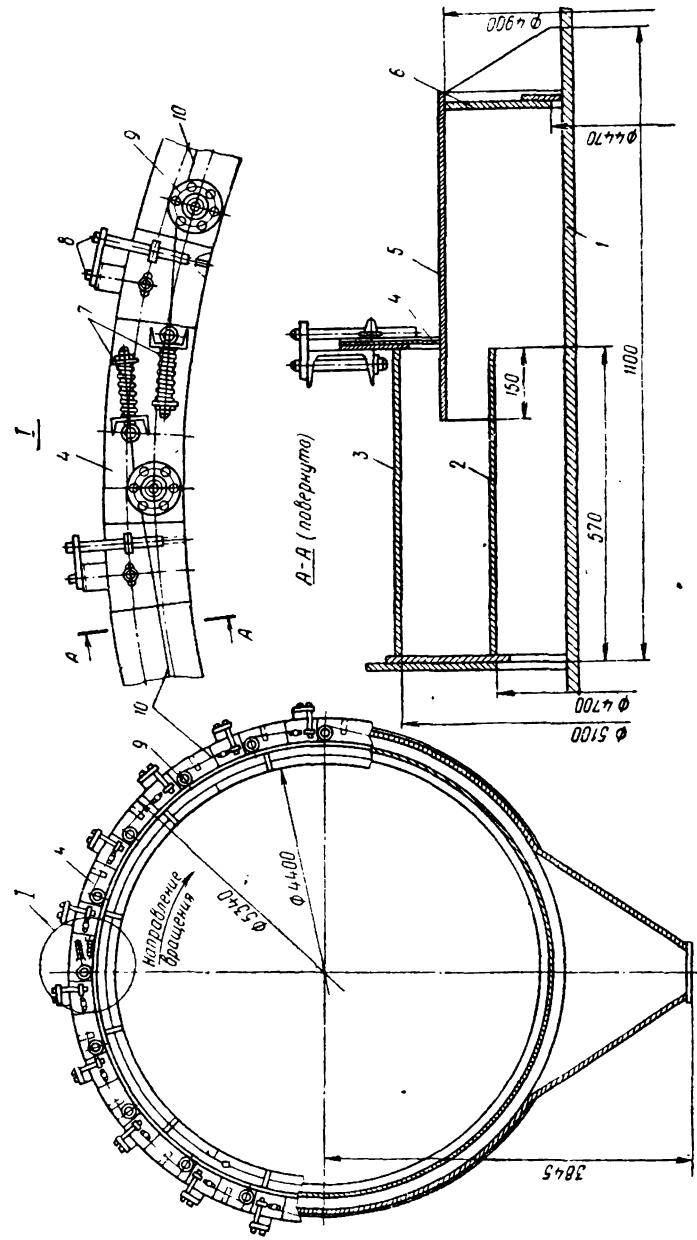


Рис. 67. Уплотнительное устройство разгрузочного конца вращающейся печи размером 4,5×170 м:  
 1 — корпус печи, 2, 3 — неподвижные обечайки, 4 — сектор, 5 — подвижная обечайка, 6 — концевая обечайка, 7 — пружина,  
 8 — стержни, 9 — ролики, 10 — канал

нию поверхности футеровки при значительных колебаниях температуры ее внутренних слоев. Поэтому для зоны обжига печи следует применять огнеупоры, предел прочности на сжатие которых в холодном состоянии не ниже 20 МПа (200 кгс/см<sup>2</sup>). Как показала практика, применение теплоизоляции в зоне обжига усиливает глубину скальвания кирпича, поэтому ее применение здесь не целесообразно.

В зоне высоких температур печь футеруется фасонным хромомагнезитовым ХМЦ или магнезитохромитовым МХЦ кирпичом, в зоне умеренных и низких температур — шамотными уплотненными ШЦУ и шамотными обычными ШЦО изделиями (ГОСТ 21436—75).

Шамотный кирпич укладывают на огнеупорных растворах. Толщина швов кладки не должна превышать 2—3 мм. Магнезитохромитовые кирпичи устанавливают всухую, вставляя между ними гофрированные или плоские пластины размером 230×112 мм и толщиной 1,5—2,5 мм из мягкой стали. Во время работы печи эти пластины свариваются с огнеупором, обеспечивая необходимую прочность кладки. Положительные результаты получены при использовании для укладки хромомагнезитового кирпича мертельных растворов. Кладку зоны обжига печи иногда делают комбинированной. Наилучшие результаты получены при сочетании равнозенных огнеупоров — магнезитохромитового и периклазошпинелидного марки ПШЦ (ГОСТ 21436—75). Загрузочную и разгрузочную головки печи футеруют шамотным кирпичом.

Футеровка вращающейся печи в различных зонах имеет определенную стойкость. Стойкость футеровки в зоне обжига составляет (в зависимости от качества огнеупорных материалов, качества выполнения кладки и частоты остановок печи) от 4 до 8 месяцев. На загрузочном конце печи, работающей по сухому способу обжига, футеровка разрушается через 2—4 месяца, при мокром способе обжига — через 8—12 месяцев. В зонах умеренных температур в средней части печи стойкость футеровки составляет 10—15 месяцев.

Для улучшения теплообмена между газовым потоком и материалом в холодной части длинных печей размещают внутренние теплообменные устройства 10, 11, 14. Для известообжигательных печей применяют цепные и ячейковые теплообменники (рис. 68, 69).

Цепной теплообменник — устройство, в котором происходит теплообмен газов и материала, прогрев цепей печными газами и отдача тепла нагретыми цепями материалу. При мокром способе производства в цепном теплообменнике на коротком участке печи влажность шлама снижается с 45—42 % до 10—5 %. Дальнейшее снижение влажности материала нежелательно, так как ухудшается его грануляция. При сухом способе производства использование цепного теплообменника из жаропрочной стали обеспечивает подогрев кускового материала до температуры 500—600°С на значительно меньшем участке зоны подогрева, чем в печи, не оборудованной теплообменником.

На практике применяют три способа навески цепей: навеску со

свободными концами, гирляндную навеску с креплением за оба конца и хордовую навеску.

При первом способе навески (рис. 68, а) цепь посредством швеллера или кольца подвешивается одним концом к внутренней стороне корпуса, а другой ее конец свободно свисает. Длина каждой цепи обычно составляет 0,6—0,7 м от диаметра печи в свету, а расстояние между рядами цепей — 0,2—0,25 м.

При навеске цепей гирляндами (рис. 68, б) их крепят обеими концами так, что крепление концов смещается по винтовой линии. При этом цепи свисают до оси или несколько ниже.

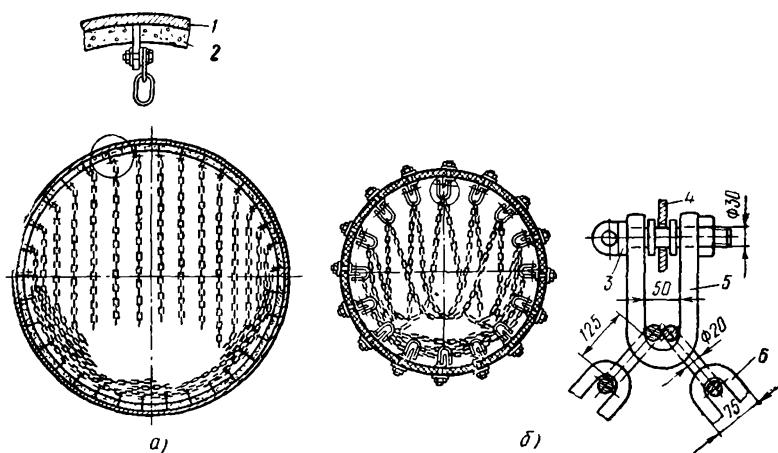


Рис. 68. Цепной теплообменник:  
а — навеска цепей со свободными концами, б — гирляндная навеска цепей; 1 — корпус печи, 2 — бетон, 3 — штифт, 4 — угольник, 5 — звено

При хордовой навеске цепей каждая цепь закрепляется в нескольких местах по длине окружности внутреннего диаметра печи и располагается на поверхности футеровки по винтовой линии.

Для перечисленных способов навески в зависимости от места расположения в печи используют круглые и овальные корабельные цепи или цепи из жаропрочной стали с диаметром прутка от 19 до 25 мм. Общая длина цепей печи достигает нескольких сотен метров, а их эффективная поверхность 400—1000 м<sup>2</sup>.

Рекомендации по применению цепных теплообменников в различных зонах вращающихся печей приведены в табл. 8.

Ячейковый металлический теплообменник (рис. 69) из жаропрочной стали Х25Т надежен по конструкции и эффективен в теплотехническом отношении. Он состоит из полок, шарнирно соединенных с башмаками 2, которые болтами прекреплены к корпусу печи 3. Каждая пара полок соединена между собой шарнирно. Такое крепление предохраняет теплообменник от температурных деформаций. Теплообменник делит поперечное сечение печи на секции

Таблица 8

**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, °C	Продолжительность работы цепей в месяцах
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—700 700—900	12—15 3—8

(ячейки), в которых интенсивность отдачи тепла от газов к материалу значительно увеличивается.

Ячейковый теплообменник, длина которого 10—25 м, позволяет снизить температуру газового потока на 200—350° С, а температуру материала повысить от 120—150 до 500—650° С. Теплообменник устанавливают на таком расстоянии от холодного конца печи, где материал имеет нулевую влажность.

Для надежной работы теплообменников во вращающейся печи необходимо при монтаже тщательно крепить их к корпусу печи (рис. 69, б, в) и выполнять теплоизоляцию корпуса. Положительные результаты достигнуты при футеровке зоны установки ячейкового металлического теплообменника армированным жароупорным бетоном следующего состава, %: шамотный бой (фракция 20—30 мм) 80; портландцемент марки 500—20; арматурная проволока диаметром 8—10 мм, свитая в спирали.

При футеровке цепных зон, чтобы снизить истирание ее цепями, в состав шамотобетона вводят стальную (или чугунную) стружку в объеме, равном половине объема цемента. Такая футеровка долговечна и более дешева по сравнению с обычной.

Холодильник вращающейся печи служит для снижения температуры выходящей из печи извести с 1000 до 150—80° С и возврата тепла извести в печь с охлаждающим ее воздухом. В промышленности используют холодильники барабанного типа и колосниковые.

Однобарабанный холодильник (рис. 70) представляет собой вращающийся стальной барабан 3 диаметром 2—5 м и длиной 20—

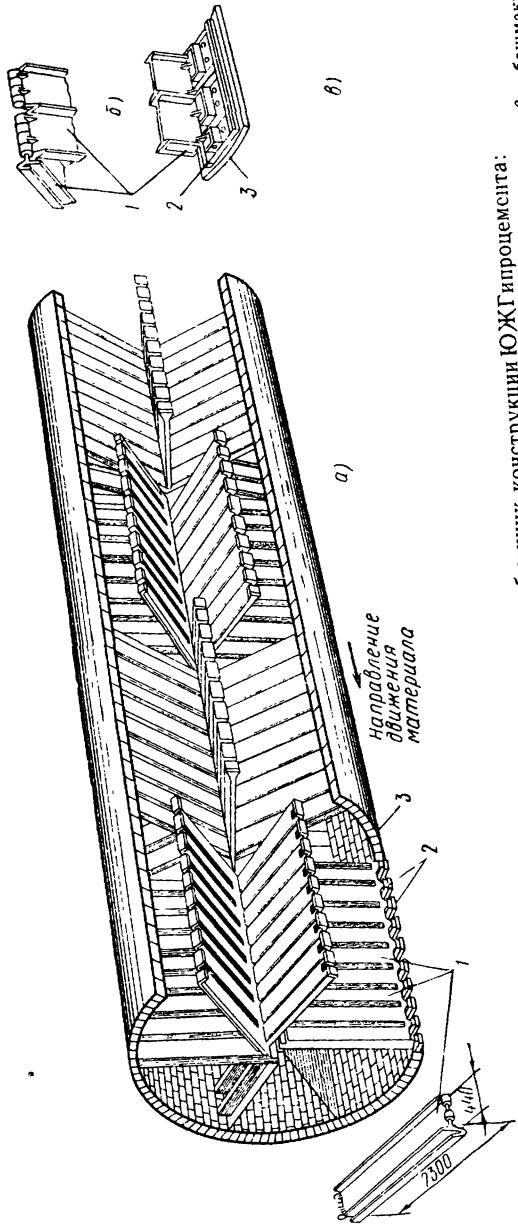


Рис. 69. Ячейковый металлический теплообменник конструкции ЮЖГипротемснега:  
а — устройство теплообменника, б — крепление плит между собой, в — крепление плит к корпусу печи; 1 — плиты, 2 — башмаки  
а — устройство теплообменника, б — крепление плит между собой, в — крепление плит к корпусу печи  
3 — корпус печи

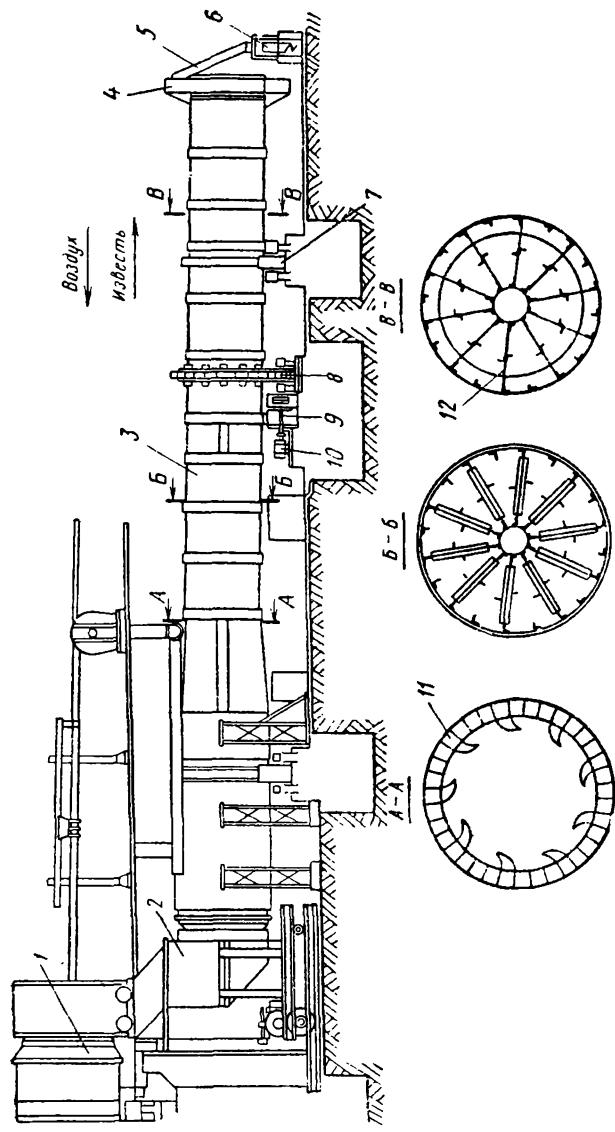


Рис. 70. Однобарабанный холодильник:  
1 — вращающаяся печь, 2 — откатная камера, 3 — барабан холодильника, 4 — конши, 5 — тенка, 6 — пластинчатый конвейер, 7 — роликовые опоры, 8 — зубчатая передача, 9 — редуктор, 10 — электродвигатель, 11 — погонки, 12 — полки

56 м, снабженный внутри металлическими полками 11 и радиальными перегородками 12. Барабан установлен с уклоном 3,5% к горизонту на двух- или трехроликовых опорах 7 и приводится во вращение с частотой 3 об/мин от электродвигателя 10 через редуктор 9 и зубчатую передачу 8.

Известь ссыпается в холодильник из печи 1 по течке переходной камеры 2. После охлаждения в нем известь поднимается посредством укрепленных на конце барабана ковшей 4 под его свод и оттуда по течке 5 поступает на пластинчатый конвейер 6. Воздух для охлаждения извести поступает в холодильник за счет создаваемого дымососом разрежения в горячей головке печи или от вентилятора, нагревается в холодильнике за счет физического тепла извести и поступает в печь при температуре 250—300° С.

Для уменьшения потерь тепла через корпус холодильника и защиты его от истирания и высокой температуры он футерован изнутри до половины длины, считая от горячего конца, огнеупорным кирпичом. Кроме того, холодильник может иметь дополнительное воздушное или водяное охлаждение корпуса в результате специально установленной рубашки (коробки). Тепловой КПД холодильников из-за больших потерь тепла корпусом не превышает 70%.

*Многобарабанный (рекуператорный) холодильник* (рис. 71) состоит из 10—12 охладительных барабанов 1 диаметром 0,8—1,35 м и длиной 4,4—6 м, расположенных вокруг горячего конца печи 5 и сообщающихся с ней посредством патрубков 4, через которые известь выходит из печи в холодильник, а нагретый вторичный воздух поступает из холодильника в печь. Горячая часть каждого барабана футерована плитами 3 из жароупорного чугуна. Поверхность плит снабжена выступами, способствующими движению извести и улучшению ее теплообмена с воздухом.

Остальная часть барабанов вместо плит снабжена цепной заводкой 2 (или металлическими полками), повышающей скорость охлаждения материала.

Преимущества рекуператорного холодильника по сравнению с однобарабанным — меньшие габариты и менее интенсивное измельчение извести.

*Колосниковый холодильник конструкции ВНИИЦеммаш «Волга-25 СИ»* (рис. 72) представляет собой установленную на раму 7 футерованную камеру, которая разделена по высоте колосниковой решеткой. Стенки камеры на уровне колосниковой решетки защищены от истирания чугунными плитами 10. Камера заключена в металлический кожух 11 и имеет огнеупорную футеровку 12. Решетка состоит из чередующихся неподвижных 15 и подвижных 18 колосников, смонтированных на поперечных балках. Подвижные колосники с балками установлены на трех подвижных тележках 3, две из которых соединены между собой тягами 6. Тележки 3 опираются на ролики 4 и совершают возвратно-поступательное движение с помощью привода, состоящего из электродвигателя 21, редуктора 22, кривошипно-шатунного механизма 23 и приводного вала 5 с двумя рычагами. В рычагах находятся зубчатые толкающие ролики 17, которые через промежуточные зубчатые ролики 16

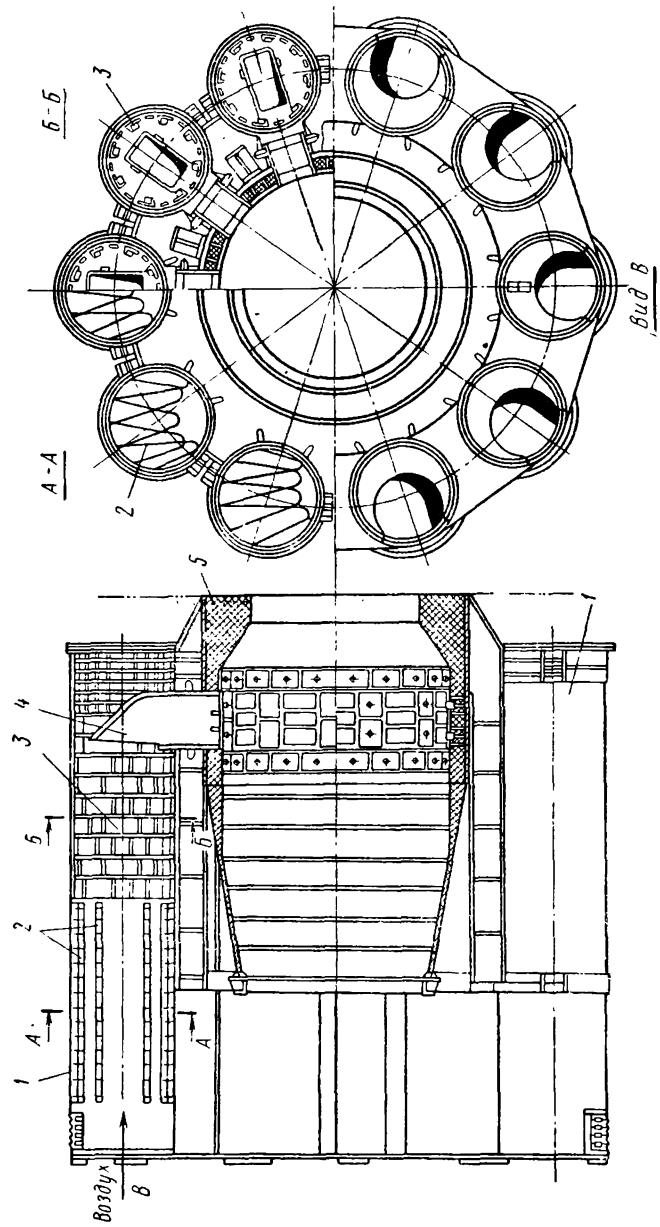


Рис. 71. Рекуператорный холодильник.  
1 — охладительные барабаны, 2 — цепная завеса, 3 — футеровочные плиты, 4 — патрубки, 5 — печь

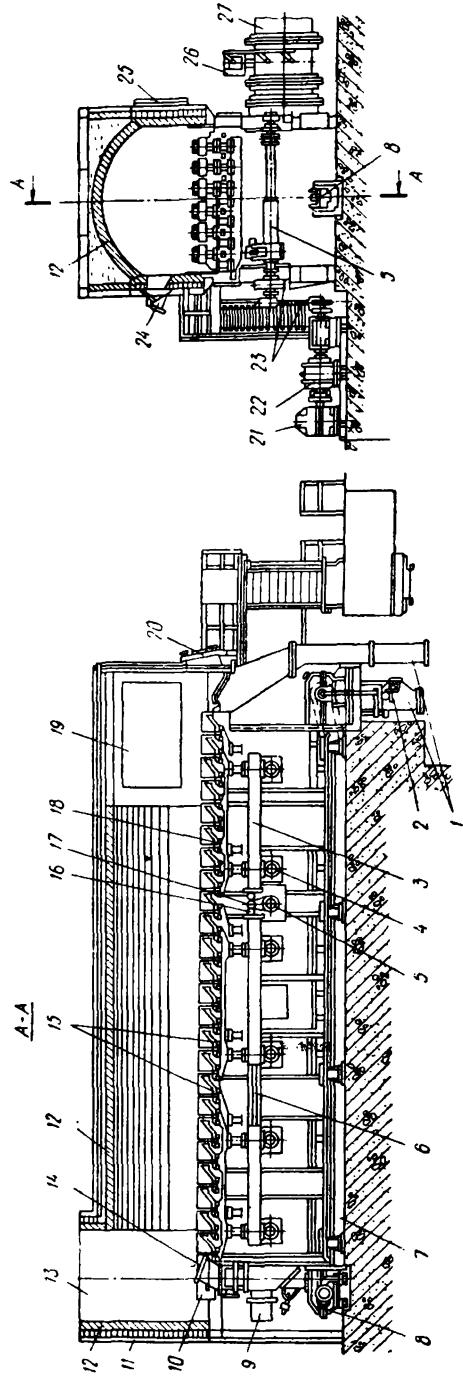


Рис. 72. Колосниковый холодильник конструкции ВНИИЦеммаша «Волга-25СЦИ»:

1 — течки, 2 — мигалка, 3 — тележка, 4 — опорный ролик, 5 — приводной вал, 6 — тяга, 7 — рама основания, 8 — скрепочный конвейер, 9 — трубопровод острого дутыя, 10 — плиты, 11 — кожух, 12 — отверстия для таровки, 13 — загрузочная шахта, 14 — колосники острого дутыя, 15, 18 — неподвижные и подвижные колосники, 16 — промежуточные ролики, 17 — толкающие ролики, 19 — отверстие для отвода аспирационного воздуха, 20 — лок, 21 — электродвигатель, 22 — редуктор, 23 — кривошильно-шатунный механизм, 24 — гляделка, 25 — привод жалюзинного аппарата, 26 — трубопровод воздушного аппарата, 27 — привод жалюзинного аппарата.

соединены с рейками, закрепленными на буферах тележек. Число ходов тележек плавно регулируется двигателем постоянного тока.

Под колосниковой решеткой расположен скребковый конвейер 8, предназначенный для удаления просыпавшегося материала из холодильника. Цепь конвейера имеет две скорости движения — 0,1 и 0,2 м/с. Холодильник оборудован вентилятором общего дутья ВД-15,5, вентилятором острого дутья ВВД-9у и аспирационной системой, состоящей из дымососа Д-12 и шести рукавных фильтров.

Холодильник работает следующим образом. Известь из печи поступает в загрузочную шахту 13 и под углом естественного откоса ссыпается на колосники острого дутья 14, на которых она предварительно охлаждается воздухом, поступающим по трубопроводу 9 от вентилятора ВВД-9у. С колосников острого дутья известь попадает на колосниковую решетку и перемещается подвижными колосниками за счет различного угла наклона их рабочих поверхностей (крутою — вперед, отлогую — назад) вдоль решетки. На колосниковой решетке известь интенсивно охлаждается воздухом, нагнетаемым по трубопроводу 27 под решетку вентилятором общего дутья ВД-15,5. Пройдя колосниковую решетку, известь охлаждается до 80—40°С и по течке 1 поступает на ленточный конвейер. На тот же конвейер по течке с мигалкой 2 поступает просыпь, удаляемая из холодильника скребковым конвейером 8.

Расход воздуха, нагнетаемого под решетку, регулируется жалюзийным аппаратом с приводом 26 и может в 2—3 раза превышать количество, необходимое для сжигания топлива. При этом известь может быть охлаждена до температуры 30—40°С. Избыточный воздух удаляется из холодильника через отверстие 19 и по трубопроводу 25 направляется на очистку в рукавные фильтры и далее дымососом Д-12 выбрасывается в атмосферу. С избыточным воздухом, нагретым до температуры 150—180°С, теряется часть тепла, отбираемого у извести, что обусловливает умеренный тепловой КПД холодильника (70—75%). Люк 20 и гляделка 24 устроены для обслуживания холодильника.

#### Техническая характеристика холодильника «Волга-25 СИ»

Производительность по извести, т/ч . . . . .	25
Температура извести, °С:	
на входе . . . . .	1000—1100
на выходе . . . . .	+40 . . . 80
Удельный расход воздуха на охлаждение извести, м <sup>3</sup> /кг . . . . .	2,43
Размеры колосниковой решетки, м:	
длина . . . . .	12,6
ширина . . . . .	2,52
Число двойных ходов в минуту подвижных колос- ников . . . . .	6—18
Толщина слоя извести на решетке, мм . . . . .	150—360
Общая мощность электродвигателей, кВт . . . . .	180
Масса, т . . . . .	124

Во вращающихся печах для обжига известняка и мела применяют преимущественно жидкое и газообразное топливо. Использо-

Таблица 9

**Основные показатели длинных вращающихся печей  
для обжига карбонатных пород на известь**

Показатели	Мокрый способ обжига			Сухой способ обжига		
	4,5×170 м	3,6×110 м	2,2/2,5×75 м	4×150 м	3,6×81 м	3,6×69 м
Отношение $L/D_0$	41,5	34,4	37,5	41,7	25,3	21,5
Уклон корпуса, %	4	3,5	3,5	4	3,5	3,5
Частота вращения корпуса, об/мин	0,7—1,4	0,25—1,17	0,5—1,2	0,57—1,14	0,65—1,34	0,6—1,3
Производительность, т/ч	31,8	13,5	5,9	24	11,5	10,8
Удельный расход условного топлива на 1 т физической извести, кг	270	280	380	240	346	285
Потребляемая электрическая энергия, кВт·ч/т	21,6	20	36	20	20,4	16
Удельные съемы известии:						
т/м <sup>2</sup> ·сут						
т/м <sup>3</sup> ·сут						
Вид сырья	57,8	42,2	46,7	55	34,5	32,4
	0,34	0,38	0,62	0,37	0,43	0,43
Меловой шлам						
Химический состав, %:						
CaCO <sub>3</sub>	97	92,5	92,9		96,4	95,5
MgCO <sub>3</sub>	—	1,6	1,5		0,8	0,4
SiO <sub>2</sub> +R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3	5,5	2,5		2,6	3,7
и. п. п.	42,75	42,8	43		42,6	42,23
Размер кусков, мм	37	40	45	10	24—30	4
Удельный расход сухого сырья с учетом пылеуноса, кг/кг	—	—	—	0—20, 20—50	0—50	10—30
Пылеунос, %	1,86	1,8	1,74	1,92	1,96	1,86
Вид топлива	8	5	8	10	15	12
Теплота сгорания топлива:						
кДж/кг	—	—	—	—	—	—
кДж/м <sup>3</sup>	35600	35 600	33 800	35 300	34 400	35 500

Продолжение табл. 9

Показатели	Мокрый способ обжига			Сухой способ обжига		
	4×170 м	3,6×110 м	2,2×2,5×75 м	4×150 м	3,6×81 м	3,6×69 м
Тип горелочного устройства	ВРГ	Двухканальная горелка	Двухканальная горелка	Мазутная форсунка с витковыми распылителями	Две одноканальные горелки	Двухканальная горелка
Содержание в извести активных CaO+MgO, %	90	80	70	90	85	80
Тип внутривечного теплообменника	Цепной на участке печи длиной 50 м и металлический ячейковый длиной 25 м	Цепной на участке печи длиной 31 м	Цепной на участке печи длиной 8 м	Цепной на участке печи длиной 30 м и металлический ячейковый длиной 25 м	Нет	Нет
Тип холодильника	Колосниковый Волга-35С	Однобарabanный размером 2,5×38 м	Рекуператорный: 12 барабанов размером 0,8×4,4 м	Однобарabanный размером 3,6×56 м	Рекуператорный: 10 барабанов размером 1,35×6 м	Рекуператорный: 12 барабанов размером 0,88×4,7 м
Температура газов на выходе из барабана печи, °C	210	165	230	300	760	650
Температура извести на выходе из холодильника, °C	150	50	120	150	120	180

вание пылевидного твердого топлива менее эффективно и часто сопровождается образованием сваров в зоне обжига печи.

При сжигании топлива во вращающейся печи к горелочному устройству предъявляются следующие требования: большая единичная мощность горелки, высокая температура, дальность факела и возможность регулирования его длины. Устройство и работа форсунок и горелок приведены на стр. 185—188.

Основные характеристики длинных вращающихся печей приведены в табл. 9.

### § 28. УСТРОЙСТВО И РАБОТА ЗАПЕЧНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Применение внутрипечных теплообменных устройств повышает тепловой КПД вращающихся печей. Более значительное повышение теплового КПД печей (до 60%) достигается при организа-

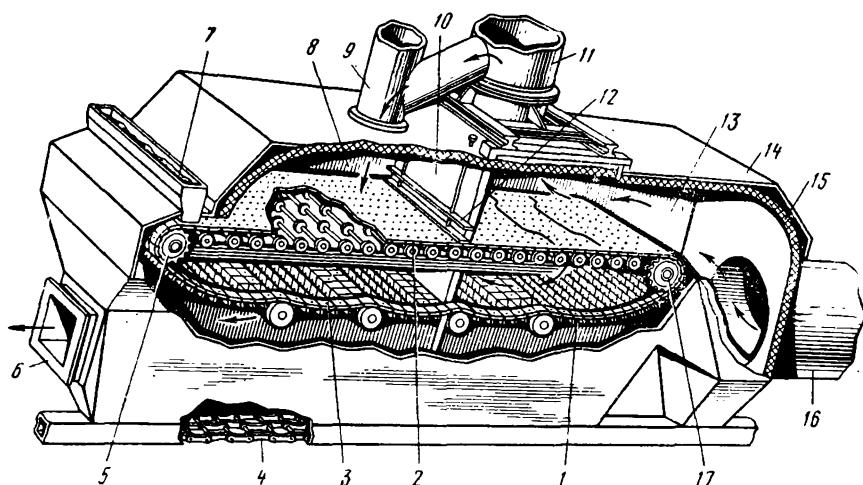


Рис. 73. Теплообменник типа конвейерной решетки:

1 — колосниковая решетка, 2 — бесконечная цепь, 3 — колосники, 4 — цепной конвейер, 5, 17 — натяжная и приводная звездочки, 6 — патрубок, 7 — загрузочная воронка, 8 — холодный отсек, 9 — смеситель, 10 — перегородка, 11 — розжиговая труба, 12 — управляемый шибер, 13 — горячий отсек, 14 — кожух, 15 — теплоизоляция кожуха, 16 — вращающаяся печь

ции интенсивно протекающих процессов сушки и подогрева сырья в отдельном агрегате — запечном теплообменнике. В этом случае длина вращающейся печи относительно диаметра незначительная (14—20).

Высокий тепловой КПД имеет запечный теплообменник типа конвейерной решетки (рис. 73), применяемый для подогрева известняка средней прочности и гранулированного мела. Конвейерная решетка с однократным просасыванием газов через слой сырья представляет собой движущуюся колосниковую решетку 1, заклю-

ченную в металлический кожух 14. Кожух снабжен изнутри теплоизоляцией 15.

Решетка состоит из приводной 17 и натяжной 5 звездочек, установленных на соответствующих валах, которые перемещают бесконечные цепи 2 с шарнирно подвешенными между ними чугунными плитами (колосниками) 3. Сверху решетка покрыта слоем материала толщиной 150—200 мм. Под решеткой установлен цепной конвейер 4, который удаляет падающий с решетки материал. Перегородка 10 делит пространство над решеткой и между верхней и нижней ее ветвями на два отсека: горячий 13 и холодный 8.

Перегородка снабжена управляемым шибером 12 для регулирования толщины слоя материала на решетке. Камера имеет розжиговую трубу 11, служащую для выброса через нее отходящих газов во время розжига печи. Печные газы выходят из теплообменника через патрубок 6.

Теплообменник работает следующим образом. Карбонатное сырье через загрузочную воронку 7 поступает на движущуюся решетку в отсек 8 камеры. Здесь через слой материала просасываются газы, охлажденные в смесителе 9 до температуры 500—600° С. В отсеке 8 материал подогревается до 250—300° С и поступает в горячий отсек 13, где через слой материала просасываются выхдящие из печи 16 газы с температурой 900—950° С, подогревая материал до 600—650° С.

Применение конвейерных решеток с двойным просасыванием газов позволяет достичь более полного использования тепла печных газов. Для этого в подрешеточном пространстве дополнительно устанавливается уплотнительная перегородка. Выходящие из печи газы с температурой 950° С просасываются в горячем отсеке через слой материала, нагревают его до температуры 700—750° С и, охлаждаясь при этом до температуры 770—720° С, по обводной трубе поступают под разрежением в холодный отсек. Пройдя слой материала, газы охлаждаются до температуры 350—400° С, подогревая материал в отсеке до 400° С.

Недостаток теплообменника с двойным просасыванием — значительное сопротивление слоя материала на решетке из-за забивания его пылью при вторичном просасывании газов в холодном отсеке.

В известковом производстве применяют конвейерные решетки шириной 3 м и длиной 12,5 (для печей 2,7×50 м) и 20 м (для печей 3,6×50 м).

*Теплообменник шахтного типа с поперечным движением газов и материала конструкции Союзгипрострома* (рис. 74) состоит из футерованного оgneупорным кирпичом цилиндрического стального кожуха 14, наружной 6 и внутренней 7 цилиндрических решеток, загрузочной коробки 11 и выгрузочной воронки 15 с кареточным питателем 4.

Решетки, выполненные в виде набора конических жалюзи, изготовлены из жаропрочной стали. В верхней части загрузочной коробки установлены преобразователи 12 указателя уровня. В верх-

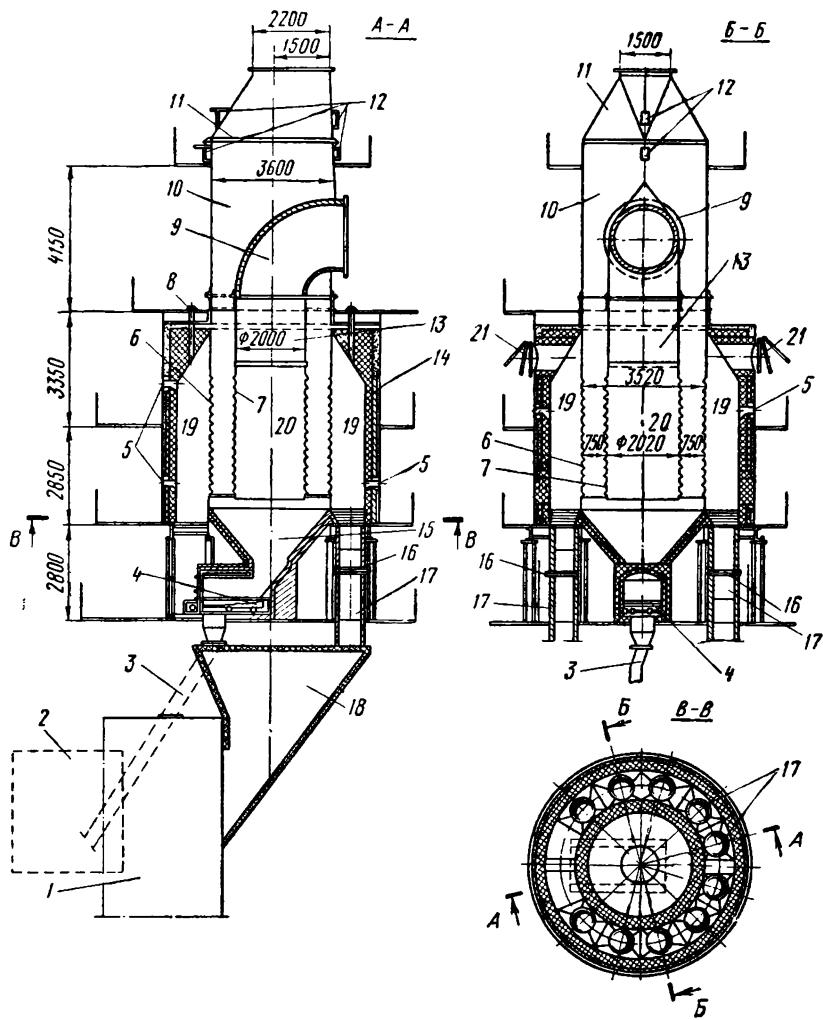


Рис. 74. Теплообменник шахтного типа с поперечным движением газов и материала конструкции Союзгипропрострома:

1, 18 — загрузочная головка печи, 2 — вращающаяся печь, 3 — течка сырья, 4 — калореточный питатель, 5, 8 — контрольные отверстия, 6, 7 — наружная и внутренняя решетки, 9 — патрубок, 10 — нижняя часть загрузочной коробки, 11 — загрузочная коробка, 12 — преобразователи указателя уровня материала, 13 — верхняя часть решетки, 14 — кожух, 15 — выгрузочная воронка, 16 — шибер, 17 — патрубок, 19 — колывая камера, 20 — камера охлажденных газов, 21 — взрывные клапаны

Таблица 10

Основные характеристики коротких вращающихся печей  
с запечными подогревателями сырья или теплотулизаторами

Показатели	4×60 м	3,6×75 м	3,6×75 м	2,7×52,6 м
Отношение $L/D_0$	16,7	23,5	23,5	23
Уклон корпуса, %	4	3,5	3,5	4
Частота вращения корпуса, об/мин	0,57—1,14	0,65—1,34	0,68—1,36	0,5—1,17
Производительность, т/ч	19	12,7	13,5	7,5
Удельный расход условного топлива на 1 т физической извести (с учетом возврата с пакетом), кг	195	204	225	180
Потребляемая электроэнергия, кВт·ч/т	20	20	18	36
Удельные съемы извести:				
т/м <sup>2</sup> ·сут	44,3	38,1	40,6	43,3
т/м <sup>3</sup> ·сут	0,74	0,51	0,54	0,82
Вид сырья			Известняк	
Фракции сырья, мм	15—40	20—40	25—40	3—60
Химический состав, %:				
CaCO <sub>3</sub>	94	93	97	94,2
MgCO <sub>3</sub>	4	4	1,2	2
SiO <sub>2</sub> +R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2	3	1,41	3,8
л. п. п.	43,1	43,2	43,7	42,44
Влажность сырья, %	6	4	4	2

Продолжение табл. 10					
Показатели	4×60 м	3,6×75 м	3,6×75 м	3,6×75 м	2,7×52,6 м
Удельный расход сухого сырья с учетом пылеуноса, кг/кг	1,88	1,9	2,08	—	2,17
Вид топлива	Природный газ	—	—	—	Мазут
Теплота сгорания: кДж/кг кДж/м <sup>3</sup>	— 35 600	— 35 600	— 35 200	— 39 800	—
Тип горелочного устройства	БРГ	ГВП	Две одноканальные горелки	Форсунка с винтовыми распылителями	
Содержание в извести активных CaO+MgO, %	90	85	90	90	80
Тип запечного подогревателя сырья	Шахтный противоточного - прямоточного с кольцевым слоем материала	Шахтный кольцевого слоя с перечным движением газов и материяла	Два котла утилизатора КУ-80-3 производительностью 20 т/час пар P-1,8 МПа	Колосниковая конвейерная решетка размером 3×10,5	
Температура подогрева сырья в теплообменнике, °С	725	630	—	—	400
Температура газов на выходе из подогревателя, °С	345	430	—	—	210
Тип холодильника	Колосниковый «Волга-25 СИ»	Однобарabanный размеом 2,5×38 м	Колосниковый «Волга-25 СИ»	Однобарabanный размеом 1,8×20,7 м	
Температура известняка на выходе из ходильника, °С	80	200	40	40	240

ней части корпуса теплообменника предусмотрены два предохранительных взрывных клапана 21. Для обслуживания теплообменника в его корпусе устроены контрольные отверстия 5 и 8.

Известняк фракции 20—50 мм загружается в загрузочную коробку 11 шахтного подогревателя скиповым подъемником. Из нижней части 10 загрузочной коробки под действием собственного веса известняк опускается в кольцевое пространство между решетками 6 и 7 и из него в выгрузочную воронку 15. Установленный под воронкой питатель 4 равномерно выгружает из теплообменника подогретый до температуры 600—625°С известняк и направляет его в питательную течку 3 вращающейся печи.

Выходящие из печи 2 газы проходят загрузочную головку 1 и через ее коническую часть 18 поступают в кольцевую камеру 19 теплообменника с температурой 700—750°С. Газы входят в камеру через цилиндрические патрубки 17, снабженные шиберами 16. Из камеры 19 газы проходят в камеру 20, отдавая часть своего тепла находящемуся в кольцевом слое материала и охлаждаясь при этом до температуры 430—450°С. Газы удаляются из теплообменника через верхнюю часть 13 внутренней решетки и патрубок 9.

Основные характеристики вращающихся печей с запечными теплообменными устройствами приведены в табл. 10.

## § 27. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ

Перед пуском вновь выстроенной или прошедшей капитальный ремонт вращающейся печи проверяют соответствие монтажа оборудования техническому проекту и выполняют сушку вращающейся печи, дымовой трубы и боровов.

### Сушка печи

При сушке футеровки в барабане печи со стороны горячего конца клеткой выкладывают сухие дрова (на  $\frac{3}{4}$  диаметра печи). Дрова обливают жидким топливом и поджигают. Сушку ведут на естественной тяге при полностью открытом шибере дымовой трубы.

Первый период сушки (период вентиляции печи) ведут при умеренном горении дров. Температуру газов в печи постепенно поднимают от 50 до 120°С. В период предварительного подогрева температуру газов в печи поднимают до 200°С. Окончательную сушку печи ведут с доведением температуры газов ко дню окончания сушки до 500°С. После этого сушку считают законченной и приступают к постепенному охлаждению печи. На время охлаждения печи закрывают шибер дымовой трубы, люки и гляделки для устранения подсосов в печь холодного воздуха.

### Пуск и остановка печи

Перед розжигом и пуском печи после монтажа, ремонта или длительной остановки начальник цеха, сменный мастер и обжигаль-

щик проверяют готовность оборудования технологической линии от склада сырья до склада извести. Затем осматривают состояние корпуса и футеровки печи и холодильника; приводов печи, холодильника и дымососа; электрической пусковой и сигнальной аппаратуры; контрольно-измерительных приборов и аппаратуры безопасной эксплуатации топливной системы.

При подготовке к пуску вращающейся печи, работающей на природном газе, ответственный за газовое хозяйство совместно с обжигальщиком извести осматривает задвижки и предохранительно-запорный клапан газопровода, проверяя, чтобы рабочая и контрольная задвижки перед горелкой были закрыты, а задвижка на продувочный газопровод («свечу») открыта; проверяют исправность системы отсечки подачи газа в горелку при падении давления газа в сети и при остановке дымососа; убеждаются в исправности газовой аппаратуры и приборов КИП; проверяют наличие необходимого давления в газопроводе (не менее 50 кПа).

При подготовке к пуску вращающейся печи на жидкое топливо проверяют исправность мазутопровода, паропровода, мазутного насоса и контрольно-измерительных приборов топливной системы. Температура подогрева мазута должна быть в зависимости от марки мазута в пределах 80—115° С.

При подготовке к пуску вращающейся печи с конвейерной решеткой тщательно осматривают решетку, проверяя исправность ее комплектующего оборудования. При этом убеждаются, что щели колосников очищены, а колосники свободно ходят в шарнирах; валик и бортовые щеки не имеют смещения; подшипники приводного, натяжного и поддерживающих валов смазаны; шибер для регулирования высоты слоя установлен в заданном положении; правильно установлены съемные ножи; футеровка кожуха и пересыпного лотка находится в исправном состоянии и т. п.

Затем приступают к пуску линии подготовки сырья перед его подачей во вращающуюся печь. Пускают конвейерную решетку и включают линию подачи в нее сырья. Решетку теплообменника загружают кусковым сырьем на всю длину слоем высотой 150—160 мм, после чего технологическую линию подготовки сырья останавливают.

Проверяют обеспечение рабочих мест противопожарными средствами (ящики с песком, химические огнетушители и т. п.) и средствами индивидуальной защиты (аптечки, противогазы, защитные очки, респираторы). На рабочих местах вывешивают инструкцию по безопасным методам обслуживания данного агрегата, машины, механизма.

После опробования и наладки всех механизмов и приборов печи приступают к ее розжигу.

Розжиг печи производится только с разрешения главного инженера предприятия в присутствии начальника цеха и ответственного лица за состояние газового хозяйства на заводе (при работе на газообразном топливе) по утвержденной инструкции.

*Розжиг длинной вращающейся печи на газообразном топливе* выполняют следующим образом. Обжигальщик печи и ответственный за газовое хозяйство включают дымосос и вентилятор дутьевого (первичного) воздуха в горелку и в течение 5—10 мин вентилируют газовый тракт печи. Одновременно приступают к продувке внутрицехового газопровода и газопровода пускаемой печи. Для этого медленно открывают задвижку на входном газопроводе цеха с таким расчетом, чтобы давление после нее не превышало 4000 Па.

Продувка общего газопровода цеха продолжается в течение 3—4 мин. Окончание продувки контролируют, взяв пробу газа на «вспышку» в концевой части газопровода. После этого продувку газопровода прекращают и в него подают газ рабочего давления, для чего полностью открывают входную задвижку.

Перед розжигом горелки клапан автоматической отсечки газопровода переводят на ручное управление. Открыв контрольную задвижку и задвижку на «свечу», продувают участок газопровода перед горелкой в течение 2—3 мин. После продувки задвижку на «свечу» закрывают и через штуцер металлическим стаканом берут пробу газа для проверки ее на «вспышку». При спокойном горении газа в стакане (без хлопка) продувка участка газопровода до горелки считается оконченной.

После вентилирования газоходов дымосос и дутьевой вентилятор останавливают и печь переводят на естественную тягу, проветряя, чтобы разрежение в горячей головке печи было не менее 15—20 Па.

Затем зажигают запальник и подвешивают его у обреза горелки. Постепенно открывая рабочую задвижку, подают газ в горелку в количестве, необходимом для горения газа небольшим факелом. Для этого расход газа по прибору не должен превышать 10—15% от нормального расхода на обжиг. В дальнейшем увеличивают расход газа и, пустив дутьевой вентилятор, плавно подают в горелку первичный воздух.

Если газ в горелке не загорелся или факел оторвался, необходимо немедленно закрыть рабочую и контрольную задвижки, убрать из печи запальник, и пустив дымосос, провентилировать газовый тракт печи в течение 5—10 мин. После этого вновь приступают к розжигу горелки.

*Розжиг печи, работающей на жидкотопливом топливе*, выполняют в следующем порядке. В печь закладывают на расстоянии 3,5 м от обреза мазутной форсунки 3 м<sup>3</sup> сухих дров. Дрова укладывают клеткой, высота которой составляет  $\frac{3}{4}$  диаметра печи, обливают жидким горючим и поджигают. Горение дров продолжается до их полного обугливания, после чего в форсунку подают небольшое количество воздуха и затем мазута. После достижения устойчивого горения в печи жидкого топлива обжигальщик постепенно увеличивает подачу в форсунку топлива и воздуха, наблюдая за горением топлива через смотровые лючки в горячей головке печи.

При наличии обводного газохода розжиг длинной печи ведут с отключенными электрофильтрами, так как температура газов пе-

ред электрофильтром типа УГ не допускается более 250° С, а типа УГТ — более 425° С.

Дальнейший розжиг продолжают следующим образом. Обжигальщик, убедившись, что футеровка печи нагрелась до красного свечения (температура 500—600° С), а температура газов на выходе из печи (в загрузочной головке) возросла до 200° С, включает вспомогательный привод печи. Непрерывное вращение печи от вспомогательного привода продолжается не более получаса, так как продолжительная работа может вызвать повреждение его подшипников.

После того как печь проработает от вспомогательного привода, ее переводят на самую минимальную частоту вращения главного привода. По мере разогрева футеровки в зоне обжига до 700—800° С (вишнево-красное свечение) обжигальщик включает дымосос, увеличивает подачу в печь топлива и первичного воздуха и включает питатель сырья на самую малую производительность.

После работы печи на минимальной частоте вращения в течение 1 ч обжигальщик прекращает подачу в печь сырья, первичного воздуха и жидкого топлива, уменьшает разрежение в горячей головке и на 2—3 мин останавливает вращение печи. При работе печи на газообразном топливе расход топлива не прекращается, а лишь снижается до минимальной величины.

Остановка печи необходима для осмотра состояния футеровки и степени разогрева ее стенок. Если футеровка печи находится в хорошем состоянии и в зоне обжига разогрета до 1000—1100° С, печь пускают вновь, при этом подачу в нее сырья и топлива, а также частоту вращения корпуса постепенно увеличивают.

Когда материал войдет в зону обжига, вновь увеличивают подачу в печь топлива, первичного воздуха и, соответственно, тягу дымососа. При появлении извести на выходе из зоны обжига обжигальщик пускает пластинчатый конвейер извести и включает привод барабанного или колосникового холодильника.

На рабочий режим вращающуюся печь выводят, постепенно увеличивая подачу в печь топлива, воздуха и сырья при регулярном контроле качества извести. После достижения проектных параметров обжига включают регуляторы системы автоматического регулирования обжига. Систему автоматической отсечки газопровода переключают с ручного управления на автоматическое. После этого вывод печи на эксплуатационный режим считается законченным.

*Розжиг вращающейся печи с конвейерной решеткой* выполняют следующим образом. Перед розжигом печи машинист конвейерной решетки открывает шибер розжиговой трубы и закрывает крышки люков и лазов кожуха теплообменника.

Печи, работающие на газообразном топливе, разжигают в следующем порядке. Продувают газопровод перед горелкой на «свечу», закрывают шибер розжиговой трубы и пускают дымосос и вентилятор первичного воздуха. Открыв шибера перед дымососом и вентилятором, продувают газовый тракт вращающейся печи в течение 5—10 мин. После этого дымосос и вентилятор останавливают, при-

открывают шибер розжиговой трубы, закрывают шибера перед дымососом и вентилятором. Затем разжигают горелку и устанавливают расход газа в размере 10—15% от нормального.

После того как температура печных газов на входе в теплообменник поднимается до 400°С, вновь открывают шибер на розжиговой трубе и пускают вспомогательный привод печи. Спустя полчаса печь переводят на минимальную частоту вращения от главного привода.

В период разжига печи рекомендуется периодически поворачивать приводной вал конвейерной решетки каждый раз на одну четвертую часть полного оборота.

При достижении температуры газов на входе в теплообменник 650—700°С обжигальщик дает сигнал машинисту конвейерной решетки о пуске ее на минимальной частоте вращения с подачей сырья в количестве, соответствующем тихому ходу печи.

Перед пуском конвейерной решетки вначале включают винтовые конвейеры отбора пыли из пылеосадительных устройств и цепной конвейер под решеткой теплообменника, а затем привод решетки. При этом шибер перед дымососом остается закрытым и все газы из печи удаляются в атмосферу через розжиговую трубу.

По мере разогрева футеровки обжигальщик прибавляет количество топлива и воздуха, следя при этом за полным горением топлива в зоне обжига, так как продукты неполного сгорания топлива будут догорать в рабочей камере теплообменника и могут привести к разрушению решетки и камеры. Когда при непрерывной подаче сырья в печь температура газов на выходе из барабана поднимается до 800—850°С, пускают в работу дымосос.

После 1 ч работы печи на тихом ходу ее останавливают на 2—3 мин для первого осмотра футеровки. Когда материал войдет в зону обжига, обжигальщик увеличивает подачу топлива, воздуха и тягу дымососа. При выходе извести из зоны обжига рабочий пускает пластинчатый конвейер извести и барабанный или колосниковый холодильник печи.

В дальнейшем, при достаточном запасе тяги у дымососа, шибер розжиговой трубы закрывают постепенно, в течение получаса, после чего необходимое разрежение в горячей головке печи устанавливается с помощью направляющего аппарата дымососа.

Печь выводят на рабочий режим, постепенно увеличивая до проектной величины подачу топлива, воздуха, сырья и частоту вращения ее корпуса. Продолжительность разжига и разогрева печи с открытой розжиговой трубой составляет обычно 8—10 ч.

Остановку вращающейся печи производят следующим образом. При остановке вращающейся печи без запечного теплообменника вначале снижают до минимального расход топлива и дутьевого воздуха, затем прекращают подачу сырья и переводят печь на минимальную частоту вращения. Спустя некоторое время полностью прекращают подачу в печь топлива и останавливают дутьевой вентилятор. При работе печи на газообразном топливе

необходимо закрыть рабочую и контрольную задвижки на газопроводе и открыть задвижку на «свечу».

Через 10—15 мин после прекращения подачи в печь топлива дымосос переводят на минимальную тягу. После того как из печи выйдет весь материал, останавливают привод печи, а спустя некоторое время привод холодильника. Во время остановки печь периодически поворачивают с помощью вспомогательного привода для предотвращения прогиба корпуса печи. При снижении температуры в печи до 50°С приступают к осмотру ее футеровки.

*При остановке вращающейся печи с конвейерной решеткой* вначале снижают подачу топлива, воздуха, сырья, а печь переводят на минимальную частоту вращения. Спустя некоторое время подачу топлива прекращают полностью и останавливают вентилятор первичного воздуха. Приоткрывают шибер на розжиговой трубе и останавливают дымосос. Останавливают линию подготовки и подачи сырья на конвейерную решетку. После того как решетка полностью освободится от сырья, ее останавливают.

После выхода материала вращающуюся печь останавливают, лишь периодически включая ее для предотвращения прогиба. Холодильник останавливают после выхода из него остатков материала. При снижении температуры в печи до 50°С закрывают шибер на розжиговой трубе и приступают к осмотру печи и футеровки.

### **Обжиг карбонатных пород**

**Горелочные устройства.** Для подачи во вращающуюся печь топлива и обеспечения необходимых условий для его сжигания применяют горелочные устройства (форсунки, горелки), придающие факелу необходимое направление и форму. От характеристики факела зависит длина зоны обжига и ее положение в печи. С удалением факела зона обжига также удлиняется и смещается в глубь печи. Ориентировочно принято считать, что длина зоны обжига равна половине длины факела.

*При сжигании газообразного топлива* применяют горелки низкого и среднего давления.

**Двухканальные горелки низкого давления** (рис. 75) используют в основном во вращающихся печах. В такой горелке по внутренней трубе 7 через патрубок 1 подается газ (давление 20—50 кПа), по внешней 6 через патрубок 4 вводится с помощью вентилятора воздух давлением 1600—2500 Па. В сопле горелки (в газовом или воздушном каналах) установлены спиралеобразные завихрители 9, способствующие более интенсивному перемешиванию топлива и газа. Положение конфузора 8 горелки изменяют механизмами 2 и 3.

Воздух подается в горелку в количестве 15—30% от общего расхода. Расход воздуха в горелку регулируют шибером 5. Скорость истечения газа составляет 40—75 м/с, воздуха 30—60 м/с.

**Одноканальные горелки среднего давления** (давление газа у обреза сопла до 70 кПа) не имеют завихрителя в

трубе. Полное смешивание газа с воздухом достигается за счет высокой степени турбулентности газового потока при высоких скоростях истечения газа из сопла (200—400 м/с).

Одноканальные горелки среднего давления обладают лучшими эксплуатационными свойствами. Сопло горелки не обгорает при работе, так как длина зоны воспламенения газа остается достаточ-

но большой. Воздух в горелку не подается, поэтому весь воздух на сжигание топлива проходит через холодильник печи, что улучшает использование физического тепла извести.

Недостаток одноканальных горелок среднего давления — ограниченная возможность регулирования положения факела. Для регулирования положения и длины факела в печь необходимо устанавливать на печь две горелки. Меняя направление каждой из них и давление газа перед соплом, смещают положение зоны горения топлива.

Применение одноканальных регулируемых горелок среднего давления ВРГ (рис. 76) позволяет устраниить недостатки одноканальных горелок, сохранив их преимущества. Принцип работы горелки состоит в возможности изменения площади выходного кольцевого сечения

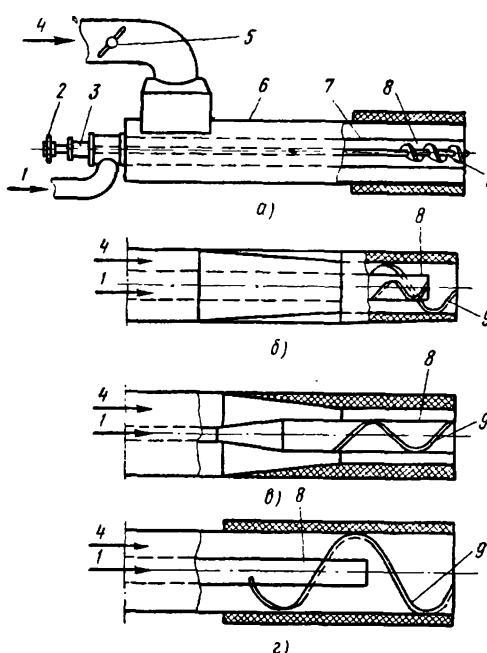
Рис. 75. Двухканальная газовая горелка:  
а, б, в, г — варианты; 1 — патрубок для ввода газа, 2, 3 — механизмы регулирования горелки, 4 — патрубок для ввода воздуха, 5 — регулирующий шнбер, 6, 7 — внешняя и внутренняя трубы, 8 — конфузор, 9 — спиралеобразный завихритель

сопла 3 путем перемещения (вперед-назад) сердечника 2. Для этого пользуются рукояткой 6, посредством которой движение через рычажную систему и шток 4 передается сердечнику 2.

Завихрение газового потока образуется от расположенных спирально (соосно) лопаток 1 завихрителя, которые поворачиваются на шарирных ножках в нужную сторону рукояткой 5. Лопатки завихрителя можно поворачивать на угол от 0 до  $\pm 60^\circ$ , благодаря чему степень завихрения газового потока регулируется плавно.

При сжигании мазута применяют механические форсунки с винтовыми и тангенциальными распылителями.

Форсунка с винтовым распылителем (рис. 77) имеет два канала 1 и 5 для подвода мазута к съемным распылителям



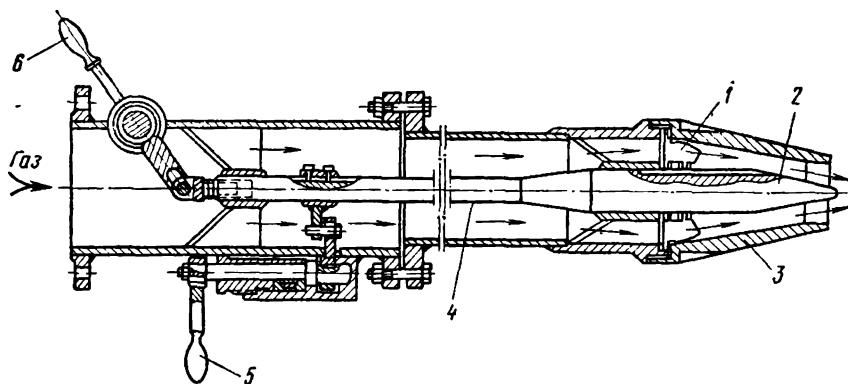


Рис. 76. Одноканальная регулируемая горелка ВРГ:  
1 — лопатка, 2 — сердечник, 3 — сопло горелки, 4 — шток сердечника, 5 — рукоятка за-  
вихрителя, 6 — рукоятка для перемещения сердечника

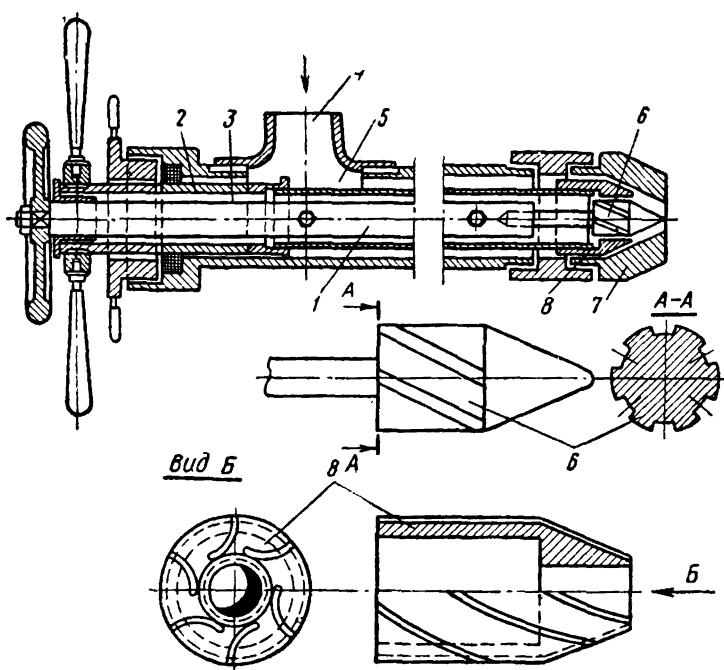


Рис. 77. Механическая форсунка с винтовым распылителем:  
1, 5 — каналы для мазута, 2, 3 — штоки распылителей, 4 — патрубок для  
ввода мазута, 6, 8 — распылители, 7 — выходной насадок сопла

6 и 8. На боковой поверхности распылителей нарезаны винтовые канавки, проходя по которым мазутная струя закручивается. Вращая за соответствующие штурвалы штоки 2 и 3, на которые навинчены распылители, можно менять их положение и тем самым изменять степень закручивания мазутной струи. Сечение сопла форсунки постоянное и его можно регулировать лишь при замене выходного насадка 7.

Форсунка работает следующим образом. Мазут под давлением 1,6—2 МПа через патрубок 4 поступает в канал 5 и через отверстия в штоке 3 попадает в канал 1. Из этого канала мазут через канав-

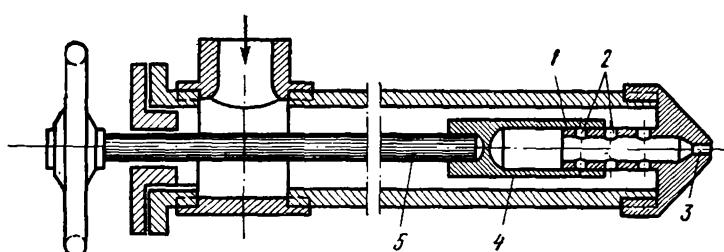


Рис. 78. Механическая форсунка с тангенциальным распылителем:  
1 — элемент выходного насадка, 2 — прорези, 3 — выходное сопло, 4 — поршень, 5 — шток поршня

ки распылителей 6 и 8 выходит через отверстие сопла в пространство. Проходя через каналы распылителей, струя мазута закручивается и на выходе из сопла разбивается на мельчайшие капельки в виде тумана.

Форсунка с тангенциальным распылителем (рис. 78) снабжена элементом 1, в прорези 2 которого мазут вводится тангенциально, благодаря чему струя мазута закручивается в канале. Степень закручивания струи можно менять, регулируя соотношение площади прорезей и площади выходного сопла 3. Это достигается вращением штурвала штока 5, при котором поршень 4 перемещается вдоль оси форсунки и перекрывает соответствующие тангенциальные отверстия. Такая форсунка позволяет регулировать угол распыления в широких пределах и более тонко распылять топливо. Необходимое распыление мазута достигается при давлении 2,2—2,5 МПа. Скорость истечения топлива при этом составляет 50—70 м/с.

Мазут марки 100 для обеспечения полного распыления следует нагревать до 105° С, а марки 40 — до 80° С. Постоянная температура подогрева мазута перед его подачей в форсунку способствует его полному сжиганию.

**Стадии обжига и их характеристики.** Во вращающейся печи различают три основные зоны, отличающиеся режимными параметрами термообработки материала и физико-химическими процессами, происходящими в нем. На рис. 79 изображены кривые распределения по длине печи, работающей по сухому способу обжига, темпе-

ратуры газового потока (кривая 3), температуры поверхности материала (кривая 2) и содержания в извести активных окислов кальция и магния (кривая 1).

Зона подогрева расположена в холодном конце печи, начиная от места поступления в нее сырья, и занимает до 70 % общей длины корпуса длинной печи и 20—30 % короткой с запечным подогревателем сырья. Поступающий в зону подогрева длинной печи материал (пунктирная кривая 2) проходит последовательно сушку ( $t_m$  до 120° С) и нагрев ( $t_m$  850—900° С). В конце зоны подогрева в температурном интервале 700—900° С полностью разлагается содержащийся в сырье углекислый магний  $MgCO_3$  и частично углекислый кальций  $CaCO_3$ .

Выходящие из зоны обжига с температурой 1100—1250° С печные газы (кривая 3) отдают тепло материалу и их температура снижается до 600—800° С. Температура печных газов на выходе из печи (в начале зоны подогрева) в значительной мере зависит от влажности сырья, от организации теплообмена с сырьем в зоне подогрева и от длины зоны подогрева.

При отсутствии в зоне подогрева теплообменных устройств материал в результате незначительной поверхности теплообмена забирает меньше тепла, чем он мог бы теоретически принять от газов, и температура газов на выходе из печи с соотношением  $L/D_0 = 25—30$  (кривая 3 пунктиром) остается высокой (500—600° С) даже при обжиге влажного мела. При обжиге известняка влажностью 2—4 % температура отходящих газов из барабана печи составляет 700—800° С.

В печах с отношением  $L/D_0 = (35/45)$  температура газов на выходе из зоны подогрева значительно ниже (400—450° С). Но так как температура газов снижается в основном за счет потери тепла корпусом печи в окружающую среду, то удельный расход топлива на обжиг остается высоким.

Применение внутренних теплообменников позволяет интенсифицировать конвективный теплообмен в зоне подогрева, и температура отходящих газов снижается до 350—400° С. Температура материала по длине печи растет при этом значительно быстрее, и длина зоны подогрева сокращается, а длина зоны обжига увеличивается. Поэтому применение внутренних теплообменных устройств позволяет

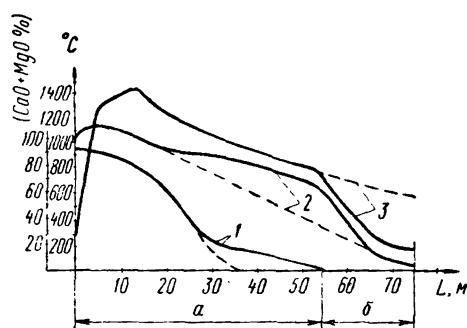


Рис. 79. Распределение температуры газов, материала и активности извести по длине вращающейся печи, работающей по сухому способу обжига:  
а — зоны обжига и предварительного охлаждения,  
б — зона подогрева; 1 — кривая активности извести, 2 — кривая температуры поверхности материала, 3 — кривая температуры газообразных продуктов

на 10—15% увеличить производительность печи при одновременном снижении удельного расхода топлива на 20—25% за счет лучшего использования тепла печных газов.

При мокром способе производства извести длина цепного теплообменника должна быть такой, чтобы влажность материала на выходе из него находилась в пределах 5—7%. Мел влажностью 5—7% хорошо окатывается в прочные гранулы размером 5—15 мм, которые быстро обжигаются. Пересушка шлама в цепном теплообменнике сопровождается ухудшением грануляции мела и повышенным пылеуносом из печи, в результате чего производительность печи снижается в 1,2—1,5 раза.

Значительный эффект достигается при установке за короткой вращающейся печью запечного теплообменника, например конвейерной решетки. При этом сушка и подогрев материала до температуры 700—750° С (кривая 2 сплошная) происходит на конвейерной решетке, куда печные газы поступают с температурой 900—1000° С, а после просасывания через слой выходят с температурой 350—400° С. Из-за подсосов холодного воздуха в теплообменнике температура газов обычно равна 200—250° С (кривая 3 сплошная). Дальнейшее нагревание сырья до температуры 900° С происходит на коротком участке зоны подогрева печи (кривая 2 сплошная).

Выходящие из зоны подогрева длинной печи газы при правильной организации процесса обжига содержат 22—24% CO<sub>2</sub> и 2—2,5% O<sub>2</sub>. Отходящие из подогревателя сырья газы вследствие меньшего удельного расхода топлива на обжиг в коротких вращающихся печах с запечными теплообменниками содержат 26—28% CO<sub>2</sub> и 1,5—2% O<sub>2</sub>.

Зона обжига длинной вращающейся печи занимает 25—30%, а короткой — 50—75% общей длины корпуса печи. В зоне обжига происходит сгорание топлива и завершаются основные физико-химические реакции разложения карбонатного сырья.

Ввиду малого времени пребывания материала в зоне обжига (30—45 мин) его нагревают до температуры 1200° С, при которой реакция разложения CaCO<sub>3</sub> происходит достаточно быстро. В результате сырье успевает почти полностью диссоциировать и содержание активных CaO+MgO в воздушной извести достигает 90—94%.

Чтобы обеспечить быстрое нагревание материала, максимальную температуру газов поддерживают на 250—300° С выше температуры материала. Тепло материалу передается от факела и поверхности футеровки печи. От факела тепло подается материалу лучеиспусканiem и конвекцией, от футеровки — преимущественно теплопроводностью.

В конце зоны обжига расположен порог высотой 200—500 мм, иногда на расстоянии 16—18 м от него устраивают второй порог. Применение кольцевых порогов (местных сужений внутреннего диаметра печи) улучшает характеристики процесса обжига за счет увеличения времени пребывания материала в зоне высоких температур и уменьшения потерь тепла излучением факела в холодный

конец печи. В итоге устройство двух-трех порогов в печи позволяет на 5–10% повысить ее производительность и несколько снизить удельный расход топлива на обжиг.

Длину и расположение зоны обжига регулируют длиной и формой факела. Сжигание топлива в факеле организуют при общем коэффициенте избытка воздуха  $\alpha$  от 1,05 до 1,15. Смещение зоны обжига к холодному концу печи увеличивает потери тепла с отходящими газами, а смещение ее к горячemu концу приводит к уменьшению длины зоны обжига и появлению в связи с этим «недожога» в извести.

*Зона предварительного охлаждения* занимает 5% длины печи и расположена непосредственно за зоной обжига. Ввиду незначительной длины зоны материал на выходе из нее имеет температуру 900–1000° С и физическое тепло отдает вторичному воздуху в основном в рекуператорном или барабанном холодильнике. Воздух нагревается в зоне предварительного охлаждения до температуры 600–700° С, что способствует повышению температуры факела и лучшему использованию тепла в целом.

В *холодильнике печи* известь охлаждается до температуры 150–200° С (рекуператорный), 120–150° С (барабанный), 40–80° С (колосниковый). Холодный воздух, поступающий в холодильник из окружающей среды, нагревается в нем до 250–300° С.

### **Регулирование процесса обжига**

После вывода вращающейся печи на рабочий режим обжигальщик поддерживает его, наблюдая за показаниями приборов и визуально через отверстие гляделки в горячей головке печи. Обжигальщик регулирует процесс обжига, изменяя температуру и расположение факела в зоне обжига, частоту вращения печи, количество материала, загружаемого в печь, и эффективность тепловой работы подогревателя сырья.

*Необходимая температура материала* в зоне обжига поддерживается сжиганием в ней определенного количества топлива. Чем ниже коэффициент избытка воздуха при полном горении топлива, тем выше температура факела и газов. В зависимости от положения факела и степени заполнения им внутреннего пространства печи изменяются условия передачи тепла материалу и, следовательно, его температура. Количество вводимого в печь топлива и условия его сжигания оказывают решающее влияние на температуру материала в зоне обжига.

*Регулирование факела* в печи состоит в следующем. При сжигании мазута необходимо, чтобы факел был равномерным, без разрывов и черноты. Разрывы факела указывают на неисправности в системе подвода воздуха или на засорение распылителя форсунки. Черные прожилки являются следствием неполного сгорания мазута, что обусловлено низкой температурой его подогрева. Необходимо устранить неисправности и добиться равномерного горения факела.

Форсунку или газовую горелку устанавливают таким образом,

чтобы факел не касался футеровки печи, был наклонен в сторону подъема материала в печи и располагался вдоль слоя извести в непосредственной от него близости.

Уменьшение длины факела двухканальной газовой горелки достигается увеличением количества подаваемого в нее первичного воздуха, а увеличение длины — уменьшением подачи дутьевого воздуха с помощью регулирующей заслонки (шибера).

*Регулирование частоты вращения печи* приводит к изменению времени пребывания в ней материала и изменению производительности печи. Современные печи оборудованы приводом, позволяющим изменять частоту вращения корпуса печи от 0,5 до 1,5 об/мин. Увеличение частоты вращения печи способствует интенсификации теплообмена между газовым потоком и материалом. Повышение частоты вращения печи с одновременным увеличением подачи в нее топлива и сырья является эффективным средством интенсификации процесса обжига.

*Количество загружаемого в печь сырья* (или скорость движения конвейерной решетки) изменяется только в случае резкого увеличения его влажности при изменении химического состава сырья или его гранулометрии, а также в случае значительного отклонения режима обжига от заданного.

*Стабильность и экономичность режима обжига* карбонатного сырья во вращающейся печи в значительной мере определяется эффективностью работы конвейерной решетки. Этому способствует равномерное распределение сырья по ширине решетки и постоянная высота слоя по всей ее поверхности. Высота слоя материала на решетке зависит от размеров кусков обжигаемой фракции, содержания в ней мелочи, способности материала к слипанию и т. п. Величина слоя материала определяется управляемым шибером.

### **Отклонения от заданного режима обжига и способы их устранения**

*Понизилась температура материала в зоне обжига* (определяется по показанию оптического или радиационного пирометра). В результате недостаточно обожженный материал приближается к концу зоны обжига. Чтобы устранить «недожог», необходимо временно сместить зону максимальной температуры к горячему концу печи (приблизить ее). С этой целью обжигальщик увеличивает подачу топлива и воздуха, одновременно уменьшив тягу дымососа (снизив разрежение). По мере повышения температуры в зоне обжига следует постепенно увеличить тягу до восстановления нормального положения зоны обжига.

Если указанным способом не удается повысить температуру в зоне обжига, то необходимо перевести печь на пониженную частоту вращения. В противном случае может произойти переохлаждение печи, которое приведет к значительному нарушению режима обжига.

*Температура отходящих газов превысила установленную*. Это может явиться следствием слишком высокой температуры в зоне

обжига, смещением ее в сторону холодного конца печи, недостаточной загрузкой печи сырьем или чрезмерно длинным факелом горения газообразного топлива. Чтобы снизить температуру отходящих газов, необходимо либо убавить подачу в печь топлива, либо снизить разрежение в печи, либо увеличить подачу в печь сырья, либо увеличить подачу в газовую горелку первичного воздуха.

*Увеличилось или уменьшилось разрежение в горячей головке печи.* Причиной увеличения разрежения может быть резкое уменьшение количества поступающего из холодильника в печь вторичного воздуха; причиной уменьшения — нарушение герметизации между корпусом печи и головкой. В первом случае необходимо проверить работу холодильника печи и устранить увеличение толщины слоя извести в нем. Во втором случае следует проверить состояние лабиринтного уплотнения между корпусом и головкой печи и восстановить герметизацию печи.

*Увеличилось разрежение в холодной части печи* (в загрузочной головке). Увеличение разрежения может быть вызвано уменьшением объема отходящих газов или увеличением толщины слоя материала в печи. Необходимо проверить количество поступающего в печь топлива и сырья и только после этого приступить к восстановлению заданных параметров режима обжига.

*Уменьшилось разрежение в горячей головке печи с конвейерной решеткой.* Причиной может служить забивание щелей в колосниках решетки, резкое увеличение слоя материала на ней или нарушение герметизации кожуха конвейерной решетки. Необходимо соответственно очистить щели колосников от материала; отрегулировать толщину слоя материала; плотно закрыть крышки люков и смотровых окон конвейерной решетки.

*Температура в зоне обжига может значительно понизиться* при невнимательном обслуживании печи и возникнет опасность переохлаждения печи, ведущая к выпуску извести с значительным содержанием «недожога». Для подогрева печи необходимо остановить печь и прекратить подачу сырья, убавить разрежение в печи, факел при возможности направить на материал.

Как только верхний слой материала прогреется, следует повернуть печь настолько, чтобы прикрыть обожженный материал необожженным. Эта операция повторяется несколько раз с сокращением продолжительности прогрева материала. После полного прогрева материала в зоне обжига, когда опасность пропуска брака ликвидирована, печь переводят на минимальную частоту вращения. По мере повышения температуры в зоне обжига (при полном сгорании топлива) увеличивают тягу, и печь постепенно переводят на нормальную частоту вращения.

*Образование сваров материала.* Вследствие подачи в печь сырья с повышенным содержанием глинистых примесей в печи образуются свары материала в виде колец или комьев («козлов»). Образование колец или «козлов» в зоне обжига вызывает снижение разрежения в горячей головке печи при одновременном увеличении разрежения в загрузочной головке. Чтобы ликвидировать свары

материала, необходимо перевести печь на минимальную частоту вращения, снизив подачу в нее топлива и воздуха. По мере приближения «козлов» к горячему концу корпуса печи их разбивают длинными металлическими штангами через люк в головке печи. Кольцеобразные свары можно ликвидировать только после полной остановки и охлаждения печи до температуры 50° С. Настыли ликвидируют вручную ломами или отбойными молотками.

*Колосники решетки не закрыты материалом, и возникла опасность их прогорания.* В этом случае необходимо срочно остановить решетку и разравнять материал на ней, предварительно остановив линию подачи сырья. Если колосники решетки прогорели, необходимо срочно остановить печь. Аварийная остановка печи выполняется в следующем порядке: перекрывают подачу в печь топлива и останавливают вентилятор первичного воздуха; останавливают конвейерную решетку и врачающуюся печь; приоткрывают шибер на розжиговой трубе; останавливают дымосос.

Во время остановки печи ее корпус периодически поворачивают на четверть оборота. После снижения температуры в камере решетки до 50° С заменяют колосники.

### **Техническое обслуживание печи**

Во время приема-сдачи смены обжигальщик производит наружный осмотр состояния печи, холодильника извести, подогревателя сырья, вспомогательных механизмов и устройств, проверяет наличие запаса сырья и топлива и расписывается в приемо-сдаточном журнале.

В течение смены обжигальщик обязан:

систематически следить за показаниями контрольно-измерительных приборов и руководствоваться ими при управлении режимом обжига в печи; при этом он пользуется данными лаборатории о качестве поступающего в печь сырья и топлива и выгружаемой извести;

выполнять при управлении печью установленные задания по качеству извести, производительности агрегата, нормам расхода топлива на обжиг и стойкости футеровки;

наблюдать через смотровые лючки за состоянием футеровки печи и правильным расположением факела горения топлива (не допускать касания факелом футеровки);

наблюдать по приборам или визуально за температурой корпуса печи, не допуская его перегрева (появления красных пятен);

следить за механическим состоянием печи, холодильника извести и подогревателя сырья, а также приводных, загрузочных и выгрузочных механизмов печи;

следить за герметичностью трубопроводов, пылеосадительных устройств, загрузочных и выгрузочных механизмов печи, не допускать выбросов пыли и печных газов в помещение цеха;

ежечасно записывать в приемо-сдаточном журнале основные показатели работы печного агрегата, а в конце смены — данные о состоянии печи и ее вспомогательного оборудования.

### **Правила техники безопасности**

При пуске, остановке и работе вращающейся печи обжигальщик соблюдает следующие правила техники безопасности.

Пуская находящуюся в эксплуатации вращающуюся печь, машинист дает два звуковых сигнала с интервалом 4—5 с и после этого сигнала включает электродвигатель главного или вспомогательного привода.

При визуальном контроле процесса обжига через гляделку горячей головки печи машинист печи пользуется защитными очками; лючки гляделок открывает в рукавицах.

При осмотре газовых горелочных устройств и подводящих трубопроводов обжигальщик надевает шланговый противогаз.

При осмотре корпуса печи, холодильника, оборудования и механизмов обжигальщик пользуется переносной электролампой напряжением 12 или 36 В.

При появлении на корпусе печи красных пятен накала, образовании сваров материала в зоне обжига и появлении давления в горячей головке печи следует немедленно снизить расход топлива.

При ликвидации сваров («коэлов») обжигальщик работает в очках и рукавицах при полной остановке печи. Сбивать свары следует с помощью металлических штанг через люк горячей головки печи.

### **§ 28. АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ОБЖИГА**

Один из способов интенсификации процесса производства известнист во вращающейся печи — автоматизация основного и вспомогательного технологического оборудования и процесса обжига.

На рис. 80 представлены элементы системы автоматического контроля и регулирования процесса обжига карбонатного сырья во вращающейся печи без запечного теплообменника, оборудованной рекуператорным холодильником и работающей на природном газе.

*Схема теплового контроля* предусматривает автоматическое измерение и запись на диаграмме приборов расхода природного газа, разрежения в горячей головке печи и пылеосадительной камере; температуры газов в зоне обжига, в пылеосадительной камере и перед дымососом; температуры материала перед зоной обжига; содержания кислорода в отходящих газах.

Расход природного газа измеряется мембранным дифференциальным манометром 19 и регистрируется вторичным прибором — расходомером 18. Разрежение по тракту измеряется мембранными манометрами (тягомерами) 16 и 17; температура в зоне обжига цветовым пиromетром 4 типа «Спектропир 4-01», показания которого записываются автоматическим потенциометром 1. Температура га-

зового потока в пылеосадительной камере и дальше по газовому тракту измеряется хромель-алюмелевыми термометрами 8, 9 и фиксируется показывающими милливольтметрами 11 и 12.

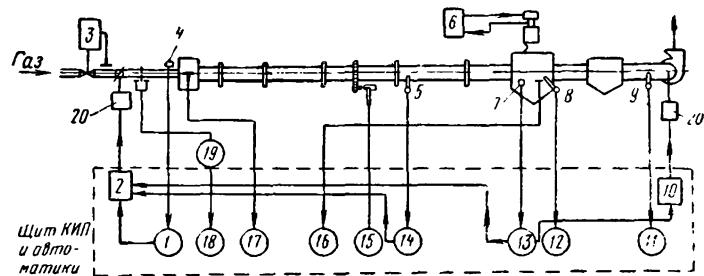


Рис. 80. Схема системы автоматического контроля и регулирования процесса обжига извести во вращающейся печи без запечного теплообменника:

1, 14 — потенциометры, 2 — регулятор температуры, 3 — регулятор давления, 4 — цветовой пирометр, 5, 8, 9 — термометры, 6 — регулятор загрузки печи сырьем, 7 — газоотборное устройство, 10 — регулятор полноты сжигания топлива, 11, 12 — милливольтметры пирометрические, 13 — газоанализатор на кислород, 15 — сигнализирующий термометр, 16, 17 — тягометры мембранные показывающие, 18 — расходомер газа, 19 — дифференциальный манометр, 20 — исполнительный механизм

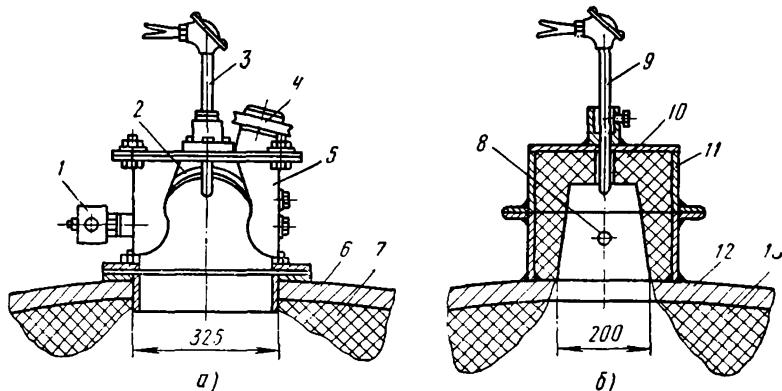


Рис. 81. Устройство и крепление кармана для измерения температуры материала во вращающейся печи:

а — для средних температур, б — для высоких температур; 1 — груз, 2 — скребок, 3, 9 — термометры, 4 — лючок для отбора проб материала, 5 — корпус кармана, 6, 12 — корпус печи, 7, 13 — футеровка печи, 8 — отверстие для осмотра, 10 — футеровка кармана, 11 — разъемный корпус кармана

Температуру материала внутри вращающейся печи в зоне подогрева измеряют комплектом, состоящим из стандартного термоэлектрического термометра 5, помещаемого в карман, и автоматического потенциометра 14. На рис. 81 показано устройство и крепление кармана во вращающейся печи.

Карман для средних температур (рис. 81, а) снабжен скребком 2, выполненным в виде двух полудуг, вращающихся вокруг оси и очищающих как термометр 3, так и внутреннюю поверхность лючка от материала. При вращении печи корпус кармана 5 в нижнем положении засыпается материалом, а в верхнем освобождается от него. В нижнем положении кармана термометр покрыт слоем материала и влияние газового потока на его показание резко уменьшается. Карман рекомендуется устанавливать в месте, где температура материала не превышает 800° С.

Карман для высоких температур (рис. 81, б) снабжен футеровкой 10. Для того чтобы в верхнем положении карман полностью освобождался от материала, футеровка выполнена в виде конуса. Отверстие 8 предназначено для осмотра внутренней полости кармана. Показание термометра 9 в большой степени зависит от его расположения в кармане. Необходимую глубину погружения термометра устанавливают экспериментально.

Термоэлектродвижущую силу (э. д. с.) термометра снимают устройством, конструкция которого показана на рис. 82. Токосъемник состоит из двух колец 7, изготовленных из алюминиевой полосы, фарфоровых изоляторов 6 с держателями, предохранительных пружин 5 и токосъемной штанги 1, снабженной меднографитовой щеткой для съема э. д. с. термопары. Термометр соединяют с кольцами токосъемника термоэлектродным проводом, а щетки токосъемника соединяют с потенциометром медным проводом.

Карманы и токосъемники для удобства их обслуживания монтируют на печи в месте расположения опор.

*Содержание кислорода в отходящих печных газах* (см. рис. 80) измеряется автоматическим термомагнитным газоанализатором 13 типа МН-5130, снабженным записывающим прибором, шкала которого градуирована в объемных процентах. Для непрерывного отбора, очистки и подачи в прибор пробы газа служит газоотборное устройство 7 типа УГ-3, устанавливаемое в пылеосадительной камере.

Газоотборное устройство (рис. 83, а) состоит из установленной вертикально газоотборной трубы 1, конденсационного сосуда 2, фильтра 3 вторичной очистки и газоанализатора 4. Газоотборная труба 1 вставляется в пылеосадительную камеру через свод 5 и концом входит за линию обреза печи, что предотвращает подсасывание воздуха в заборное устройство. Отбираемый газ последовательно

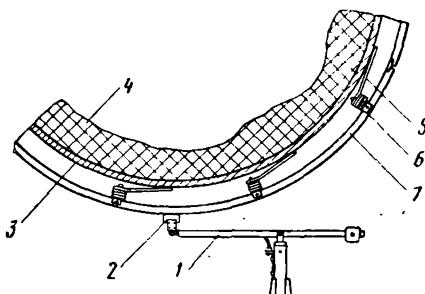


Рис. 82. Устройство для снятия термоэлектродвижущей силы (э. д. с.) термометра:

1 — штанга, 2 — щетка, 3 — корпус печи, 4 — футеровка печи, 5 — предохранительные пружины, 6 — изоляторы, 7 — токосъемные кольца

просасывается через трубу 1, конденсационный сосуд 2, фильтр 3 и поступает в газоанализатор 4.

Газоотборная труба (рис. 83, б) состоит из установочной трубы 9, паровой рубашки 8, газозаборной трубы 7 и козырька 6. Отбираемый трубкой 7 газ поступает в фильтр 11 первичной очистки и через патрубок 12 направляется на вторичную очистку и охлаждение. Рубашка 8 служит для предотвращения конденсации содержащихся в газе паров воды при прохождении через заборную трубку и фильтр первичной очистки. Пар в рубашке образуется при испарении воды, заливаемой в рубашку через штуцер 10.

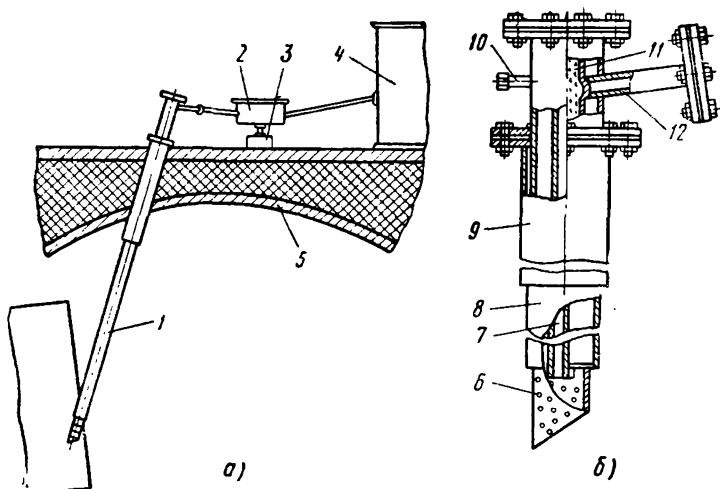


Рис. 83. Вертикальная установка газоотборного устройства:  
а — схема устройства, б — газоотборная труба; 1 — труба, 2 — конденсационный сосуд, 3 — фильтр, 4 — газоанализатор, 5 — свод пылеосадительной камеры, 6 — козырек, 7 — газоотборная трубка, 8 — рубашка, 9 — установочная труба, 10 — штуцер, 11 — фильтр первичной очистки, 12 — патрубок

*Система автоматического регулирования САР* (см. рис. 80) предусматривает регулирование температуры в зоне обжига и полноты сгорания топлива, а также стабилизацию давления газа перед горелкой и количества подаваемого в печь сырья.

Температура в зоне обжига поддерживается регулятором 2 следующим образом. При отклонении температуры в зоне обжига от заданного значения потенциометр 1 посылает в измерительную схему регулятора 2 электрический импульс и регулятор через исполнительный механизм 20 поворачивает регулирующую заслонку газопровода, увеличив или уменьшив подачу природного газа в печь.

Регулятор, кроме того, получает корректирующие импульсы при значительных отклонениях от заданного значения температуры материала перед зоной обжига (от потенциометра 14) и содержания кислорода в отходящих газах (от газоанализатора 13) и соответственно изменяет в определенных пределах подачу в печь топлива.

Полнота сгорания топлива в печи обеспечивается регулятором 10, который воздействует своим исполнительным механизмом 20 на направляющий аппарат дымососа. Например, при увеличении содержания  $O_2$  в отходящих газах, измерительная схема регулятора, получающая сигнал от газоанализатора 13, выходит из равновесия, и исполнительный механизм несколько прикрывает направляющий аппарат дымососа. При этом разрежение в горячей головке печи снижается, что приводит к уменьшению поступления в печь вторичного воздуха и содержание  $O_2$  в отходящих газах уменьшается.

Регулятор 3 поддерживает давление в газопроводе, воздействуя на регулирующий орган (клапан, заслонку). Регулятор 6 получает импульс от преобразователя расхода материала в печь и воздействует на питатель, уменьшая или увеличивая его производительность. Таким образом, он поддерживает постоянную величину даваемого в печь сырья. Сигнализирующий термометр 15 подает световой или звуковой сигнал при повышении температуры масла в системе смазки главного привода печи выше допустимого значения.

## ГЛАВА VIII

### ОБЖИГ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД В ПЕЧАХ КИПЯЩЕГО СЛОЯ И ОБЖИГОВЫХ МАШИНАХ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КОЛОСНИКОВОЙ РЕШЕТКОЙ

В последнее время для обжига известняка размером 3—12 мм применяют печи кипящего слоя и машины с вращающейся колосниковой решеткой. Так как время обжига небольших частиц известняка составляет 15—20 мин, в этих печах достигнуты в 1,5—2 раза более высокие удельные съемы продукции с единицы площади или полезного объема рабочей камеры, чем в шахтных и вращающихся печах.

#### § 29. ОБЖИГ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД В ПЕЧАХ КИПЯЩЕГО СЛОЯ

Сущность метода обжига в кипящем слое заключается в том, что через слой материала, находящегося на решетке, пропускают восходящий поток газа  $\text{CO}_2$  скоростью, при которой в слое происходит непрерывная циркуляция отдельных частиц. В таком состоянии материал приобретает текучесть, т. е. имеет сходство с жидкостью (псевдоожижение), подчиняясь законам гидравлики.

Сочетание псевдоожижения с применением измельченного материала способствует резкому увеличению поверхности соприкосновения материала с газом. Тепло переносится от одной части слоя к другой благодаря интенсивному перемешиванию частиц, что способствует выравниванию температуры по всему слою. Поэтому при обжиге в кипящем слое температуру газов можно поддерживать, близкую к теоретической температуре разложения известняка, тогда как в шахтной или вращающейся печи температуру газов необходимо поддерживать на 200—300° С выше необходимой для реакции разложения сырья.

Печь кипящего слоя производительностью 300 т/сут (рис. 84) состоит из шахты с циклоном 14 промежуточной очистки газов, газогорелочного устройства 16 и холодильника 2. Шахта печи по высоте разделена на три камеры: две верхние 7 и 8 служат зонами сушки и подогрева известняка и нижняя 3 — зоной обжига.

Газораспределительные решетки 11 и 13 между камерами выполнены из шамотных кирпичей и снабжены отверстиями диаметром 60 мм. Шахта имеет стальной цилиндрический кожух, футерованный изнутри огнеупорным кирпичом. Внутренний диаметр шахты в зоне обжига 2,75 м. В шахте устроены лазы с люками 6 для ремонта и очистки решеток. Сплошная перегородка 4 выполнена из

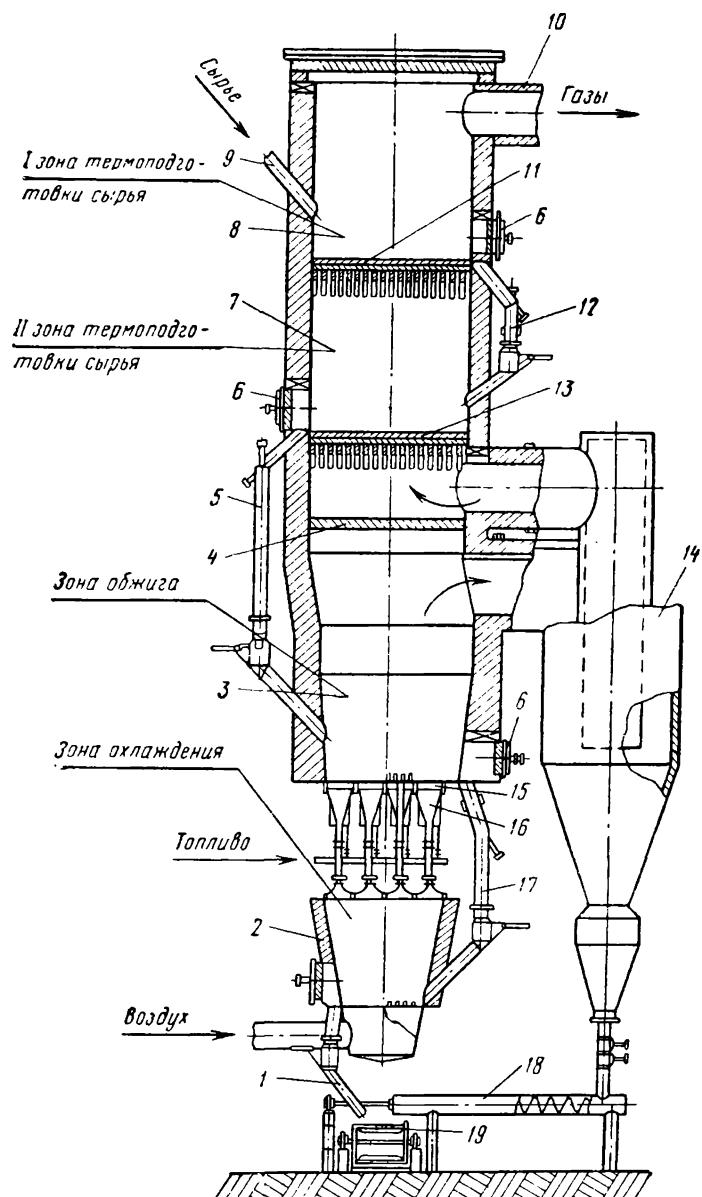


Рис. 84. Печь кипящего слоя производительностью 300 т/сут:  
 1, 5, 12, 17 — внешние переточные устройства, 2 — холодильник, 3, 7,  
 8 — камеры, 4 — сплошная перегородка, 6 — люк, 9 — загрузочный патрубок,  
 10 — патрубок для отвода газов, 11, 13, 15 — газораспределительные решетки,  
 14 — циклон, 16 — газогорелочное устройство, 18 — винтовой конвейер,  
 19 — пластичный конвейер

огнеупорного кирпича и отделяет зону обжига от подготовительных зон. Камеры сообщаются между собой внешними переточными устройствами 5 и 12.

Для сжигания природного газа применяют горелки с предварительным смешением газа и воздуха. Газогорелочное устройство 16 печи состоит из нескольких трубчатых пучков-смесителей, соединенных вверху с дутьевыми колпачками стальной решеткой 15. Газовоздушная смесь продувается через отверстия колпачков в камеру 3 и сгорает в ней. Образующиеся при этом высокотемпературные продукты горения служат теплоносителем и ожигающей средой.

Печная установка работает следующим образом. Известняк через патрубок 9 загружается в верхнюю камеру 8 печи, где ожигается газами, имеющими температуру 600—650°С (I зона термоподготовки). Высущенный и подогретый известняк по переточному устройству 12 поступает в камеру 7, где поддерживается температура 700—750°С (II зона термоподготовки). Здесь известняк подвергается частичной декарбонизации (разложение  $MgCO_3$ ), после чего он по переточному устройству 5 поступает в третью камеру (зону обжига) 3 с температурой 900—950°С.

Из зоны обжига известь по внешнему переточному устройству 17 выводится в холодильник 2 кипящего слоя (четвертая зона). В холодильнике воздух нагревается за счет физического тепла известии и поступает в смесители газогорелочного устройства.

Из холодильника известь по переточному устройству 1 попадает на пластинчатый конвейер 19. Выходящий из зоны обжига запыленный газовый поток проходит очистку в циклоне 14 и затем через газораспределительную решетку 13 поступает в камеру 7. Осадженные в циклоне частицы известии винтовым конвейером 18 подаются периодически на конвейер 19.

Выходящие из камеры 8 газы содержат значительное количество пылевидных фракций известняка, в связи с чем они по патрубку 10 направляются в пылеулавливающую установку, состоящую из циклонов НИИОГАЗ и водяного скруббера.

Опытно-промышленный образец трехзонной печи кипящего слоя производительностью 200 т/сут разработан институтом ДонНИИчермет и внедрен на Макеевском металлургическом заводе в 1963 г. Эксплуатация печи подтвердила высокую эффективность ее работы. Несмотря на неполное использование тепла отходящих газов и отсутствие холодильника известии, расход условного топлива на обжиг 1 т известии активностью 85% составляет около 175 кг. Известь отличается равномерностью обжига при среднем содержании в ней активных окислов  $CaO + MgO$  до 90%. Высота псевдоожиженного слоя материала в камерах находится в пределах 1—1,2 м, а аэродинамическое сопротивление каждого из слоев равно 4—5 кПа.

Печи кипящего слоя имеют большую единичную мощность и технологический процесс в них можно полностью автоматизировать. Важное свойство кипящего слоя — малое время обжига (10—15 мин) — позволяет получать в печах этого типа магнезиальную и до-

ломитовую воздушную известь, пригодную для производства изделий автоклавного твердения.

Недостаток печей кипящего слоя — значительный пылеунос мелких фракций материала из печи (до 30%).

### § 30. ОБЖИГ ИЗВЕСТНИКА В ОБЖИГОВЫХ МАШИНАХ С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КОЛОСНИКОВОЙ РЕШЕТКОЙ

На ряде металлургических предприятий для производства извести применяют горизонтальные обжиговые машины ОПР и ПОР<sup>1</sup>.

Обжиговая машина ПОР (рис. 85) представляет собой вращающуюся на опорных роликах 2 колосниковую решетку 7, на которой

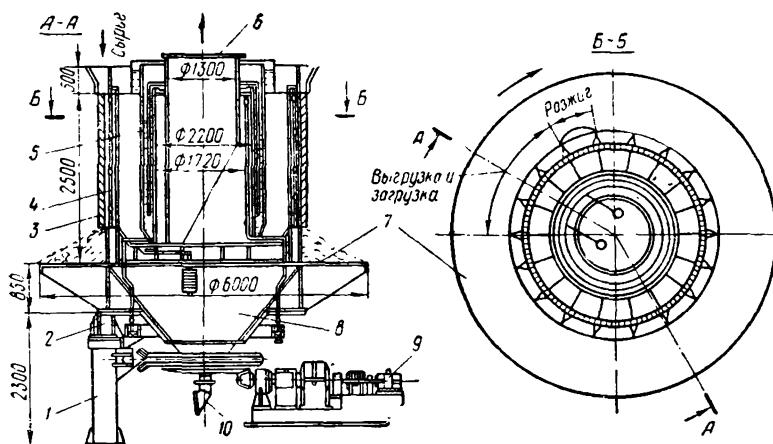


Рис. 85. Обжиговая машина ПОР:  
1 — колонна, 2 — опорный ролик, 3 — жалюзийная решетка, 4 — колосниковая решетка, 5 — цилиндрический гидрозатвор, 6 — труба для отсоса газов, 7 — вращающаяся колосниковая решетка, 8 — бункер просыпи, 9 — электродвигатель привода решетки, 10 — затвор бункера

вертикально закреплена сварная секционная шахта, состоящая из наружной жалюзийной 3 и внутренней колосниковой 4 решеток. Внутренняя решетка шахты опирается на вращающуюся решетку, а наружная не доходит до нее на 0,7 м, образуя кольцевой стол, куда частично выходит материал. Кольцевое пространство между вертикальными стенками шахты разделено перегородками на 18 секций. Между вращающейся шахтой и неподвижной трубой 6 для отсоса газов расположен цилиндрический гидрозатвор 5. Под вращающейся решеткой расположен конический бункер 8 с затвором 10 для сброса просыпи материала. Машина приводится в движение от электродвигателя 9 постоянного тока и редуктора. Машины пос-

<sup>1</sup> Названия составлены из первых букв фамилий авторов машин: Н. З. Плоткин, Г. Г. Орешник, А. К. Рудков. Машина ПОР — усовершенствованный вариант модели ОПР.

ледних конструкций с целью снижения теплопотерь и пыления заключены в стальной кожух с двойными стенками, через которые пропускается воздух.

Машина ПОР работает следующим образом. Смесь известняка фракции 3—10 мм и коксика фракции 2—5 мм загружают в секции шахты сверху и зажигают через жалюзийную стенку (в машинах последней конструкции) или на решетке. Зажигание шихты, состоящей из известняка и коксика в соотношении 10:1, производится от горна, работающего на коксовом газе, при температуре 1000—1100° С. При одном повороте решетки от места загрузки шихты до места выгрузки извести происходит обжиг сырья, после чего известь с температурой 600—800° С сбрасывается неподвижным ножом в выгрузочную течку. Просос воздуха через шихту и отсос газообразных продуктов из машины осуществляются дымососом.

Температура отходящих из обжиговой машины газов составляет 600—700° С, а выгружаемой извести 600—800° С, в результате чего расход условного топлива на обжиг 1 т извести составляет более 220 кг. Расход электроэнергии на 1 т извести — 7 кВт·ч.

Степень обжига известняка в обжиговых машинах колеблется от 65 до 80%. Известь ввиду жесткого и неравномерного режима обжига содержит одновременно и «пережог» и «недожог», в связи с чем непригодна для использования в промышленности строительных материалов и строительстве.

#### Техническая характеристика обжиговой машины ПОР

Производительность, т/ч . . . . .	20
Полезная площадь колосниковой решетки, м <sup>2</sup> . . . . .	20
Толщина слоя материала между стенками, м . . . . .	0,2
Частота вращения решетки, об/ч . . . . .	3,75—7,5
Время обжига, мин . . . . .	10—15
Разрежение в машине, кПа . . . . .	до 2
Мощность привода решетки, кВт . . . . .	8

## ГЛАВА IX

### КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ОБЖИГА КАРБОНАТНЫХ ПОРОД И КАЧЕСТВА ИЗВЕСТИ

#### § 31. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ОБЖИГА

При обжиге карбонатных пород один раз в час контролируют температурный и аэродинамический режимы печного агрегата, состав отходящих газов и коэффициент избытка воздуха. Раз в смену проверяют производительность печи и расход топлива на обжиг, на основании чего рассчитывают удельный расход топлива и расходный коэффициент сырья.

*Температурный режим* шахтной печи контролируют по показаниям вторичного прибора в комплекте с термометрами, установленными за участке газохода в месте выхода газов из печи и в промежуточном бункере после выгрузочного механизма. Эти термометры позволяют следить за температурой отходящих печных газов и температурой выгружаемой из печи извести. Температуру в зоне обжига измеряют через гляделки оптическим пирометром или посредством временного погружения в слой материала термометра с чехлом из жаропрочной стали (рабочая температура стали 1150—1200° С).

Во вращающейся печи без запечного теплообменника контролируют: температуру отходящих из печи газов по показаниям термометра, установленного в загрузочной головке, температуру в зоне подогрева печи по установленному на корпусе печи термометру; температуру в зоне обжига (материала и футеровки печи) — по показанию цветового или радиационного пирометра.

Во вращающейся печи с запечным теплообменником, кроме того, контролируют температуру газового потока термометрами, установленными на входе и выходе теплообменника.

*Аэродинамический режим* в шахтных печах контролируют по показаниям тягомеров или напоромеров, измеряющих разрежение или давление на уровне нижнего и верхнего рядов гляделок в зоне обжига, в верхней части шахты и перед дымососом.

Во вращающихся печах контролируют разрежение в горячей головке печи, в загрузочной головке, перед и после теплообменника и перед дымососом.

*Состав отходящих печных газов* при сжигании твердого и жидкого топлива контролируют по показанию стационарно установленных газоанализаторов на  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$ . При их отсутствии используют ручной химический газоанализатор ГХП-3, позволяющий опреде-

лять содержание  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{CO}$  методом поглощения. При сжигании газообразного топлива используют газоанализатор ВТИ-2 или хроматограф Х-8. В отходящих печных газах дополнительно определяют содержание метана  $\text{CH}_4$ , водорода  $\text{H}_2$  и предельных углеводородов  $\text{C}_n\text{H}_m$ . Данные состава отходящих газов используют для расчета химического недожога топлива.

Пробы газа для анализа отбирают газоотборными устройствами в месте, где исключен подсос в пробу окружающего воздуха.

*Коэффициент избытка воздуха* в зонах обжига и подогрева печи рассчитывают в зависимости от наличия данных по измерению расхода топлива и воздуха в этих зонах или косвенно по данным состава газообразных продуктов в этих зонах.

*Контроль производительности печи* ведут по показанию счетчиков автоматических весов, установленных на технологических линиях подачи в печь сырья и выгрузки из нее извести. При отсутствии автоматических весов или дозаторов учет подачи сырья в шахтную печь производят по количеству загруженных в печь за смену ковшей. Массу известняка данной фракции в ковше определяют отдельно и оформляют актом.

При мокром способе обжига количество шлама, подаваемого во вращающуюся печь, контролируют по показаниям расходомера ИР-11 и РМ-300 или определяют по времени наполнения контрольного (расходного) бачка.

*Расходный коэффициент сырья* получают делением суточного расхода сырья на выход извести из печи за те же сутки.

*Степень диссоциации карбонатного сырья*  $\eta_{\text{с.д}}$  контролируют два—четыре раза в смену расчетом по следующей приближенной формуле

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

где  $(\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{акт}}$  — содержание активных  $\text{CaO} + \text{MgO}$  в извести, %,  $(\text{CO}_2)_{\text{ост}}$  — содержание остаточной углекислоты в извести, определенное на основании лабораторных испытаний, %.

Степень диссоциации (декарбонизации) карбонатных пород при их обжиге в шахтных печах должна составлять 90—95 %, во вращающихся печах — 95—98 %.

*Контроль сменного расхода твердого топлива на обжиг* ведут по показаниям счетчика весового дозатора или проверкой журнала расхода топлива за смену. При контроле расхода жидкого или газообразного топлива используют показания соответствующих приборов расхода.

*Расчет удельного расхода условного топлива на обжиг* при выпуске извести в шахтных пересыпных печах необходимо выполнять с использованием фактической теплоты сгорания твердого топлива  $Q_{\Phi}^{\text{n}}$ .

**Пример.** При выпуске 1 т извести израсходовано 140 кг антрацита сорта АК (паспортная теплота сгорания  $Q_{\text{н.р}}=30\,300$  кДж/кг, содержание водорода  $H^{\text{r}}=1,6\%$ ).

Определим удельный расход условного топлива  $q_{\text{т}}^{\text{усл}}$  при выпуске 1 т извести

$$q_{\text{т}}^{\text{усл}} = q_{\text{т}} \frac{Q_{\Phi}^{\text{P}}}{Q_{\text{т}}^{\text{усл}}} ; q_{\text{т}}^{\text{усл}} = 140 \cdot \frac{28030}{29300} \approx 136 \text{ кг/т},$$

где  $Q_{\text{т}}^{\text{усл}} = 29300$  ккал/кг — теплотворность 1 кг условного топлива;  
 $q_{\text{т}} = 140$  кг/т — удельный расход натурального топлива.

$$Q_{\Phi}^{\text{P}} = Q_{\text{н}}^{\text{P}} - 1408 \cdot H^{\text{P}} = 30300 - (1408 \cdot 1,6) = 28030 \text{ кДж/кг.}$$

Данные по режимным параметрам процесса обжига извести заносят в журнал по контролю процесса обжига извести в печи.

## § 32. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ИЗВЕСТИ

**Отбор пробы.** Каждые два часа с конвейера печи равномерно отбирают комовую известь в количестве 20 кг и измельчают ее до размера кусков не более 10 мм. Молотую (дробленую) известь отбирают массой 15 кг на выходе из мельницы (дробилки).

**Подготовка проб для проведения испытаний.** Из пробы *негашеной комовой извести* с кусками размером до 10 мм последовательным квартованием отбирают пробы массой 1 кг и 500 г. Пробу массой 500 г измельчают до полного прохождения сквозь сито с сеткой № 09 (ГОСТ 3584—73). От просеянной пробы отбирают квартованием 150 г извести, растирают ее в ступке до полного прохождения сквозь сито с сеткой № 008 и хранят в герметически закрытом сосуде.

Из пробы *молотой (дробленой) извести* последовательным квартованием отбирают 40 г извести, после чего пробу растирают в ступке до полного прохождения через сито с сеткой № 008, а затем помещают в герметически закрываемый сосуд.

Полученный порошок извести используют для проведения химического анализа, содержания остаточной углекислоты СО<sub>2</sub>, температуры и времени гашения в соответствии с ГОСТ 22688—77.

Ввиду сложности здесь не приведены методы определения суммарного содержания активных (CaO + MgO) и содержания активной MgO в извести. Эти методы подробно изложены в ГОСТ 22688—77 «Известь строительная. Методы испытаний».

**Определение содержания непогасившихся зерен.** В металлический сосуд вместимостью 8—10 л наливают 3,5—4 л нагретой до температуры 85—90°С воды и всыпают 1 кг извести, непрерывно перемешивая содержимое до окончания интенсивного выделения пара (кипения). Полученное тесто закрывают крышкой и выдерживают 2 ч, затем разбавляют холодной водой до состояния известкового молока и промывают на сите с сеткой № 063 слабой непрерывной струей, слегка растирая мягкие кусочки стеклянной палочкой с резиновым наконечником. Остаток на сите высушивают при температуре 140—150°С до постоянной массы. Полученный остаток

в граммах, деленный на 10, дает содержание непогасившихся зерен в процентах.

**Определение времени и температуры гашения извести.** В бытовой термос вместимостью 500 мл помещают навеску извести массой  $m$ , которая определяется по формуле  $m = 1000 \cdot A$ , где  $A$  — содержание в извести активных  $\text{CaO} + \text{MgO}$ , %.

Затем вливают в него 25 мл воды температурой 20° С и быстро перемешивают деревянной отполированной палочкой. Колбу закрывают пробкой, в которой плотно закреплен ртутный термометр со шкалой 0—100° С и оставляют в покое. При этом наблюдают, чтобы ртутный шарик термометра был погружен в реагирующую смесь.

Через каждую минуту с момента добавления воды отмечают температуру реагирующей смеси. Наблюдения ведут до достижения максимальной температуры и начала ее падения.

За время гашения принимают интервал времени в минутах от момента добавления воды к извести до начала снижения максимальной температуры, которая определяется как температура гашения.

**Определение остаточной углекислоты в извести.** Это испытание проводят для определения «недожога» извести или степени диссоциации сырья при обжиге.

Для испытания в предварительно прокаленный и взвешенный платиновый или фарфоровый тигель отвешивают на аналитических весах около 1 г извести, предварительно прокаленной при температуре 520° С. Тигель помещают в муфельную печь, нагретую до температуры 975° С, выдерживают при этой температуре в течение 1 ч, а затем охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Прокаливание повторяют (по 15 мин) до получения постоянной массы. Содержание остаточной углекислоты в % вычисляют по формуле

$$(\text{CO}_2)_{\text{ост}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\%,$$

где  $m_1$  и  $m_2$  — соответственно масса материала до и после прокаливания при температуре 975±25° С, г.

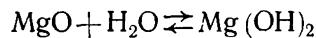
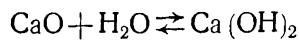
Результаты испытаний заносят в журнал контроля качества извести.

## ГЛАВА X

### ПРОИЗВОДСТВО ГАШЕНОЙ ИЗВЕСТИ

#### § 33. ГИДРАТАЦИЯ ОКИСИ КАЛЬЦИЯ И ОКИСИ МАГНИЯ

В производстве гашеной извести основные процессы — это гидратация окиси кальция и окиси магния, представляющая собой обратимую термохимическую реакцию соединения с водой:



При гидратации  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  выделяется тепло, равное 1160 кДж (277 ккал) на 1 кг  $\text{CaO}$  и 934 кДж (223 ккал) на 1 кг  $\text{MgO}$ .

Направление реакции гидратации зависит от температуры и парциального давления водяных паров в окружающей среде.

Давление диссоциации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  достигает атмосферного давления при  $547^\circ\text{C}$ , а  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  — при  $345^\circ\text{C}$ . Поэтому для быстрой и полной гидратации  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  необходимо, чтобы в реакторе не развивалась высокая температура и имелось некоторое количество воды.

Скорость реакции гидратации  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  в общем случае зависит от химического и минералогического составов извести, характера кристаллизации  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ , температуры и количества воды, размера реагирующих частиц, наличия перемешивания.

Режим обжига в печи оказывает большое влияние на размер кристаллов  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  и пористость извести. Известь с высоким содержанием  $\text{CaO}$ , полученная при температуре  $950$ — $1000^\circ\text{C}$ , состоит в основном из кристаллов  $\text{CaO}$  размером 0,5—1 мкм и обладает большим количеством крупных пор. При гашении ее образуется тонкий легкий порошок гидратной извести и жирное известковое тесто. Полученная при температуре  $1200$ — $1300^\circ\text{C}$  известь состоит из кристаллитов  $\text{CaO}$  размером 3—7 мкм и имеет значительно меньшее количество пор, в связи с чем при ее гашении получают более грубый порошок гидратной извести и менее пластичное известковое тесто.

Активная окись магния достаточно быстро переходит в  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Пережженная  $\text{MgO}$  (периклаз) остается в гидратной извести или в тесте в виде нераспавшихся зерен, ухудшая их качество. Гашение периклаза происходит лишь при воздействии на  $\text{MgO}$  насыщенного пара под давлением 0,5 МПа и более (в автоклаве).

Чем выше температура процесса (например, при гашении парам), тем выше скорость гидратации извести, но тем крупнее и

прочнее образующиеся частицы  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Крупные частицы только в небольшом количестве распадаются в воде на тончайшие частицы и поэтому в дальнейшем не образуют высокопластичного теста.

Низкая температура процесса замедляет скорость реакции гашения. Установлено, что оптимальная температура гасящейся массы находится в пределах 50—80° С.

На стабильность процесса гашения влияет также температура подаваемой воды. Это вызвано тем, что растворимость гидрата окиси кальция значительно меняется при колебании температуры воды. Например, при 95° С она вдвое ниже, чем при 15° С.

Энергичное перемешивание извести при гашении способствует удалению с поверхности зерен извести тестообразного слоя, препятствующего проникновению воды к внутренним непогасившимся слоям.

Предварительное дробление извести до размера 12—6 мм и дальнейшее измельчение до 2—1 мм резко увеличивают ее удельную поверхность, что ускоряет процесс гашения.

После гидратации частицы извести склонны слипаться в агломераты и гроздья, что служит основной причиной колебания их размера. Для предотвращения слипания гидратов применяют диспергаторы — этанол, сахар.

Ускорение процесса гашения может быть достигнуто применением при гидратации извести разбавленных растворов  $\text{NaCl}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$  и  $\text{CaCl}_2$ .

При гашении воздушной извести в зависимости от количества подаваемой воды образуется продукт в виде порошка (гидратная известь), известкового теста или известкового молока.

Гидратная известь, или пушонка,— тонкий порошок, который получается, если при гашении подать воду в количестве, необходимом для полного завершения реакции гидратации, т. е. 32% массы  $\text{CaO}$  и 44,7% массы  $\text{MgO}$ .

Частицы  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  имеют кристаллическую структуру.

Плотность высококальциевой пушонки составляет 2200—2400 кг/м<sup>3</sup>, гидратной доломитовой извести 2700—2900 кг/м<sup>3</sup>.

При гашении извести-кипелки в пушонку происходит увеличение объема последней в 2—3,5 раза, что объясняется увеличением объема пустот между отдельными зернами пушонки. Объемная масса гидратной извести составляет в среднем около 560 кг/м<sup>3</sup>, насыщенная — 400—450 кг/м<sup>3</sup>.

Выделяющееся при гидратации  $\text{CaO}$  тепло вызывает интенсивное парообразование. Образующийся пар разрыхляет куски извести, превращая их в весьма тонкий порошок с размером частиц 5—20 мкм. Вследствие испарения влаги и наличия в пушонке адсорбированной воды практическое количество исходной воды дается значительно больше, чем требуемое в соответствии с химической реакцией. Так, при гашении кальциевой извести в пушонку воды берут не 32% массы  $\text{CaO}$ , а от 52 до 70%. Большее количество воды также нежелательно, так как выделяющегося при реакции тепла

уже недостаточно для превращения ее в пар и часть воды остается в пушонке, ухудшая ее качество.

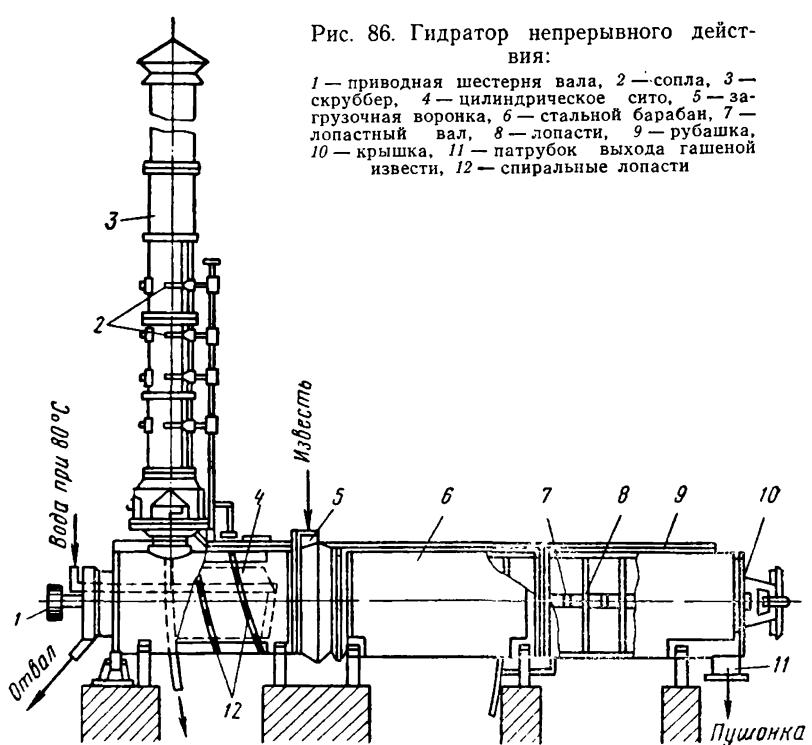
При гашении извести в пушонку неразложившийся известняк, остеокланные образования, частицы «пережога» известки, силикаты и алюмоферриты не превращаются в порошок, вследствие чего их необходимо отделять. При большом количестве отходов их перерабатывают в специальных агрегатах, где они интенсивно смешиваются с водой и седиментацией отделяются от каменной мелочи и песка. Выделенная в виде известкового молока известь возвращается либо с водой гидратации в гидратор, либо в камеру перемешивания.

### § 34. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАШЕНИЯ ИЗВЕСТИ И ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИЯ

**Устройство и работа оборудования.** Гашение извести в пушонку осуществляется в гидраторах периодического и непрерывного действия.

Рис. 86. Гидратор непрерывного действия:

1 — приводная шестерня вала, 2 — сопла, 3 — скруббер, 4 — цилиндрическое сито, 5 — загрузочная воронка, 6 — стальной барабан, 7 — лопастный вал, 8 — лопасти, 9 — рубашка, 10 — крышка, 11 — патрубок выхода гашеной извести, 12 — спиральные лопасти



Гидратор непрерывного действия (рис. 86) состоит из горизонтально расположенного стального барабана 6, вращающегося лопастного вала 7 с приводной шестерней 1, цилиндрического сита 4, скруббера 3 и привода.

Барабан гидратора снабжен рубашкой 9, заполненной минеральным маслом, которое предназначено для выравнивания температурного режима по длине барабана. Нижняя часть барабана футерована изнутри броневыми листами. Лопастный вал 7 имеет трубчатую форму. На валу укреплены двадцать четыре лопасти 8, установленные под углом. Вал вращается в роликоподшипниках, смонтированных в торцовых крышкиах 10 барабана.

Дробленая известь через загрузочную воронку 5 поступает во вращающееся цилиндрическое сито 4, в которое поступает в необходимом количестве вода. Вода при температуре 80°С впрыскивается в сито через отверстия полого вращающегося вала 7.

Образующийся при гашении порошок проваливается сквозь отверстия сита в пространство между корпусом и ситом, подхватывается расположенными на внешней поверхности сита спиральными лопастями 12 и перемещается во второй отсек барабана, где интенсивно перемешивается лопастями 8 и транспортируется к выходному патрубку 11. Непогасившиеся в сите частицы удаляются из него в отвал через отверстие в передней части аппарата.

Образующиеся при гашении пары удаляются в скруббер 3. При этом они увлекают за собой известковую пыль. В скруббере установлены сопла 2, через которые впрыскивается вода. Проходя через водяную завесу, известковая пыль превращается в известковое молоко, которое стекает в гидратор и участвует в процессе гашения.

Таким образом, весь процесс гашения извести протекает в две стадии: на первой стадии (в камере с цилиндрическим ситом) происходит увлажнение и гашение извести, рыхление ее паром и превращение в горячий порошок; на второй стадии (в камере с мешалкой) завершается процесс гашения извести за счет оставшейся влаги и происходит сушка пушонки.

Производительность гидратора 5 т/ч. Мощность электродвигателя привода лопастного вала 40 кВт.

*Гашение извести в известковое молоко* осуществляется в аппаратах непрерывного действия с вращающимся барабаном.

Гаситель для известкового молока (рис.87) состоит из вращающегося стального барабана 8, качающегося питателя 5, сортировочного барабана 10 и приводного устройства.

Барабан установлен с уклоном 3—4%, он бандажами 6 опирается на опорные ролики 3 и вращается с частотой 3 об/мин.

С обеих сторон гаситель закрыт крышками. Корпус выложен изнутри сменными футеровочными стальными плитами, защищающими его от коррозии. По концам барабана находятся люки 4 для его очистки. Для улучшения перемешивания извести с водой внутри барабана укреплены расположенные по винтовой линии угольники (лопатки). Привод барабана состоит из электродвигателя 1, редуктора 2, подвенечной и венцовой шестерни 7.

Комовая известь загружается в гаситель питателем 5 через загрузочное отверстие в крышке барабана. В загрузочную воронку питателя одновременно с известью подается вода и слабое извест-

ковое молоко. При вращении барабана куски извести подхватываются лопатками и сбрасываются вниз. При этом они интенсивно орошаются сливавшейся с лопаток водой.

Образовавшийся на кусках извести слой пушонки при падении и перемешивании отслаивается, что ускоряет процесс гашения. Непогасившиеся в барабане куски извести на выходе из него сбрасываются на наклонный стальной лоток 9. При этом происходит окончательное дробление и догашивание отдельных крупных кусков извести. Далее известковое молоко с непогасившимися частицами поступает в сортировочный барабан 10.

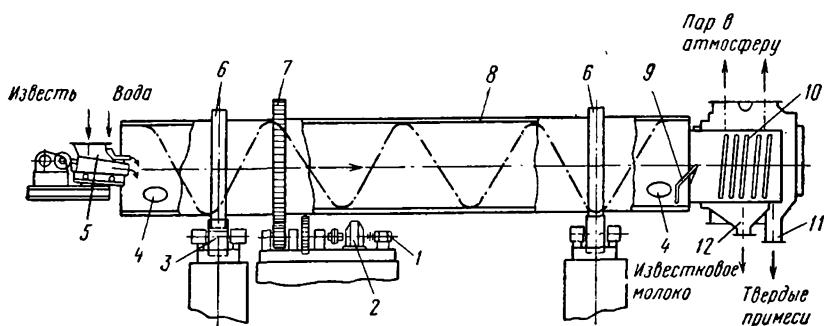


Рис. 87. Гаситель для известкового молока непрерывного действия:  
1 — электродвигатель, 2 — редуктор, 3 — опорные ролики, 4 — люки, 5 — качающийся питатель, 6 — бандажи, 7 — венцовая шестерня, 8 — барабан, 9 — стальной лоток, 10 — сортировочный барабан, 11 — течка для твердых примесей, 12 — течка для известкового молока

В сортировочном барабане, имеющем отверстия в корпусе, известковое молоко отделяется и сливается через промежуточную емкость в сборник-смеситель для выравнивания состава, а твердые примеси сбрасываются через течку 11 в отвал или направляются на повторный обжиг. Здесь же удаляются в атмосферу образующиеся в гасителе пары.

Барабанный гаситель диаметром 2,5 м и длиной 15 м имеет производительность (по извести) 63 т/ч.

**Техническое обслуживание оборудования.** Гасильщик извести контролирует состояние основного и вспомогательного оборудования, осуществляет его пуск и остановку, управляет процессом загрузки и выгрузки извести; наблюдает за процессом гашения извести и регулирует его.

Перед началом работы гасильщик проверяет исправность агрегата и движущихся частей механизмов, отсутствие в них посторонних предметов; состояние смазочных устройств и наличие в них смазки; исправность ограждений, предохранительных приспособлений; исправность сигнализации, заземлений и пусковых электроприборов; знакомится с записями о состоянии оборудования и технологическом процессе в дежурном журнале.

Перед пуском гидратора он проверяет крепление крышек люков и исправность контрольно-измерительных приборов. После этого гасильщик дает предупредительный сигнал и путем нажатия пусковых кнопок запускает приводные электродвигатели аппарата, а затем дозирующих механизмов.

Перед остановкой гидратора гасильщик останавливает дозирующее оборудование и только после полного выхода продукта останавливает агрегат. Остановленный агрегат осматривают и по манометру проверяют полное отсутствие давления в аппарате. После этого открывают люк, и гасильщик очищает внутреннюю часть аппарата от грязи и наслоений.

### **§ 35. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ГАШЕНИЯ И КАЧЕСТВА ГАШЕНОЙ ИЗВЕСТИ**

Процесс гашения гасильщик контролирует по показаниям приборов давления и по качеству выходящего продукта. С этой целью он периодически отбирает среднюю пробу продукта и сдает ее на анализ в лабораторию. При производстве известкового молока его качество, характеризуемое плотностью, определяется гасильщиком при помощи прибора — ареометра.

Качество гидратной извести (пушонки) оценивают по четырем показателям: суммарному содержанию CaO и MgO, содержанию углекислоты CO<sub>2</sub>, влажности и дисперсности, которые определяют в лаборатории по методике ГОСТ 22688—77 «Известь строительная. Методы испытаний».

В зависимости от результатов испытания гидратная известь соответствует первому или второму сорту. Данные испытаний средних проб пушонки заносятся в журнал контроля качества продукции.

### **§ 36. СКЛАДИРОВАНИЕ ИЗВЕСТИ**

Современный известковый комбинат выпускает известь комовой, гидратной (пушонку) и молотую с добавками. Предприятия большой мощности имеют отдельные склады под каждый вид выпускаемой продукции.

Склад комовой извести вместимостью 2000 т с галереей выдачи продукции состоит из шести силосов комовой извести, двух галерей с ленточными конвейерами и двух погрузочных машин.

Склад молотой извести вместимостью 2000 т состоит из четырех силосов вместимостью 500 т каждый, снабженных аспирационной системой. Железобетонная банка силоса имеет высоту 20,6 м при диаметре 6 м. Известь выгружается из силоса двумя пневматическими боковыми разгружателями через выпускные отверстия, установленные в нижней части банки.

## ЛИТЕРАТУРА

- Александровский А. В. Материаловедение для штукатуров, плиточников, мозаичников. М., 1977.
- Вихтер Я. И. Производство гипсовых вяжущих веществ. М., 1974.
- Кахаров В. К., Нудельман Б. И. Безбалочная центральная подача газа в шахтные печи. Ташкент, 1969.
- Колокольников В. С., Осокина Т. А. Производство цемента. М., 1974.
- Монастырев А. В. Производство извести. М., 1972.
- Табунщиков Н. П. Производство извести. М., 1974.
- Штоль Т. М. Материаловедение для каменщиков-монтажников конструкций. М., 1976.



2011  
Дмитрию Васильевичу

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>
<b>Введение . . . . .</b>	3
<b>Г л а в а I. Общие сведения об извести и ее применении . . . . .</b>	5
§ 1. Виды извести и ее применение . . . . .	5
§ 2. Основные требования к извести . . . . .	7
<b>Г л а в а II. Сведения из теплотехники . . . . .</b>	10
§ 3. Способы передачи тепла . . . . .	10
§ 4. Топливо для производства извести . . . . .	11
§ 5. Горение топлива . . . . .	15
§ 6. Движение газов . . . . .	17
§ 7. Естественная и искусственная тяга . . . . .	18
§ 8. Тепловой баланс и коэффициент полезного действия печного агрегата . . . . .	21
<b>Г л а в а III. Карбонатное сырье для производства извести . . . . .</b>	23
§ 9. Характеристика карбонатного сырья . . . . .	23
§ 10. Складирование сырья и топлива . . . . .	27
§ 11. Контроль качества сырья и топлива . . . . .	28
<b>Г л а в а IV. Переработка, транспортирование и дозирование материалов, очистка воздуха и газов от пыли . . . . .</b>	32
§ 12. Измельчение материала . . . . .	32
§ 13. Сортировка и сепарация . . . . .	44
§ 14. Мокрое обогащение и гомогенизация карбонатного сырья .	49
§ 15. Транспортирование и дозирование . . . . .	52
§ 16. Очистка дымовых газов и воздуха от пыли . . . . .	63
<b>Г л а в а V. Общие сведения об обжиге карбонатных пород на известь . . . . .</b>	72
<b>Г л а в а VI. Обжиг карбонатных пород в шахтных печах . . . . .</b>	79
§ 17. Конструктивные элементы шахтных печей . . . . .	79
§ 18. Устройство и работа шахтных пересыпных печей . . . . .	102
§ 19. Эксплуатация шахтных пересыпных печей . . . . .	110
§ 20. Устройство и работа шахтных печей на газообразном топливе . . . . .	123
§ 21. Эксплуатация шахтных печей на газообразном топливе . .	135
§ 22. Устройство и работа шахтных печей на жидком топливе . . . . .	143
§ 23. Эксплуатация шахтных печей на жидком топливе . . . . .	147
§ 24. Автоматизация шахтных печей . . . . .	153
<b>Г л а в а VII. Обжиг карбонатных пород во вращающихся печах . . . . .</b>	160
§ 25. Устройство и работа вращающихся печей с внутренними теплообменными устройствами . . . . .	160
§ 26. Устройство и работа запечных теплообменников . . . . .	175
§ 27. Эксплуатация вращающихся печей . . . . .	180
§ 28. Автоматический контроль и регулирование обжига . . . . .	195
<b>Г л а в а VIII. Обжиг карбонатных пород в печах кипящего слоя и обжиговых машинах с вращающейся колосниковой решеткой . . . . .</b>	200
§ 29. Обжиг карбонатных пород в печах кипящего слоя . . . . .	200
§ 30. Обжиг известняка в обжиговых машинах с вращающейся колосниковой решеткой . . . . .	203
<b>Г л а в а IX. Контроль процесса обжига карбонатных пород и качества извести . . . . .</b>	205
§ 31. Контроль процесса обжига . . . . .	205
§ 32. Контроль качества извести . . . . .	207
<b>Г л а в а X. Производство гашеной извести . . . . .</b>	209
§ 33. Гидратация окиси кальция и окиси магния . . . . .	209
§ 34. Оборудование для гашения извести и его эксплуатация .	211
§ 35. Контроль процесса гашения и качества гашеной извести .	214
§ 36. Складирование продукции . . . . .	214
Литература . . . . .	215